

DANIEL DE NORONHA FIGUEIREDO VIEIRA DA CUNHA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE POR MEIO DE
MODELO DINÂMICO DE SIMULAÇÃO**

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
de Zootecnia, para obtenção do
título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2008

DANIEL DE NORONHA FIGUEIREDO VIEIRA DA CUNHA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE POR MEIO DE
MODELO DINÂMICO DE SIMULAÇÃO**

**Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Zootecnia, para
obtenção do título de *Doctor Scientiae*.**

APROVADA: 29 de fevereiro de 2008

Pesq. Oriel Fajardo de Campos
(Co-Orientador)

Prof. José Luis Braga
(Co-Orientador)

Prof. Fabyano Fonseca e Silva

Prof. Sebastião Teixeira Gomes

Prof. José Carlos Pereira
(Orientador)

Dedico a esses que sempre acreditaram ser possível...

- A minha esposa Janaina Azevedo Martuscello cuja presença deu e continua dando sentido a tudo que faço. Por ter me incentivado sempre, até quando eu mesmo já não acreditava.

- Ao meu filho Miguel Martuscello Vieira da Cunha

- Ao meu avô Milton Nunes Figueiredo, cuja vida foi provada pela guerra e pelas doenças. Pelo exemplo de caráter ainda presente em minha memória, no qual procuro me espelhar mesmo tendo consciência de ser absolutamente inatingível. Pelas inúmeras aulas de matemática, ministradas já quando a visão não mais o permitia e as quais dei tão pouco valor.

- A minha avó Lais de Noronha Figueiredo pelo amor e dedicação.

- Aos meus pais Lais Helena de Noronha F. V. da Cunha e Ari Fernandes V. da Cunha.

- Aos meus irmãos e primos Renato de Noronha F. V. da Cunha, Carolina de Noronha F. V. da Cunha, Henrique Noronha de Brito e Helena Noronha de Brito.

- A minha Tia e Madrinha Tereza Cristina de Noronha Figueiredo.

Agradeço...

Com a consciência de que a presente Tese é o encerramento de um ciclo que não durou apenas três anos e seis meses, gostaria de fazer a primeira parte dos agradecimentos em ordem cronológica dos acontecimentos.

- *A Dra. Rosane Scatamburlo Lizieire Fajardo por ter sido a primeira pessoa a me incentivar nos caminhos da Ciência, por me ajudar a compreender que atos valem muito mais do que palavras e por ter me apresentado ao Dr. Oriel.*
- *Ao Dr. Oriel Fajardo de Campos por ter me acolhido na Embrapa em um momento tão delicado de minha vida e ter me proporcionado adquirir conhecimentos fundamentais, tanto práticos quanto teóricos, sem os quais eu teria dificuldade para ingressar na Pós-Graduação da Universidade Federal de Viçosa. Por ter sido meu Orientador de iniciação científica, meu Co-orientador no Mestrado e no Doutorado e por ter acreditado que seria possível desenvolver esse trabalho.*
- *Ao Prof. José Carlos Pereira que me recebeu de portas abertas na Universidade Federal de Viçosa me orientando no Mestrado e no Doutorado. Que acreditou mais do que eu mesmo na possibilidade de desenvolver esta Tese. Que, com experiência, soube entender as minhas dificuldades, aproveitar as minhas qualidades e me apoiar nos momentos difíceis. Que confiou em mim, acima de qualquer coisa. E principalmente porque me deu liberdade para exercer a criatividade, atributo sem o qual uma pessoa não pode verdadeiramente se tornar um Cientista.*

Os meus mais sinceros agradecimentos a essas três pessoas que, acima de tudo, são exemplos incomuns de caráter nesses tempos que vivenciamos...

“Se eu pudesse...

Se eu pudesse deixar algum presente a você, deixaria aceso o sentimento de amar a vida dos seres humanos. A consciência de aprender tudo o que foi ensinado pelo tempo afora. Lembraria os erros que foram cometidos para que não mais se repetissem. A capacidade de escolher novos rumos.

Deixaria pra você, se pudesse, o respeito aquilo que é indispensável: além do pão, o trabalho. Além do trabalho, ação. E quando tudo mais faltasse, um segredo: o de buscar no interior de si mesmo a resposta e a força para encontrar a saída.”

Mahatma Gandhi

José Carlos Pereira: 22/11/2006

Agradeço também...

-Ao Prof. José Luis Braga pelas importantes contribuições, pela paciência e pela cordialidade.

-Ao Prof. Fabyano Fonseca e Silva pelas fundamentais contribuições, sem as quais eu não teria competência para escrever o primeiro capítulo da Tese.

-Ao Prof. Sebastião Teixeira Gomes pelas contribuições e sugestões na área econômica, que melhoraram substancialmente o trabalho.

-Ao Prof. Marcelo Teixeira Rodrigues pelas brilhantes aulas ministradas no curso de Doutorado e por ter me incentivado e me mostrado o Programa Stella, sem o qual o caminho para desenvolver esse trabalho seria inevitavelmente mais longo.

-Aos Professores Augusto Cezar de Queiroz e Rogério de Paula Lana pelas excelentes aulas ministradas no curso de Doutorado.

-A todos os membros do Programa de Desenvolvimento da Pecuária Leiteira (PDPL), principalmente ao Cristiano Nascif, ao Neylor Faber Sepúlveda, a Mara e aos estagiários Pedro, Poliana, Rafael e Daniel pelos dados disponibilizados para realização desse trabalho.

-Ao CNPq que vem financiando minha formação desde a Iniciação Científica.

-Ao Departamento de Zootecnia e a Universidade Federal de Viçosa.

-Aos Professores Nelson Matos, Ednaldo Bezerra, Pedro Malafaia, Nidia Majerowicz, Luiz Reis e Mauricio Balisteiro que tanto contribuíram para minha formação na Graduação.

-Aos colegas e amigos Douglas Sampaio e André Oliveira, que muito me ensinaram e colaboraram para esse trabalho

-Aos amigos Claudson Oliveira Brito, Anderson Corassa e Dawson José Guimarães Faria por saberem compreender meu mau humor.

BIOGRAFIA

Daniel de Noronha Figueiredo Vieira da Cunha, filho de Ari Fernandes Vieira da Cunha e Lais Helena de Noronha Figueiredo Vieira da Cunha, nasceu no Rio de Janeiro em 15 de agosto de 1973. Em 2002 formou-se Zootecnista pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Ingressou no curso de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa em março de 2003, na área de Produção e Nutrição de Ruminantes, defendendo dissertação (Mestrado) em julho de 2004. Foi admitido no curso de doutorado em agosto do 2004, submetendo-se a defesa de Tese em fevereiro de 2008.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	xii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	4
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
VISÃO GERAL DA TESE.....	28

CAPÍTULO 1

Seleção de funções de curvas de lactação para uso em modelos de simulação de sistemas de produção de leite

Resumo.....	29
Introdução.....	30
Material e Métodos.....	31
Resultados e Discussão.....	37
Conclusões.....	66
Referências bibliográficas.....	66

CAPÍTULO 2

ZooCalc 1.0: Programa para cálculo de exigências nutricionais e avaliação de dietas para bovinos de rebanhos leiteiros

Resumo.....	70
Introdução.....	71
Material e Métodos.....	72
Resultados e Discussão.....	74
Conclusões.....	90
Referências bibliográficas.....	90

CAPÍTULO 3

Avaliação de modelo dinâmico de simulação de sistemas de produção de leite

Resumo.....	92
Introdução.....	93
Material e Métodos.....	95
Resultados e Discussão.....	125
Conclusões.....	153
Referências bibliográficas.....	153

CAPÍTULO 4

Comparação do uso de rebanhos das raças Holandesa e Jersey em sistema de produção de leite em confinamento

Resumo.....	156
Introdução.....	158
Material e Métodos.....	159
Resultados e Discussão.....	171
Conclusões.....	187
Referências bibliográficas.....	188
GLOSSÁRIO DE SIGLAS E TERMOS UTILIZADOS.....	191

RESUMO

CUNHA, Daniel de Noronha Figueiredo Vieira. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2008. **Avaliação de sistemas de produção de leite por meio de modelo dinâmico de simulação.** Orientador: José Carlos Pereira. Co-orientadores: Oriel Fajardo de Campos e José Luis Braga.

A Tese foi dividida em quatro capítulos. No Capítulo 1 objetivou-se selecionar funções, que representam matematicamente curvas de lactação, que melhor se ajustem aos dados observados, para serem utilizados em modelos de simulação de sistemas de produção de leite. A base de dados foi construída com a utilização de 6.459 medidas de produção diária de leite por vaca, tomadas a partir de controles leiteiros mensais e quinzenais entre os anos de 2004 e 2007, provenientes de 472 lactações completas de animais de 10 propriedades. As propriedades foram classificadas quanto a produção média de litros de leite por vaca por dia em nível baixo, médio e alto. Os dados foram divididos de acordo com as ordens de lactação, em primeira ordem, segunda ordem e terceira ou maior ordem de lactação. Foram comparados oito funções de curvas de lactação obtidas na literatura. Os avaliadores de ajuste utilizados foram R^2 , QME , $QMEP$ e CBI . Os valores para os avaliadores obtidos em cada modelo foram comparados por meio do intervalo de confiança, considerando-se 95% de probabilidade. Para o grupo de propriedades cuja produção média das vacas foi considerada baixa, o modelo de Wilmink (1987) obteve melhor ajuste para as lactações das primíparas, enquanto que o modelo de Wood (1967) se ajustou melhor as lactações das vacas de segunda e terceira ou maior ordens. O modelo de Wood (1967) apresentou melhores ajustes para todas as ordens de lactação do grupo de propriedades cuja produção das vacas foi considerada média. O modelo de Dijkstra et al. (1997) obteve os melhores em todas as ordens de lactação referentes ao grupo vacas consideradas de alta produção. No Capítulo 2 o objetivo foi desenvolver um programa com *interface* amigável e de fácil utilização, para cálculo de exigências nutricionais, valor nutricional dos alimentos, avaliação de rações e estimativa de custos com a alimentação de bovinos de rebanhos leiteiros. Objetivou-se também avaliar a confiabilidade

dos resultados gerados neste programa comparando-os com algumas estimativas obtidas no programa do NRC versão 2001. O programa *ZooCalc 1.0* foi desenvolvido com a utilização da linguagem Visual Basic 6.0, sendo constituído de submodelos de vacas em lactação, vacas secas, novilhas e bezerras, além de um módulo para edição da composição e estimativa das frações digestíveis e concentração energética dos alimentos. O programa *ZooCalc 1.0* é um aplicativo que pode ser utilizado para cálculo de exigências nutricionais e avaliação de dietas para bovinos de rebanhos leiteiros. O programa *ZooCalc 1.0* e o programa do NRC produzem estimativas iguais para as frações digestíveis e concentração energética dos alimentos avaliados. Os programas estimam valores iguais para *ELm*, *ELI*, *ELgt* e *PMgt*. Pequenas diferenças são observadas em relação a *PMI*, devido a erros de aproximação produzidos pelo programa do NRC. Pequenas diferenças também são observadas em relação a *PDR*, devido a erros que acredita-se que ocorram em função de aproximações. Há pequenas diferenças para as estimativas de *PMm*, e *PNDR*, a causa, entretanto, é indeterminada. No Capítulo 3 objetivou-se desenvolver e avaliar um modelo dinâmico de simulação, com componentes estocásticos, para avaliação de sistemas de produção de leite. O modelo de simulação foi desenvolvido com a utilização integrada dos programas *STELLA 9.0*, *ZooCalc 1.0* e planilhas eletrônicas. A estrutura física do rebanho foi dividida em 15 módulos interligados, que representam categorias ou subdivisões de categorias. Para simulação do peso corporal dos animais em crescimento e em lactação, assim como da produção e composição do leite foram utilizados modelos matemáticos obtidos na literatura. Para cálculo de exigências nutricionais e balanceamento das dietas dos animais foram utilizadas planilhas eletrônicas. Após a minimização do custo, cada ração foi avaliada com a utilização do programa *ZooCalc 1.0*. Para avaliar se o modelo de simulação estaria funcionando de forma coerente com o esperado foram obtidas as respostas médias de alguns indicadores zootécnicos, econômicos e de tamanho a variação da área utilizada para produção de milho para silagem, do intervalo de partos e da idade a primeira inseminação. Para avaliar a capacidade do modelo em gerar valores simulados que se aproximem da realidade foi medido o grau de associação linear entre os valores gerados pelo modelo e observados em situação

prática. As análises de sensibilidade demonstraram que os valores produzidos pelo modelo de simulação se comportam de acordo com o esperado, em resposta as variações da área utilizada para produção de milho para silagem, do intervalo de partos e da idade a primeira inseminação. Existe correlação entre os valores gerados pelo modelo de simulação e os observados na prática e o grau de associação linear para as variáveis número total de animais, número total de vacas e número de vacas em lactação pode ser considerado elevado. No Capítulo 4 o objetivo foi comparar, com a utilização do modelo de simulação desenvolvido, o uso de rebanhos das raças Holandesa e Jersey, em um sistema de produção de leite em confinamento, no que diz respeito aos índices de tamanho, zootécnicos e econômicos. Objetivou-se também avaliar a lucratividade da atividade, mediante a utilização diferentes sistemas de bonificação do preço pago pelo leite, pelo percentual de gordura e proteína. O modelo de simulação utilizado foi o mesmo descrito no Capítulo 3. As comparações foram realizadas, primeiramente, desconsiderando bonificações no preço do leite pelo aumento da concentração de gordura e proteína. Em seguida a lucratividade da atividade foi comparada considerando bonificações de 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 % no preço pago pelo leite da raça Jersey, para cada unidade de acréscimo no percentual de gordura do leite, acima do obtido com a raça Holandesa e bonificações de 2,0, 4,0, 6,0, 8,0 e 10,0% para cada unidade de acréscimo no percentual de proteína do leite Jersey, acima do obtido com a raça Holandesa. Por fim, a lucratividade da atividade foi comparada utilizando-se o sistema de bonificação por qualidade proposto por Gimenes e Ponchio (2006) e o sistema de bonificação adotado pela empresa A. O tempo de simulação utilizado em cada comparação foi de 10 anos e o rebanho foi considerado estabilizado durante as simulações. Sistemas de produção de leite em confinamento são capazes de manter cerca de 35,9% mais animais da raça Jersey do que da raça Holandesa, devido ao menor consumo de volumosos por animal da raça Jersey. Embora a produção de leite por vaca Jersey corresponda a aproximadamente 69% da produção de leite por vaca Holandesa, a produção anual de leite do sistema utilizando animais da raça Jersey corresponde a 93,8% daquela obtida com animais da raça Holandesa. Quando não há bonificação por percentual de gordura e proteína do leite,

embora com a utilização da raça Jersey a renda bruta da atividade se aproxime daquela obtida com a raça Holandesa (99,2%), o lucro obtido com a raça Holandesa é maior devido aos menores custos de produção, principalmente os relacionados com a utilização de alimentos concentrados. Para que a atividade seja mais lucrativa com a utilização da raça Jersey é necessária bonificação de 5,0% do preço do leite, para cada unidade porcentual de gordura do leite acima daquela obtida com a raça Holandesa, ou bonificação de 10,0% no preço do leite para cada unidade porcentual de proteína do leite acima daquela obtida com a raça Holandesa. Com a utilização do sistema de bonificação proposto por Gimenes e Ponchio (2006) o lucro anual com a raça Jersey é maior do que o obtido com a raça Holandesa. Entretanto, com a aplicação do sistema de bonificação utilizado pela empresa A a raça Holandesa torna-se mais lucrativa que a raça Jersey.

ABSTRACT

CUNHA, Daniel de Noronha Figueiredo Vieira. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2008. **Evaluation of milk production systems using a dynamic simulation model.** Adviser: José Carlos Pereira. Co-advisers: Oriel Fajardo de Campos and José Luis Braga.

The Thesis is divided into four chapters. Chapter 1 aimed at selecting functions that mathematically represent lactation curves, providing a better fit to the observed data, to be used in simulation models of milk production systems. Data base was built with 6,459 recordings of daily milk production per cow obtained from monthly and quarterly milk controls between 2004 and 2007, coming from 472 complete lactations of animals from 10 different farms. The farms were divided into low, medium and high production levels according to average milk yield in liters per day per cow. Data were divided according to the lactation orders into first order, second order and third or the highest lactation order. Eight functions of lactation curves obtained from the literature were compared. The used goodness-of-fit measures were R^2 , MSE, MSEP and BIC. The values of these measures obtained from each model were compared using the confidence interval, with 95% probability. For the group of farms with low average production, the Wilmink's (1987) model gave better fit for lactations of first-order cows, whereas the Wood's (1967) model was better fitted for lactations of third-or-higher-order cows. The Wood's (1967) model provided better fit for all the lactation orders of farms with medium production. The Dijkstra et al.'s (1997) model gave the best fits in all the lactation orders of the high production group. Chapter 2 aimed at developing user-friendly interface and easy-to-use software for calculating nutritional requirements, feed nutritional value, evaluation of rations and estimate of costs with dairy cattle feeding. Another objective was to evaluate the reliability of results generated by the software by comparing them with estimates obtained from the NRC software version 2001. The ZooCalc 1.0 software was developed using the Visual Basic 6.0 language, consisting of submodels of lactating cows, dry cows, heifers and calves, as well as a module for editing the composition and estimates of digestible fractions and dietary energy concentration. ZooCalc 1.0 is an application that can be used to calculate the nutritional requirements and feed evaluation for dairy cattle. ZooCalc 1.0 and

NRC produce the same estimates for the digestible fractions and energy concentration of the tested feed. Both estimate the same values for NEm, NEI, NEc and MPc. Small differences were found for MPI because of the approximation errors produced by the NRC software. Small differences were also found for RDP, which might be due to approximation errors. There were small differences for the estimates of MPm and RUP, however, the cause is unclear. Chapter 3 aimed at developing and evaluating a dynamic simulation model, with stochastic components, to evaluate milk production systems. The simulation model was developed by using STELLA 9.0, ZooCalc 1.0 and electronic data sheets together. The physical structure of the herd was divided into 15 interlinked modules that represent categories or subdivisions of categories. Mathematical models obtained from the literature were used for body weight simulation of growing and lactating animals, as well as of milk production and milk composition. Electronic data sheets were used to calculate the nutritional requirements and dietary balance. After cost minimization, each ration was evaluated using ZooCalc 1.0. Some average responses of technical, economic and size indicators, the variation in the area used for silage corn production, the interval between calving and age at first insemination were obtained to evaluate whether the simulation model was working consistently with the expected. To assess the capacity of the model to generate simulated values that approach reality, the degree of linear association was measured between values generated by the model and values observed in practical situation. Sensibility analyses showed that the values produced by the simulation model were in agreement with the expected results, in response to variations in the area used for silage corn production, the interval between calving and the age at first insemination. There was correlation between the values generated by the simulation model and the values observed in practical situation, and the degree of linear association for the variables total number of animals, total number of cows and number of lactating cows can be considered high. Chapter 4 compared size, technical and economic indices of Holstein and Jersey herds in a confinement production system using the developed simulation model. It also evaluated the profitability of the activity by using different systems of allowance for milk price, because the percentage of fat and protein. The simulation model was the

same described in Chapter 3. The comparisons were performed, initially, without considering the allowances for milk price based on the increase in the concentration of fat and protein. Later, the profitability of the activity was compared considering allowances of 1, 2, 3, 4 and 5 % for the milk price of the Jersey herd, for each unit of increase in the percentage of milk fat above the values obtained with the Holstein herd, and allowances of 2, 4, 6, 8 and 10 % for each unit of increase in the percentage of milk protein of the Jersey herd above the values obtained with the Holstein herd. Finally, the profitability of the activity was compared by using the allowance system based on quality proposed by Gimenes and Ponchio (2006) and the allowance system used by company A. The simulation time used for each comparison was 10 years and the herd was considered stabilized during the simulations. Confinement production systems were able to keep about 35.9% more Jersey animals than Holstein animals because of the lower roughage consumption per Jersey animal. Although the milk production per Jersey cow corresponded to approximately 69.0% of the milk production per Holstein cow, the annual milk production of the system using Jersey animals corresponded to 93.8% of the system with Holstein animals. When there is no allowance for percentage of fat and protein in the milk, although the Jersey breed provides gross income close to the Holstein (99.2%), the profit obtained with the Holstein breed is higher because of the lower production costs, mainly the ones related with concentrate feed. In order to the activity become more profitable with the Jersey breed, an allowance of 5.0% for milk price will be needed for each percentage unit of fat above the percentage obtained with the Holstein breed, or allowance of 10.0% in the milk price for each percentage unit of protein above the percentage obtained with the Holstein breed. With the use of the allowance system proposed by Gimenes and Ponchio (2006) the annual profit with the Jersey breed is higher than the profit obtained with the Holstein breed. However, with the application of the allowance system used by the company A, the Holstein breed becomes more profitable than the Jersey breed.

1 - Introdução geral

Da mesma forma que um modelo matemático pode ser definido como uma equação ou um conjunto de equações que representam o comportamento de um sistema (Thornley e France, 2007), um modelo de simulação computacional pode ser compreendido como um algoritmo ou um conjunto de algoritmos em linguagem de programação, cuja finalidade é a representação simplificada de um sistema.

Modelos de simulação de sistemas de produção são importantes ferramentas, tanto para o gerenciamento de propriedades, já que podem auxiliar os administradores e técnicos extensionistas nas tomadas de decisão, quanto para pesquisa, pois podem ser usados para auxiliar a identificação de áreas prioritárias para investigação científica, onde ocorrem lacunas de conhecimento. Além disso, modelos de simulação podem ser utilizados como ferramentas de ensino, acelerando o processo de aprendizado e aquisição de experiência por parte dos estudantes.

As tecnologias da informação, dentro das quais se enquadra a simulação computacional, vêm exercendo grande impacto sobre a ciência, pois permitem que esta tenha maior caráter aplicado e gerador de riquezas (Barbosa, 1986; Gavira, 2003).

Esse impacto se deve, em parte, à rápida evolução tecnológica dos recursos de *hardware* e *software*, aliada à elevada disponibilidade desses no mercado. Porém, outro fator que tem contribuído para o aumento do uso da simulação computacional é a conscientização de que, devido a complexas interações, quando componentes de sistemas operam em conjunto muitas

vezes se comportam de forma diferente daquela observada quando são estudados isoladamente.

Isso se relaciona com a complementação necessária do paradigma analítico, que está baseado não somente na divisão do objeto de estudo para compreensão do funcionamento isolado das estruturas mais simples - o que é feito na maioria das pesquisas na área de Zootecnia - mas também na reunião posterior de cada conhecimento adquirido, para que seja possível fazer generalizações, cientificamente baseadas, sobre o funcionamento do todo.

Uma das formas de construção dessas generalizações consiste no desenvolvimento de pesquisas que avaliem as influências do uso de técnicas e tecnologias no contexto dos sistemas de produção. Entretanto, pesquisas dessa natureza são altamente demandantes de recursos físicos e financeiros, o que segundo Brockington (1995), faz com que, em geral, não haja possibilidade de repetição no espaço, mas apenas no tempo. Assim, a simulação computacional aplicada a pesquisas sobre sistemas de produção se apresenta como alternativa promissora, pois além de ser pouco exigente em recursos físicos e financeiros, possibilita o estudo, em curto período de tempo, de combinações de uso de diversas técnicas e tecnologias, nas mais variadas condições de ambiente.

Em sistemas de produção de leite, tal como em outros sistemas de produção, existem interações relativamente fortes entre as partes componentes. Como as interações entre as partes são determinantes primários do comportamento do sistema, muitos autores têm criticado a

utilização exclusiva do método analítico como ferramenta de pesquisa (Dent e Blackie, 1979; Brockington, 1995; Barioni, 2002a).

Modelos de simulação de sistemas de produção podem ser desenvolvidos, dentre outras formas, a partir da combinação de modelos matemáticos e de informações obtidas nos sistemas reais. Destarte, a disponibilidade de modelos matemáticos para estimativa de exigências nutricionais, avaliação de dietas e predição de desempenho, aliada a disponibilidade de dados e informações relativas a controles zootécnicos e econômicos de sistemas de produção de leite, possibilita a elaboração de um modelo de simulação computacional que poderá ser utilizado como instrumento auxiliador de novas atividades empresariais, de pesquisa e de ensino.

Objetivou-se desenvolver um modelo dinâmico de simulação, com componentes estocásticos, para avaliação bioeconômica de sistemas de produção de leite.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Modelos matemáticos utilizados para representação de curvas de lactação

O termo curva de lactação refere-se à representação gráfica das relações entre a produção de leite e o tempo de lactação a partir do parto (Papajcsik e Boderó, 1988). Equações que descrevam a produção de leite em função do tempo podem ter grande utilidade em programas de melhoramento genético, no manejo nutricional dos rebanhos, em decisões sobre o descarte de vacas e em modelos de simulação de sistemas de produção de leite. Em razão disso, há algum tempo pesquisadores procuram descrever matematicamente a curva de lactação de vacas, buscando funções que apresentem predições cada vez mais acuradas, a partir, se possível, de descrições quantitativas biologicamente baseadas.

Para todas as equações descritas a seguir y_t significa a produção de leite no tempo t decorrido a partir do parto e e representa a base dos logaritmos naturais. Os demais caracteres alfanuméricos representam parâmetros dos modelos cujos significados serão explicitados, quando necessário.

Assumindo que a síntese de leite é um processo de natureza eminentemente físico-química, no qual substâncias presentes no sangue são convertidas em compostos típicos do leite, cuja velocidade é, em parte, limitada pelo aporte de substratos e remoção dos produtos das reações,

Brody et al. (1923) observaram que o declínio da produção de leite com o avanço do tempo de lactação poderia ser representado por meio de uma equação utilizada para descrever o comportamento exponencial de reações químicas monomoleculares, o modelo monomolecular.

$$y_t = a \cdot e^{-b \cdot t}$$

onde a é o valor teórico da produção de leite no início da lactação e b é a constante de declínio da equação.

Os autores, entretanto, comentaram que o modelo monomolecular seria, em grande parte das situações, inadequado para prever a produção de leite no início da lactação devido ao comportamento ascendente do fenômeno biológico, o que se acreditava estar relacionado ao aumento da ingestão de alimentos, típico desta fase.

Após constatarem não haver paralelismo, no início da lactação, entre as curvas de ingestão de alimentos e produção de leite, Brody et al. (1924) propuseram que o aumento da produção de leite antes do pico de lactação seria inerente ao mecanismo de síntese e secreção do produto e que sua representação matemática poderia ser feita por meio da junção de dois modelos monomoleculares em um modelo que denominaram de vitalidade e senescência.

$$y_t = a \cdot e^{-b \cdot t} - c \cdot e^{-d \cdot t}$$

onde o valor do intercepto é dado por $a - c$, b é a constante de declínio da equação e d é a constante de declínio do aumento da produção de leite. Assumindo que a produção de leite no intercepto poderia ser considerada nula, os autores propuseram uma simplificação da equação, substituindo o parâmetro c por a .

$$y_t = a \cdot e^{-b \cdot t} - a \cdot e^{-c \cdot t}$$

Fica evidente a conotação mecanicista do modelo proposto por Brody et al. (1924) quando os autores afirmam que a produção de leite seria função do número de células secretoras (W) presentes na glândula mamária o que, por sua vez de acordo com representação esquemática proposta ($X \rightarrow W \rightarrow Z$) seria determinado pela diferença entre a vitalidade (X) e a senescência (Z) das mesmas. Podemos entender vitalidade e senescência como diferenciação e morte de células secretoras da glândula mamária e, assim sendo, a quantidade de células secretoras corresponderia a diferença entre o primeiro e segundo termos da função.

Embora Brody et al. (1923) tenham comentado que o modelo monomolecular seria inadequado para representar a produção de leite no início da lactação, Gaines (1926) obteve ajuste satisfatório ao conjunto de dados avaliado e o modelo monomolecular passou a ser citado equivocadamente por muitos autores (Wood, 1967; Schneeberger, 1981; Neal e Thornley, 1983; Molento et al., 2004; Val-Arreola et al., 2004; Thornley e France, 2007) como modelo de Gaines (1926).

Nos trabalhos subseqüentes aos de Brody et al. (1923) e Brody et al. (1924) observou-se maior enfoque sobre o desenvolvimento e ajuste de modelos empíricos, em detrimento a tentativa de representação matemática dos mecanismos biológicos de síntese e secreção de leite.

Wood (1967), afirmando que o modelo monomolecular não se ajustava adequadamente, propôs a utilização de uma função gama incompleta, produto de uma potência e uma exponencial.

$$y_t = a \cdot t^b \cdot e^{-c \cdot t}$$

onde a , b e c são constantes relacionadas ao valor inicial de produção, ao aumento de produção antes do pico de lactação e ao decréscimo de produção após o pico, respectivamente. O valor de produção máxima é dado por

$$a \cdot \left(\frac{b}{c}\right)^b \cdot e^{-b}, \text{ quando } t = \frac{b}{c}.$$

A partir de então o modelo de Wood (1967) tem sido largamente utilizado, pois, com apenas três parâmetros, tem se ajustado satisfatoriamente a um grande número de conjuntos de dados.

A dificuldade de interpretação biológica precisa dos parâmetros do modelo de Wood (1967) e a tendência observada deste em subestimar e superestimar a produção de leite no meio e no final do período de lactação, respectivamente, foram as justificativas utilizadas por Cobby e Le Du (1978) para a proposição de uma nova equação algébrica que combina as funções linear e exponencial.

$$y_t = a - b \cdot t - a \cdot e^{-c \cdot t}$$

Embora o valor de b corresponda a taxa de declínio da produção após o pico de lactação, c estar relacionado a taxa de aumento da produção antes do pico de lactação e $\frac{a}{b}$ produza uma estimativa da duração da lactação, os autores não esclareceram o significado do parâmetro a . Apesar de ser relativamente simples, por apresentar apenas três parâmetros, e de ter obtido melhor ajuste que a de Wood (1967) ao conjunto de dados avaliado pelos autores, a função proposta por Cobby e Le Du (1978) tem sido pouco utilizada.

Wilmink (1987), modificando a equação de Cobby e Le Du (1978) propôs a utilização do seguinte modelo:

$$y_t = a - b \cdot e^{-c \cdot t} - d \cdot t$$

onde a está associado com o nível de produção, b está relacionado com a produção de leite antes do pico de lactação, d representa o decréscimo da produção após o pico de lactação e c está associado com o tempo em que ocorre o pico de lactação.

As tentativas de desenvolvimento de modelos mais mecanicistas foram retomadas por Neal e Thornley (1983). Os autores basearam-se na premissa de que a produção de leite é resultado da interação entre o número de células secretoras diferenciadas, da taxa de secreção de leite por célula e da concentração de substrato disponível para a síntese de componentes do leite. No modelo, os autores também consideram efeitos da concentração de

hormônios sobre a taxa de diferenciação de células e efeitos da remoção de leite sobre a taxa de morte de células diferenciadas. Apesar de o modelo ter se ajustado adequadamente ao conjunto de dados e apresentar grande potencial para ser aperfeiçoado e utilizado como ferramenta didática os *inputs* necessários são de difícil obtenção o que, atualmente, inviabiliza sua utilização para fins práticos.

Retomando a idéia de base mecanicista mais simples, descrita por Brody et al. (1924), Rook et al. (1993) propuseram a representação da curva de lactação como resultado de processos de crescimento e morte de células assumindo-se a seguinte função generalizada:

$$y_t = a \cdot \phi_1 \cdot (t) \cdot \phi_2 \cdot (t)$$

onde a é um escalar positivo, ϕ_1 é uma função de incremento e ϕ_2 é uma função de decréscimo. Os autores testaram uma série de combinações de funções e observaram que o modelo que combinava as funções Mitscherlich e exponencial obteve melhor ajuste que o modelo de Wood (1967). Esta combinação de funções passou a ser denominada modelo de Rook et al. (1993).

$$y_t = a \cdot \left[\frac{1}{1 + \frac{b}{c+t}} \right] \cdot e^{-d \cdot t}$$

onde o pico de lactação (t_m) ocorre quando $t = \frac{1}{c} \cdot \ln \left[b \cdot \frac{(c+d)}{d} \right]$, o valor máximo de produção é obtido por $a \cdot (1 - b \cdot e^{-c \cdot t_m}) \cdot e^{-d \cdot t_m}$, a produção total e a taxa relativa de declínio da produção de leite a partir do ponto médio entre o pico e o final da lactação são dados, respectivamente, por

$$a \cdot \left\{ \left(\frac{1}{d} \right) \cdot (1 - e^{-d \cdot t_u}) - \left[\frac{b}{(c+d)} \right] \cdot [1 - e^{-(c+d) \cdot t_u}] \right\} \text{ e } \frac{b \cdot c \cdot e^{-\frac{c \cdot (t_m + t_u)}{2}}}{\left[1 - b \cdot e^{-\frac{c \cdot (t_m + t_u)}{2}} \right] - d}, \text{ em}$$

que t_u representa a duração da lactação.

Em continuidade ao enfoque mecanicista retomado por Rook et al. (1993), Dijkstra et al. (1997) descreveram e avaliaram um modelo cuja representação diagramática - semelhante ao esquema proposto por Brody et al. (1924) ($X \rightarrow W \rightarrow Z$) - foi demonstrada por meio de um estoque, um fluxo de entrada e um fluxo de saída que significam, respectivamente, a população de células secretoras presentes na glândula mamária, a proliferação e a morte destas células (Figura 1).

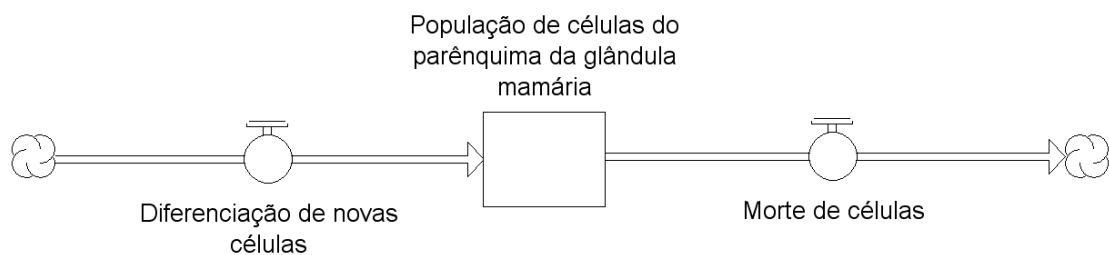


Figura 1 – Diagrama de fluxos representando o modelo de Dijkstra et al. (1997).

Além de ter apresentado melhor ajuste que o modelo de Wood (1967) (Val-Arreola et al. 2004) o modelo de Dijkstra et al. (1997) possui a vantagem de apresentar significado biológico para todos os parâmetros.

$$y_t = a \cdot e^{b \cdot \frac{1 - e^{-c \cdot t}}{c} - d \cdot t}$$

onde a representa a produção inicial de leite, obtida como produto da quantidade inicial de células secretoras pela taxa constante de secreção de leite por célula, b é a taxa de diferenciação de células ao parto, c representa a taxa de queda da velocidade de diferenciação de células e d é a taxa de morte de células diferenciadas. A produção máxima é obtida por

$$a \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^{\frac{d}{c}} \cdot e^{\left[\frac{(b-d)}{c}\right]}, \text{ quando } t = \frac{\left[\ln\left(\frac{b}{d}\right)\right]}{c} \text{ e a taxa de declínio, do ponto}$$

médio entre o pico de lactação e o final da lactação, até o último dia de

lactação é obtida por $a \cdot e^{\left[\frac{-c \cdot (t_m + t_u)}{2}\right] - d}$, em que t_m e t_u representam,

respectivamente, o tempo em que ocorre a máxima produção de leite e a duração da lactação. A estimativa do valor da produção total não possui resolução analítica, porém pode ser facilmente obtida por métodos numéricos.

Mais recentemente, Pollott (2000) demonstrou que a variação no número de células secretoras em dado momento da lactação poderia ser representada pela diferença entre duas funções logísticas, e a taxa de secreção de leite por célula, considerada constante no modelo Dijkstra et al. (1997), poderia ser determinada por uma função exponencial.

$$y_t = a \cdot \left\{ \frac{1}{1 + \left[\frac{(1-b)}{b} \right] \cdot e^{-c \cdot t}} - \frac{1}{1 + \left[\frac{(1-d)}{d} \right] \cdot e^{-g \cdot t}} \right\} \cdot (1 - e^{-h \cdot t})$$

onde a representa o número de células parenquimáticas no início da lactação, b é a proporção de células diferenciadas ao parto, c representa a taxa relativa de diferenciação do número de células, d é a proporção de células diferenciadas mortas no início da lactação, g representa a taxa relativa de morte de células e h é a taxa relativa de variação na taxa de secreção de leite por célula. A estimativa da produção total de leite durante a

lactação pode ser obtida por $\frac{a}{c} \cdot \left\{ c \cdot t + \log \left[1 + \left(\frac{(1-b)}{b} \right) \cdot e^{-c \cdot t} \right] - \log \left[1 + \left(\frac{(1-b)}{b} \right) \right] \right\}$

e a taxa de variação da produção de leite em determinado tempo é calculada

como
$$\frac{a \cdot \left(\frac{(1-b)}{b} \right) \cdot c \cdot e^{-c \cdot t}}{\left[\left(1 + \left(\frac{(1-b)}{b} \right) \right) \cdot e^{-c \cdot t} \right]^2}.$$

2.2 - A visão sistêmica e o paradigma analítico

O termo sistema tem sido definido por diversos autores. Para Patten (1971), em um sistema existe um conjunto de objetos unidos por alguma forma de interação ou interdependência de tal maneira a formar o inteiro ou o todo. Spedding (1975) define sistema como um conjunto de componentes que

interagem, de forma que se comportam como um todo. Já para Barioni et al (2002b), em definição mais prática, um sistema é uma estrutura autônoma com amplitude definida por seus limites, processos e componentes, que são determinados pela inclusão de todas as interações significativas. Beretta (1999) o define como um conjunto de componentes ligados entre si para realizar funções ou objetivos comuns. Para Banks (1996) um sistema é um grupo de objetos que são reunidos em alguma interação ou interdependência regular, a fim de alcançar algum propósito.

Em todas estas definições observa-se a presença da idéia de fragmentação da unidade em componentes que interagem. A idéia de fragmentação, que teve sua origem moderna no paradigma analítico proposto por René Descartes, continua sendo largamente utilizada em muitas áreas da ciência. Este paradigma consiste basicamente na divisão do objeto de estudo em partes, isolando as relações de causa e efeito que determinam a funcionalidade de cada parte isolada para, em um estágio posterior, reuni-las somando seus efeitos, na tentativa de reproduzir o comportamento do todo. Neste contexto, embora esteja implícito o reconhecimento da complexidade dos sistemas, assume-se a fragmentação da realidade como possibilidade de simplificação e entendimento do comportamento do objeto de estudo.

Para a aplicação bem sucedida do conceito ou paradigma analítico, na compreensão do funcionamento de sistemas, é necessária à inexistência, ou existência insignificante, de interações entre os fragmentos, o que permite que seus efeitos isolados sejam reunidos por meio de um processo simples de soma algébrica, onde a equação que descreve o funcionamento do todo possui a mesma estrutura das equações que descrevem o funcionamento de

cada parte (Brockington,1995). Entretanto, segundo o autor, nas últimas décadas ficou evidenciado que em muitos sistemas existem interações relativamente fortes entre as partes componentes, o que implica que suas descrições, em termos matemáticos, normalmente consistiriam de um conjunto de equações simultâneas não lineares e que, sendo assim, não se poderia simplesmente adicionar as partes para recriar o todo. Na mesma linha de raciocínio Barioni et al. (2002b) aborda um dos principais fundamentos da teoria de sistemas, afirmando que a reação de um componente isolado a um dado estímulo é distinta daquela apresentada quando este compõe um sistema, uma vez que as interações entre os componentes do sistema são os determinantes primários do seu comportamento.

De fato muitos autores têm criticado a utilização exclusiva do método analítico como ferramenta para compreensão do funcionamento de sistemas, justificando a insuficiência deste método na grande influência que as interações entre os componentes exercem sobre o comportamento do sistema (Dent e Blackie, 1979), (Barioni, 2002b) e (Brockington, 1995). Segundo Brockington (1995) o processo de recriação da unidade, que pode ser chamado na investigação científica de fase de síntese, requer um paradigma diferente ou adicional, já que o paradigma analítico por si só é insuficiente para enfrentar tais situações. Entretanto, como próprio paradigma analítico descrito por Descartes prevê, em um estágio posterior ao da análise, a reunião do conhecimento isolado sobre as partes, o processo de síntese seria parte intrínseca desse paradigma, não havendo portanto a necessidade de um paradigma adicional.

O pensamento sistêmico foi criado para se contrapor à forma analítica de compreender os problemas. Apesar de sua origem ser considerada como anterior à filosofia socrática, o pensamento sistêmico emergiu na primeira metade do século XX com aplicações pioneiras nas ciências biológicas (Gavira, 2003). Segundo o autor, o pensamento sistêmico torna-se mais importante à medida que o mundo se torna mais complexo e interdependente, pois a capacidade de analisar os sistemas e seus efeitos causais se constitui num fator crítico para o aprendizado.

Enquanto na visão analítica ou mecanicista os sistemas são compreendidos como coleções de objetos, na visão sistêmica as propriedades essenciais dos sistemas, que não estão em nenhuma das partes, mas sim nas propriedades do todo, resultam das interações entre as partes. Outra diferença fundamental entre as duas linhas de pensamento está na forma de construção do conhecimento. Enquanto na visão analítica a compreensão de sistemas é realizada mediante separação e estudo de seus componentes, na visão sistêmica os sistemas são mais facilmente compreendidos com a avaliação dos efeitos de mudanças no contexto ou ambiente em que o sistema se insere. Sendo assim, enquanto a visão analítica é reducionista, a sistêmica é expansionista.

Apesar dos argumentos sobre o grande potencial do pensamento sistêmico, da modelagem matemática e da simulação computacional na pesquisa agropecuária é necessário reconhecer que o resultado dos esforços nesta área depende, em última instância, da evolução da pesquisa analítica tradicional (Barioni, 2002b) e dos conhecimentos detalhados gerados pelo método analítico. Caso a importância desses conhecimentos seja relevada ou

subestimada, corre-se o risco de construir modelos de simulação imprecisos e que podem gerar conclusões equivocadas. Ao mesmo tempo é inegável que quando o objetivo é estudar a influência de um componente sobre as respostas de um sistema como um todo, torna-se necessário avaliar também as interações presentes, o que requer a utilização de ferramentas apropriadas para o processo de síntese do conhecimento.

2.3 - Simulação computacional como ferramenta para pesquisas em sistemas agrícolas

A simulação computacional é um método empregado para estudar o desempenho de um sistema por meio da formulação de um modelo matemático, o qual deve reproduzir, da maneira mais fiel possível, o comportamento do sistema real. Manipulando o modelo e analisando os resultados, pode-se concluir como diversos fatores afetarão o desempenho do sistema (Ehrlich, 1985).

A simulação é um processo de experimentação com a utilização de um modelo detalhado de um sistema real, para determinar como este responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno (Harrel et al., 2002).

Por meio da simulação não é possível obter, de imediato, resultados que levem à otimização de um objetivo desejado. Entretanto, é possível simular, por meio do modelo, uma série de experimentos em diferentes

condições e, posteriormente, escolher a condição cujos resultados sejam mais adequados (Ehrlich, 1985).

Sistemas de produção montados em estações experimentais, apesar de serem ferramentas valiosas para síntese de resultados de pesquisa, exigem quantidade elevada de recursos financeiros para implantação e manutenção. Devido estes altos custos, em geral, não há possibilidade de repetição no espaço, restando apenas a alternativa de repetição do experimento no tempo. Para Brockington (1995) a utilização de sistemas de produção, em estações experimentais, é mais apropriada no fim de um processo de desenvolvimento de pesquisas, imediatamente antes ao estágio final, em fazendas comerciais.

Assim, para os estágios iniciais de desenvolvimento de pesquisas há necessidade de uma ferramenta que permita testar o impacto que a introdução da nova tecnologia ou técnica pesquisada teria no contexto do sistema de produção. Modelos matemáticos para simulação computacional são particularmente úteis nestas situações, pois permitem avaliar diversas combinações de componentes do sistema, a um custo certamente inferior ao que seria necessário em sistemas físicos.

Modelos matemáticos para simulação podem ser vistos, também, como complemento essencial para o número limitado de versões físicas de sistemas de produção que poderiam ser implementadas e avaliadas, quer seja em centros de pesquisa ou em fazendas comerciais (Brockington, 1995).

2.4 - Classificação de modelos matemáticos utilizados na pesquisa de sistemas.

Enquanto sistemas são caracterizados pela complexidade das interações entre componentes, modelos se constituem por representações mentais simplificadas da realidade, objetivando apresentar as principais características relevantes para compreensão de seu comportamento e para solução de problemas.

Existe grande variedade de tipos de modelos matemáticos que são utilizados para representar sistemas agrícolas. Com a finalidade de facilitar o estudo foram criadas classificações, cuja função é agrupar os modelos que apresentem características comuns. As principais classificações são baseadas:

a) na complexidade dos modelos.

De acordo com a complexidade, os modelos podem ser classificados em empíricos ou mecanicistas. Segundo Brockington (1995) enquanto modelos empíricos apenas relacionam variações entre as entradas e saídas, geralmente tomando a forma de equações de regressão, modelos mecanicistas são baseados na compreensão dos mecanismos internos dos sistemas. De acordo com Barioni et al. (2002a) nos modelos matemáticos mecanicistas as relações são, em geral, representadas por equações baseadas em conceitos teóricos, dados experimentais analisados estatisticamente, parâmetros estipulados por experiência de especialistas ou

pela calibração de parâmetros com a utilização de dados do sistema que está sendo representado.

b) na utilização ou não de variáveis aleatórias

Considerando-se um mesmo conjunto de dados de entrada, modelos que utilizam uma ou mais variáveis aleatórias podem produzir como saída, diversos resultados dentro de uma distribuição de densidade de probabilidade. Modelos que possuem esta característica são denominados estocásticos e podem ser construídos em ambiente computacional, com a utilização de funções ou algoritmos geradores de números aleatórios. Algoritmos com esta finalidade podem ser criados com o uso de linguagens de programação para uso geral, entretanto, muitos *softwares* específicos para simulação possuem funções internas com este recurso.

Embora hoje em dia exista grande disponibilidade de recursos de *hardware* e facilidade para utilização de *softwares* específicos para simulação, segundo Barioni et al. (2002a), a maioria dos modelos ainda desconsidera a variabilidade característica dos dados na obtenção dos resultados. Modelos que produzem apenas um valor de saída para cada conjunto de dados de entrada são chamados determinísticos.

c) na forma como as variáveis se relacionam com o tempo.

Nesta classificação, os modelos podem ser discriminados como estáticos ou dinâmicos. Modelos estáticos não levam em consideração a

influência do tempo sobre o comportamento das variáveis e, sendo assim, os resultados gerados são iguais para qualquer ponto na escala temporal. Nestes tipos de modelos assume-se que os estados transitórios não influenciam os resultados e, portanto, o conhecimento do estado do sistema em determinado ponto no tempo é suficiente para determinar suas respostas em qualquer outro ponto (Barioni et al., 2002a). Atualmente, os modelos mais utilizados para cálculo de exigências nutricionais, como AFRC (1993), NRC (2001) e CNCPS 5.0, se enquadram nesta categoria.

Modelos dinâmicos são utilizados quando o estado do sistema é significativamente influenciado por variações temporais. O estado de um sistema pode ser definido como uma coleção de variáveis, denominadas variáveis de estado, necessárias para descrevê-lo em determinado momento (Law e Kelton, 2000). Em um sistema agropecuário, número de animais de certa categoria, peso corporal de determinado animal ou de um grupo de animais, quantidade de forragem disponível por área e renda bruta mensal, podem ser exemplos de variáveis de estado.

A maior parte dos sistemas agrícolas possui caráter dinâmico. Segundo Barioni et al. (2002a), na modelagem de sistemas agrícolas, a utilização de equações diferenciais para representação e solução de sistemas dinâmicos tem se tornado padrão. Em termos matemáticos, uma equação diferencial pode ser representada da seguinte forma:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = f(x, t);$$

onde x assume o valor de uma variável de estado e t é o tempo.

Se a equação diferencial é simples há possibilidade de resolvê-la por meio de métodos analíticos clássicos, porém, para resolução da maior parte dos problemas em sistemas agrícolas é necessário à utilização de muitas equações diferenciais simultâneas, em geral não lineares, o que torna a resolução bastante difícil ou mesmo impossível. Nestes casos, a solução numérica aproximada com o emprego de ferramentas computacionais seria o melhor recurso a ser utilizado (Brockington, 1995). De fato, como a resolução numérica consiste na integração das equações para cada variável de estado do sistema e, em geral, modelos matemáticos que representam sistemas agrícolas contêm muitas variáveis de estado, o número de cálculos que são necessários para sua resolução exige a utilização de recursos computacionais.

2.5 - Softwares utilizados para simulação computacional de sistemas agrícolas.

Existem muitos softwares que podem ser utilizados para simulação computacional de sistemas agrícolas. Podemos dividi-los em três grupos:

- a) Softwares de múltiplo propósito;
- b) Softwares específicos para simulação, que utilizam apenas códigos para construção dos modelos;
- c) Softwares específicos para simulação, que utilizam além de códigos, diagramas de fluxo para a construção dos modelos.

No grupo de softwares de múltiplo propósito enquadram-se os compiladores para linguagens de programação como Fortran, Basic, Pascal, C, C++, Java e C#. Para a utilização destas ferramentas, além de conhecimento inerente à área de modelagem, o pesquisador deve possuir certa experiência em lógica de programação e boas noções da sintaxe da linguagem que pretende utilizar. As vantagens da utilização destas ferramentas são maior controle sobre os cálculos que a máquina realiza e maior flexibilidade na construção dos modelos. Outra vantagem da utilização destas linguagens é a possibilidade de se trabalhar com pacotes gráficos orientados a eventos ou objetos, como Visual Basic, Delphi, Visual Fortran e Visual C++, em que podem ser desenvolvidos sistemas de apoio à decisão, com interfaces bastante amigáveis, que seriam facilmente utilizados por outras pessoas ou mesmo comercializados.

No grupo de *softwares* específicos para simulação, que utilizam apenas códigos para construção dos modelos encontram-se alguns como GAMS, R, Lingo e Lindo. Estes *softwares* são bastante flexíveis e embora não permitam a criação de sistemas de apoio à decisão com interfaces amigáveis, possuem um grande número de funções internas que reduzem o tempo e o trabalho gastos com a digitação.

Stella, *IThink*, Powersim e Vensim, são exemplos de softwares específicos para simulação, que utilizam além de códigos, diagramas de fluxo para a construção dos modelos. A principal vantagem da utilização destes aplicativos é a velocidade com que o pesquisador pode criar os modelos, utilizando apenas a *interface* gráfica e digitando uma quantidade muito

pequena de códigos. De fato, a partir da criação dos diagramas de fluxo, na *interface* gráfica, estes programas são capazes de construir grande parte das equações diferenciais e realizar as integrações numéricas necessárias, em geral, permitindo que o usuário escolha o método de integração mais adequado. Além disso, estes softwares possuem uma série de funções internas, rotineiramente utilizadas em simulações de sistemas, que poupam tempo de digitação e trabalho para elaboração de algoritmos.

A grande desvantagem da utilização destes programas, como explica Brockington (1995) é a falta de flexibilidade que apresentam, pois se o pesquisador precisar efetuar uma operação não prevista pelos seus idealizadores terá que recorrer a um recurso artificial e desajeitado para implementá-la. Outra desvantagem, como comentam Harrel et al. (2002), é a maior necessidade de recursos de processamento e de memória, por serem softwares que fazem uso de grande quantidade de recursos gráficos.

Entretanto, a tendência é que com o passar do tempo, estas ferramentas computacionais especializadas para a simulação de sistemas dinâmicos tornem-se cada vez mais sofisticadas e especializadas para cada tipo de sistema a ser simulado, diminuindo as limitações inerentes à falta de flexibilidade. Além disso, com o avanço tecnológico relativo aos recursos de *hardware*, capacidade de processamento e de memória não deverão ser limitadores para a utilização destes *softwares*.

A construção de modelos matemáticos a partir da criação dos diagramas de fluxo representa um avanço tecnológico considerável e constitui ferramenta que reduz significativamente o tempo e o trabalho para a construção dos algoritmos de simulação.

3 – Referências Bibliográficas

Agriculture and Food Research Council (AFRC). **Energy and protein requirements of ruminants**. University Press: Cambridge, 1993. 159p.

BANKS. J. Selection simulation software. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2, 2000, New York. **Proceedings...** New York: Association for computer machinery, 2000. p. 15-20.

BARBOSA, W. do V. **Tempos pós-modernos**. In: LYOTARD, J.F. O pós-moderno. Rio de Janeiro: J. Olimpico. 1986, p. 7-18.

BARIONI L.G. Modelos de tomada de decisão para produtores de ovinos e bovinos de corte. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO ANIMAL. 1, 2002, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 2002 a, p. 5-60.

BARIONI L.G., VELOSO, R.F., MARTHA JÚNIOR, G.B. **Modelos matemáticos aplicados a sistemas de produção animal em pastagens**. In: Obeid, J.A., Pereira, O.G., Fonseca, D.F., Nascimento Júnior, D. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2. 2002b. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 235-278.

BERETTA, V. **Avaliação bioeconômica de sistemas alternativos de produção de gado no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999. 210p. Tese (Doutorado em Zootecnia): Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999.

BROCKINGTON, N.R. **Curso de modelos de simulação**. v.1, Juiz de Fora: CNPGL (Embrapa), 1995. 238p.

- 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.
- DENT, J.B., BLACKIE, M.J. **System simulation in agriculture**. 1. ed. London: Applied Science Publishers, 1979, 180 p.
- DIJKSTRA, J., FRANCE, J., DHANOA. M.S. et al. A model describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.2340-2354. 1997.
- EHRlich, J.P. **Pesquisa operacional: curso introdutório**, 5. ed. São Paulo: Atlas, 1985. 102p.
- 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**. The Cornell University. 202 p. 2003.
- GAINES, W.L. Interpretation of curve lactation. **The Journal of General Physiology**. v. 9, p.27-31, 1926.
- GAVIRA, M.O. **Simulação computacional como ferramenta de aquisição de conhecimento**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. 2003. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção):Universidade de São Paulo. 2003.

- HARREL, C.R., MOTT, J.R.A., BATEMAN, R.E. et al. **Simulação: otimizando os sistemas**. 2. ed. São Paulo: Iman. 2002. 136 p.
- LAW, A.M., KELTON, W.D. **Simulation models and analysis**. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- MOLENTO, C.F., MONARDES, H. RIBAS, N.P., BLOCK, E. Curvas de lactação de vacas holandesas do Estado do Paraná. **Ciência Rural**, v.34. n.5. p.81-92. 2004.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences. 363 p., 2001.
- NEAL, H.D.St.c., THORNELEY, J.H.M. The lactation curve in cattle: a mathematical model of the mammary gland. **Journal of Agriculture Science**, v.101, p. 389-4000, 1983.
- 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.
- PATTEN, B.C. **Systems analysis and simulation in ecology**. v. 1. New York: Academic Press. 1971.
- POLLOTT, G.E. A biological approach to lactation curve analysis for milk yield. **Journal Dairy Science**, v. 83, n. 11, p. 2448-2458. 2000.
- ROOK, A.J. FRANCE, J., DHANOA, M.S. On the mathematical description of lactation curves. **Journal of Agriculture Science**, v. 121, p. 97-102, 1993.
- ROTZ, C.A., MERTENS, D.R., BUCKMASTER, D.R. et al. A dairy herd model for use in whole farm simulations. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.2826 – 2840, 1999.

- SCHNEEBERGER, M. Inheritance of Lactation Curve in Swiss Brown Cattle. **Journal of Dairy Science**, v.64, p. 475-483, 1981.
- SPEDDING, C.R.W. **The biology of agricultural system**. 1.ed. London: Academic Press, 1975.
- THORNLEY, J.H.M., FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture: a quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences**. 2.ed. Wallingford: CABI. 2007. 906 p.
- VAL-ARREOLA, D., KEBREAB, E., DIJKSTRA, J., FRANCE, J. Study of the Lactation Curve in Dairy Cattle on Farms in Central Mexico. **Journal of Dairy Science**, v.87, p. 3789–3799, 2004.
- WILMINK, J.B.M. Adjustment of test-day milk, fat and protein yields 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. 216, p. 164-165. 1967.

Visão Geral da Tese

O objetivo principal foi desenvolver de um modelo de simulação computacional para avaliação de sistemas de produção de leite. O modelo de simulação foi construído a partir de quatro componentes básicos (Figura 1):

- 1) modelos matemáticos para predição do desempenho dos animais,
- 2) equações de exigências nutricionais e valor nutricional dos alimentos,
- 3) dados de controles Zootécnicos e Econômicos de sistemas de produção e
- 4) estrutura dinâmica simulada do rebanho.

Esses componentes foram reunidos e implementados com a utilização do *software* específico para simulação de sistemas dinâmicos STELLA 9.0.

O Capítulo 1 da Tese refere-se a seleção de funções de curvas de lactação que melhor se ajustam aos dados observados, para utilização no modelo de simulação. O Capítulo 2 diz respeito ao desenvolvimento de um *software* para avaliação das dietas utilizadas no modelo de simulação. O Capítulo 3 trata da descrição e avaliação do modelo de simulação e, no Capítulo 4, o modelo de simulação desenvolvido é utilizado para comparar indicadores de tamanho, Zootécnicos e Econômicos de um sistema de produção utilizando animais da raça Holandesa ou da raça Jersey.

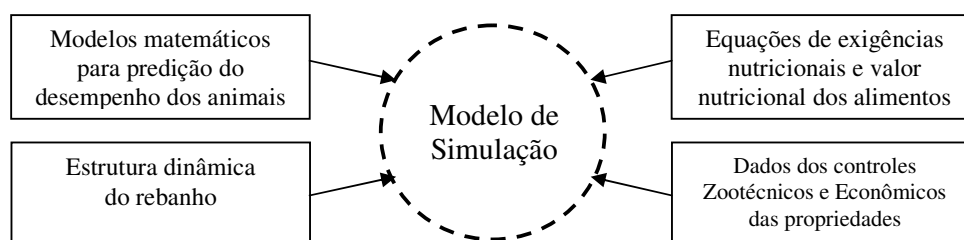


Figura 1 – Esquema representando os componentes utilizados para desenvolvimento do modelo de simulação

Capítulo 1

Seleção de funções de curvas de lactação para uso em modelos de simulação de sistemas de produção de leite

Resumo

Equações que descrevam a produção de leite em função do tempo podem ter grande utilidade em modelos de simulação de sistemas de produção de leite. Objetivou-se neste estudo selecionar funções, que representam matematicamente curvas de lactação, que melhor se ajustem aos dados observados, para serem utilizadas em modelos de simulação de sistemas de produção de leite. A base de dados foi construída com a utilização de 6.459 medidas de produção diária de leite por vaca, tomadas a partir de controles leiteiros mensais e quinzenais entre os anos de 2004 e 2007, provenientes de 472 lactações completas de 10 propriedades. As propriedades foram classificadas quanto a produção média de litros de leite por vaca por dia em nível baixo, médio e alto. Os dados foram divididos de acordo com as ordens de lactação, em primeira ordem, segunda ordem e terceira ou maior ordem de lactação. Foram comparados oito funções de curvas de lactação obtidas na literatura. Os avaliadores de ajuste utilizados foram R^2 , QME , $QMEP$ e CBI . Os valores para os avaliadores obtidos em cada modelo foram comparados por meio do intervalo de confiança, considerando-se 95% de probabilidade. Para o grupo de propriedades cuja produção média das vacas foi considerada baixa, o modelo de Wilmink (1987) obteve melhor ajuste para as lactações das primíparas, enquanto que o modelo de Wood (1967) se ajustou melhor as lactações das vacas de segunda e terceira ou maior ordens. O modelo de Wood (1967) apresentou melhores ajustes para todas as ordens de lactação do grupo de propriedades cuja produção das vacas foi considerada média. O modelo de Dijkstra et al. (1997) obteve os melhores em todas as ordens de lactação referentes ao grupo vacas consideradas de alta produção.

1 - Introdução

O termo curva de lactação refere-se à representação gráfica das relações entre a produção de leite e o tempo de lactação a partir do parto (Papajcsik e Boderó, 1988). Equações que descrevam a produção de leite em função do tempo podem ter grande utilidade em programas de melhoramento genético, no manejo nutricional dos rebanhos, em decisões sobre o descarte de vacas e em modelos de simulação de sistemas de produção de leite.

A importância da curva de lactação reside na caracterização ampla da produção do animal durante toda a lactação, podendo ser obtidas, dentre outras estimativas, o tempo de ascensão ao pico de produção, o dia de ocorrência do pico de produção, a produção de leite no pico de produção, a persistência de lactação e a duração da lactação (Ferreira e Bearzoti, 2003).

As primeiras tentativas de representação matemática da curva de lactação foram realizadas por Brody et al. (1923) e Brody et al. (1924). Entretanto, foi somente após o desenvolvimento do modelo de Wood (1967) que o uso de funções de lactação se tornou mais popularizado. Desde então, muitos pesquisadores tem tentado desenvolver funções de lactação, a partir de concepções empíricas (Cobby e LeDu, 1978; Wilmink, 1987) ou mecanicistas (Rook et al., 1993; Dijkstra et al., 1997; Pollott, 2000).

Objetivou-se neste estudo selecionar funções, que representam matematicamente curvas de lactação, que melhor se ajustem aos dados observados, para serem utilizadas em modelos de simulação de sistemas de produção de leite.

2 - Material e Métodos

2.1 - Base de dados

A base de dados foi construída com a utilização de 6.459 medidas de produção diária de leite por vaca, tomadas a partir de controles leiteiros mensais e quinzenais entre os anos de 2004 e 2007, provenientes de 472 lactações completas de animais pertencentes a dez propriedades da região de Viçosa – MG. Todas as propriedades são assistidas pelo Programa de Desenvolvimento da Pecuária Leiteira (*PDPL*), convênio Universidade Federal de Viçosa - Nestlé.

As propriedades foram arbitrariamente classificadas quanto a produção média de litros de leite por vaca em lactação por dia (*PL*) em nível baixo ($PL < 15,0$), nível médio ($15,0 \leq PL < 20,0$) e nível alto ($PL \geq 20,0$). A classificação das propriedades e as estatísticas descritivas relacionadas a base de dados utilizada encontram-se na Tabela 1. Nas cinco propriedades classificadas como de produção baixa (*B*), a produção média de leite variou entre 10,50 e 14,70 litros/vaca/dia. Para as quatro propriedades classificadas como de produção média (*M*), a produção média de leite variou entre 16,14 e 19,26 litros/vaca/dia. E na única propriedade classificada como de alta produção (*A*), a produção média de leite foi de 22,91 litros/vaca/dia.

A exceção das propriedades 4 e 8 onde as vacas em lactação recebem silagem de milho durante todo o ano, as propriedades adotam sistema de produção em pastagem, com suplementação volumosa na época seca do ano. Todas as propriedades utilizam animais mestiços holandês x zebu (*HZ*)

ou da raça holandesa, puros por cruzamento ou puros de origem. As propriedades classificadas como de baixa produção utilizam, predominantemente, animais entre os grupos genéticos 1/2 *HZ* e 15/16 *HZ*, as classificadas como de média produção fazem uso predominante de animais entre os grupos genéticos 3/4 *HZ* e puros por cruzamento e a propriedade classificada como de alta produção mantém predominância de animais entre os grupos genéticos 7/8 *HZ* e puros por origem.

Tabela 1 – Classificação das propriedades quanto a produção média de leite (litros/vaca/dia) e estatísticas descritivas referentes a base de dados utilizada

Propriedades	Classificação	informações (N ^o)	lactações (N ^o)	Produção de leite		
				Média	DP	CV(%)
1	<i>B</i>	224	22	13,63	5,76	42,26
2	<i>B</i>	254	25	13,02	5,27	40,48
3	<i>B</i>	279	27	10,79	4,02	37,26
4	<i>A</i>	2361	119	22,91	6,80	29,68
5	<i>M</i>	441	46	16,84	6,56	38,95
6	<i>M</i>	929	75	16,14	6,33	39,22
7	<i>B</i>	641	52	14,70	6,25	42,52
8	<i>M</i>	675	42	19,26	6,49	33,70
9	<i>M</i>	315	33	17,30	7,69	44,45
10	<i>B</i>	340	31	10,50	4,17	39,71

DP = desvio padrão, CV = coeficiente de variação. *B* = baixo, *M* = médio e *A* = alto nível de produção.

Após a classificação, os dados foram divididos de acordo com as ordens de lactação, em primeira ordem, segunda ordem e terceira ou maior ordem de lactação, tal como em Val-Arreola et al. (2004) e Dematawewa et al. (2007). Este procedimento resultou na formação de nove subgrupos, sendo estes:

- B1* = nível de produção baixo e 1^a ordem de lactação,
- B2* = nível de produção baixo e 2^a ordem de lactação,
- B3* = nível de produção baixo e 3^a ou maior ordem de lactação,
- M1* = nível de produção médio e 1^a ordem de lactação,
- M2* = nível de produção médio e 2^a ordem de lactação,
- M3* = nível de produção médio e 3^a ou maior ordem de lactação,
- A1* = nível de produção alto e 1^a ordem de lactação,
- A2* = nível de produção alto e 2^a ordem de lactação,
- A3* = nível de produção alto e 3^a ou maior ordem de lactação.

As estatísticas descritivas referentes aos subgrupos formados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas e classificação dos dados de acordo com o nível médio de produção de leite (litros/vaca/dia) e a ordem de lactação das vacas

Subgrupos	Propriedades (Nº)	Lactações (Nº)	Informações (Nº)	Produção de leite		
				Média	DP	CV(%)
<i>B1</i>	5	48	538	10,85	4,16	38,34
<i>B2</i>	5	39	439	12,91	5,26	40,74
<i>B3</i>	5	70	761	14,24	6,29	44,17
<i>M1</i>	4	44	580	15,26	5,30	34,73
<i>M2</i>	4	44	554	17,18	6,44	37,49
<i>M3</i>	4	105	1226	18,35	7,23	39,40
<i>A1</i>	1	38	765	20,12	5,06	25,15
<i>A2</i>	1	35	697	24,10	6,68	27,71
<i>A3</i>	1	47	899	24,36	7,44	30,54

DP = desvio padrão, CV = coeficiente de variação, *B1* = nível de produção baixo e 1ª ordem de lactação, *B2* = nível de produção baixo e 2ª ordem de lactação, *B3* = nível de produção baixo e 3ª ou maior ordem de lactação, *M1* = nível de produção médio e 1ª ordem de lactação, *M2* = nível de produção médio e 2ª ordem de lactação, *M3* = nível de produção médio e 3ª ou maior ordem de lactação, *A1* = nível de produção alto e 1ª ordem de lactação, *A2* = nível de produção alto e 2ª ordem de lactação, *A3* = nível de produção alto e 3ª ou maior ordem de lactação.

Dentro de cada grupo classificado por nível de produção (*B*, *M* e *A*) a produção média de leite das vacas de três ou mais lactações (*B3*, *M3* e *A3*) foi maior do que a das vacas de 2ª ordem de lactação (*B2*, *M2* e *A2*) e esta, por conseguinte, foi maior do que as de primíparas (*B1*, *M1*, *A1*). Na comparação da produção média de leite por vaca/dia entre os grupos, a produção do subgrupo *B3*, ordem de maior produção do grupo *B*, foi menor do que a do *M1*, ordem de menor produção do grupo *M*. Além disso a produção do subgrupo *M3*, ordem de maior produção do grupo *M*, foi menor do que a do *A1*, ordem de menor produção do grupo *A*. Isto demonstra que a classificação adotada, embora arbitrária, possui consistência lógica.

2.2 - Funções de lactação

Foram comparadas oito funções que têm sido utilizadas para representar curvas de lactação (Tabela 3). As funções variam quanto ao número de parâmetros e quanto ao enfoque mais empírico ou mecanicista. Foi utilizado o modelo simplificado, de três parâmetros, de Brody et al. (1924) pois o modelo não simplificado, de quatro parâmetros, não convergiu para nenhum dos grupos de lactações.

Tabela 3 – Funções de lactação comparadas e siglas adotadas

Autores	Função	Sigla
Brody et al. (1923)	$y_t = a \cdot e^{-b \cdot t}$	B23
Brody et al. (1924)	$y_t = a \cdot e^{-b \cdot t} - a \cdot e^{-c \cdot t}$	B24
Wood (1967)	$y_t = a \cdot t^b \cdot e^{-c \cdot t}$	WD
Cobby e Le Du (1978)	$y_t = a - b \cdot t - a \cdot e^{-c \cdot t}$	CB
Wilmink (1987)	$y_t = a - b \cdot e^{-c \cdot t} - d \cdot t$	WL
Rook et al. (1993)	$y_t = a \cdot \left[\frac{1}{1 + \frac{b}{c + t}} \right] \cdot e^{-d \cdot t}$	RK
Dijkstra et al. (1993)	$y_t = a \cdot e^{\frac{b \cdot (1 - e^{-c \cdot t})}{c} - d \cdot t}$	DJ
Pollott (2000)	$y_t = a \cdot \left\{ \frac{1}{1 + \left[\frac{(1-b)}{b} \right] \cdot e^{-c \cdot t}} - \frac{1}{1 + \left[\frac{(1-d)}{d} \right] \cdot e^{-g \cdot t}} \right\} \cdot (1 - e^{-h \cdot t})$	PO

y_t = produção de leite por vaca/dia (litros), t = tempo de lactação (dias), a, b, c, d, g, h = (todos > 0) = parâmetros que definem a escala ou formato das curvas.

2.3 - Análises estatísticas

Os parâmetros dos modelos foram ajustados considerando o conjunto de informações de cada subgrupo, com a utilização do método iterativo Gauss-Newton modificado para regressão não linear, procedimento Proc NLIN do SAS. A técnica de análise de modelos não-lineares utiliza o processo iterativo para obtenção das soluções do sistema de equações, pois não é possível obter solução analítica dos parâmetros como no caso de modelos lineares. O processo iterativo requer o fornecimento de valores iniciais aos parâmetros e, a partir desses valores, é calculada a soma de quadrados do resíduo (*SQR*). Os parâmetros são continuamente modificados até que a *SQR* seja minimizada. Os valores iniciais foram considerados a partir da média de cada estimativa de parâmetro obtida da literatura.

De posse dos parâmetros ajustados foram calculadas, para cada modelo, estimativas da produção de leite no pico de lactação (*PLP*), do dia do pico de lactação (*DiaP*) e da produção total acumulada em 305 dias de lactação (*PL305*). Para realização destes cálculos utilizaram-se métodos numéricos no programa de simulação STELLA 9.0.

Posteriormente os modelos foram ajustados individualmente para cada lactação, dentro de cada subgrupo, e calculadas estimativas dos avaliadores de ajuste. Para tal, utilizou-se o procedimento Proc Model do SAS. As medidas consideradas para avaliação do ajuste dos modelos foram:

- Coeficiente de Determinação (R^2),

$$R^2 = 1 - [(SQR)/(SQ_{total})]$$

onde SQ_{total} = soma de quadrados total

- Quadrado Médio do Erro (QME),

$$QME = SQR / ((N-1) - (K-1))$$

onde N = número de observações em cada lactação e K = número de parâmetros independentes no modelo.

- Quadrado Médio do Erro de Predição ($QMEP$),

$$\sum_{i=1}^n (O - P)^2 / N$$

onde O = valor observado, P = valor predito pelo modelo

- Critério Bayesiano de Informação (CBI).

$$CBI = -2 \times \log(J) + K \times \log(N)$$

onde J = máxima verossimilhança

O CBI penaliza modelos com maior número de parâmetros, combinando uma medida de ajuste do modelo ($-2 \times \log(J)$) com uma medida da complexidade do modelo ($K \times \log(N)$).

Os valores para os avaliadores obtidos em cada modelo foram comparados por meio do intervalo de confiança, considerando-se 95% de probabilidade.

Para cada lactação, os modelos que completaram 100 iterações sem atingirem a minimização da SQR ou cujos parâmetros convergiram para valores irrealis foram considerados não convergidos. A quantidade de lactações cujos parâmetros dos modelos convergiram adequadamente em

relação a quantidade de lactações no subgrupo permite calcular o percentual de convergência ($C\%$) para cada modelo em cada subgrupo, de forma que:

$$C\% = (\text{Lactações que convergiram no subgrupo} / \text{Total de lactações no subgrupo}) \times 100$$

Em cada subgrupo, quando o percentual de convergência para determinado modelo foi menor que 50%, este foi considerado de baixa convergência, sendo descartado.

3 - Resultados e Discussão

As estimativas dos parâmetros dos modelos, da produção de leite no pico de lactação, do dia do pico de lactação e da produção de leite acumulada em 305 dias de lactação, para o subgrupo *B1*, encontram-se na Tabela 4. Os valores médios e os intervalos de confiança dos avaliadores de ajuste dos modelos para o grupo *B1* encontram-se, respectivamente, na Tabela 4 e Figura 1. O modelo *B23* não é capaz de representar o aumento de produção no início da lactação, estando a estimativa de produção máxima no intercepto, cujo valor corresponde ao parâmetro a . Sendo assim, para este modelo não houve necessidade de representar os valores de *PLP* e *DiaP* nas tabelas. Embora esta característica não permita ao modelo descrever uma curva de lactação característica de rebanhos especializados para produção de leite, Thornley e France, (2007) consideram que o modelo *B23* pode se ajustar

adequadamente para animais mestiços de baixa produção criados em condições tropicais.

Os modelos *B24* e *CB* apresentaram estimativas de *DiaP* consideravelmente mais baixas que os demais e de *PLP* mais altas. As estimativas de *PL305* variaram pouco situando-se entre 3.369,08 L para o modelo *B23* e 3.388,26 L para o modelo *WL*.

Tabela 4 – Parâmetros, estimativas e avaliadores de ajuste dos modelos para os dados referentes ao subgrupo *B1*¹

Parâmetros	Modelos ²						
	<i>B23</i>	<i>B24</i>	<i>WD</i>	<i>CB</i>	<i>WL</i>	<i>RK</i>	<i>DJ</i>
<i>a</i>	16,0542 (0,3328)	16,3021 (0,3500)	12,2475 (0,9437)	15,5048 (0,2751)	15,7877 (0,3233)	17,9360 (0,9908)	11,9983 (1,3889)
<i>b</i>	0,0026 (0,0001)	0,00268 (0,0001)	0,0883 (0,0235)	0,0286 (0,0015)	4,3153 (2,0928)	2,9630 (2,4726)	0,0287 (0,0214)
<i>c</i>		0,7266 (0,2000)	0,00356 (0,0003)	1,2269 (0,4516)	0,1358 (0,0980)	4,6875 (5,7217)	0,0806 (0,0415)
<i>d</i>					0,0298 (0,0016)	0,00308 (0,0002)	0,00294 (0,0002)
Estimativas³							
<i>PLP</i> (L)		15,908	14,887	15,328	14,915	15,100	15,199
<i>DiaP</i> (dias)		8	25	5	22	25	28
<i>PL305</i> (L)	3.369,08	3.369,80	3.378,73	3.381,13	3.388,26	3.377,10	3.373,44
Avaliadores⁴							
<i>R</i> ²	0,742b (0,203)	0,846ab (0,115)	0,818ab (0,186)	0,804ab (0,200)	0,819ab (0,185)	0,908a (0,059)	0,859ab (0,148)
<i>QME</i>	2,914a (2,185)	2,339ab (1,974)	2,291ab (1,786)	1,818ab (1,297)	2,235ab (1,797)	1,258b (0,683)	1,535ab (1,295)
<i>QMEP</i>	2,383a (1,763)	1,706ab (1,393)	1,668ab (1,275)	1,356b (0,991)	1,635ab (1,296)	0,868b (0,526)	1,051b (0,913)
<i>BIC</i>	45,891 (10,72)	46,125 (11,166)	44,864 (12,76)	44,836 (13,106)	45,136 (12,532)	47,667 (12,981)	46,040 (15,864)
<i>C%</i>	93,8	62,5	66,7	47,9	60,4	10,4	29,2

¹Valores entre parênteses = desvio padrão.

²*B23* = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997).

³*PLP* = produção de leite no pico de lactação, *DiaP* = dia do pico de lactação, *PL305* = produção de leite acumulada em 305 dias de lactação.

⁴*C%* = porcentagem de convergência; *CBI* = critério bayesiano de informação; *R*² = coeficiente de determinação; *QME* = quadrado médio do erro; *QMEP* = quadrado médio do erro de predição;

Médias na mesma linha, seguidas por letras diferentes diferem a 5% de probabilidade pelo intervalo de confiança.

B1 = baixa produção e primeira ordem de lactação.

O modelo *PO* não convergiu em nenhuma das lactações avaliadas e os modelos de *CB*, *RK* e *DJ* apresentaram menos de 50% de convergência sendo, portanto, desconsiderados para este subgrupo. Entre os quatro

modelos que apresentaram convergência maior que 50%, não houve diferença ($P>0,05$) para nenhum dos avaliadores de ajuste utilizados.

Em valores absolutos o modelo *B23* apresentou pior ajuste em todos os avaliadores. Apesar do modelo *B24* ter apresentado maior valor de R^2 , o modelo *WL* foi selecionado para representar as lactações do grupo *B1*, por apresentar, em valores absolutos, melhor ajuste para os avaliadores *QME*, *QMEP* e *CBI*.

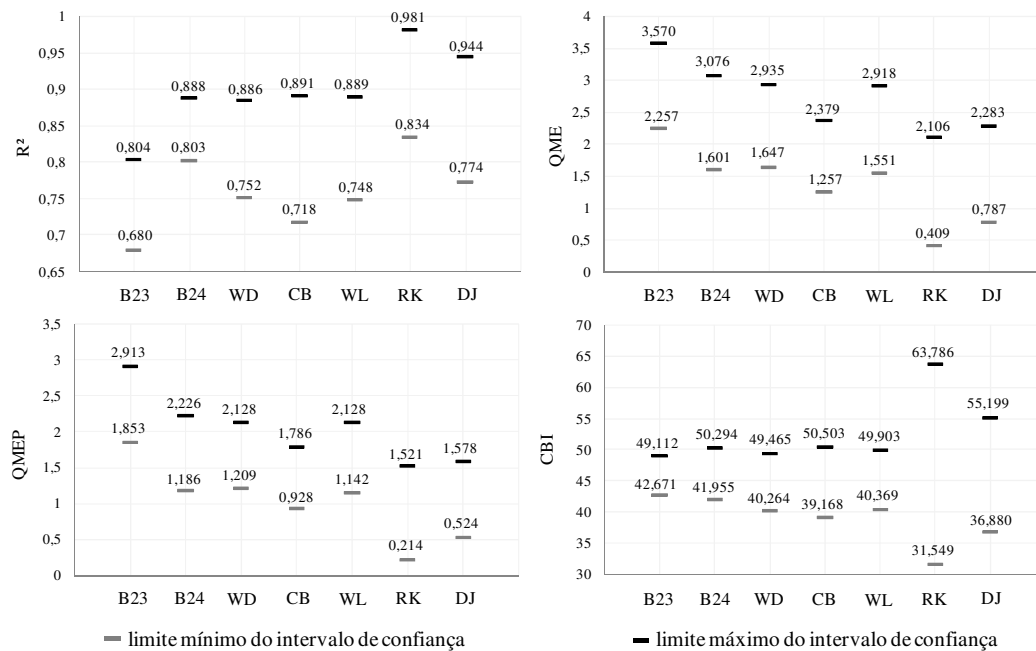


Figura 1 – Intervalos de confiança de 95% para os avaliadores de ajuste dos modelos referentes aos dados do subgrupo *B1*.

B23 = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), R^2 = coeficiente de determinação, *QME* = quadrado médio do erro, *QMEP* = quadrado médio do erro de predição e *CBI* = critério bayesiano de informação, *B1* = baixa produção e primeira ordem de lactação.

A curva de lactação ajustada pelo modelo *WL* aos dados do subgrupo *B1* está apresentada na Figura 2. O modelo *WD* é uma modificação do modelo *CB*

onde a está associado com o nível de produção, b está relacionado com a produção de leite antes do pico de lactação, d representa o decréscimo da produção após o pico de lactação e c está associado com o tempo em que ocorre o pico de lactação.

Apesar do modelo WL possuir um parâmetro a mais que o WD , o valor obtido com $a - b$ corresponde exatamente a produção de leite no início da lactação, sendo que variações no valor do parâmetro de escala a não produzem alterações no formato da curva. O mesmo não é verdadeiro para o modelo WD , de forma que, neste caso, a não pode ser considerado precisamente como um parâmetro de escala.

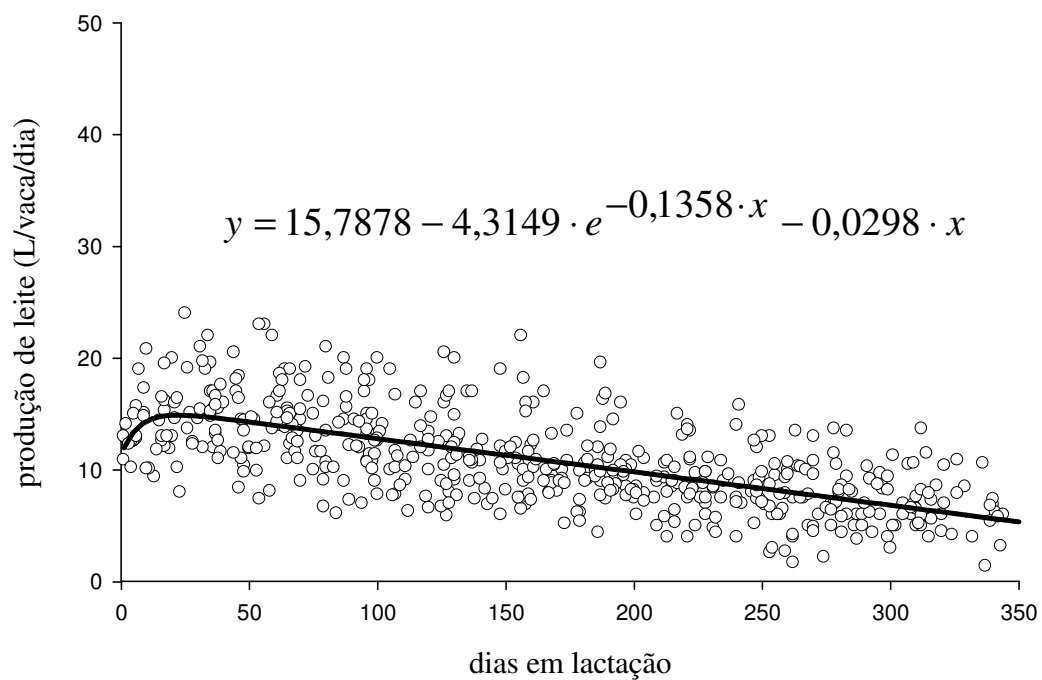


Figura 2 – Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo WL para os dados do subgrupo $B1$.

WL = Wilmink (1987); $B1$ = baixa produção e primeira ordem de lactação

Para o subgrupo *B2*, novamente os modelos *B24* e *CB* apresentaram valores consideravelmente mais baixos de *DiaP* e mais altos de *PLP* que os demais modelos (Tabela 5). A *PL305* variou entre 3.997,21 L para o modelo *B24* e 4.022,95 L para o modelo *WL* que tal como para o subgrupo *B1* apresentou maior valor para esta estimativa.

Tabela 5 – Parâmetros, estimativas e avaliadores de ajuste dos modelos para os dados referentes ao subgrupo *B2*¹

Parâmetros	Modelos ²						
	<i>B23</i>	<i>B24</i>	<i>WD</i>	<i>CB</i>	<i>WL</i>	<i>RK</i>	<i>DJ</i>
<i>a</i>	19,7619 (0,4540)	20,2924 (0,4985)	12,5271 (1,1133)	19,2158 (0,3633)	20,3934 (0,6978)	93,7135 (226,7)	16,2192 (0,8821)
<i>b</i>	0,00287 (0,0002)	0,00302 (0,0002)	0,1489 (0,0272)	0,0392 (0,0019)	4,9003 (1,3045)	364,3 (1238,7)	0,00869 (0,0018)
<i>c</i>		0,4781 (0,1073)	0,00453 (0,0003)	0,9501 (0,3386)	0,0406 (0,0222)	75,2338 (41,681)	0,0114 (0,0069)
<i>d</i>					0,0444 (0,0032)	0,00635 (0,0028)	0,00522 (0,0013)
Estimativas³							
<i>PLP (L)</i>		19,524	18,157	18,917	17,660	17,476	17,413
<i>DiaP (dias)</i>		11	33	7	37	44	45
<i>PL305 (L)</i>	4.002,31	3.997,21	4.007,08	4.012,18	4.022,95	4.011,92	4.011,92
Avaliadores⁴							
<i>R²</i>	0,720c (0,237)	0,829 bc (0,181)	0,862b (0,146)	0,834 bc (0,189)	0,857 bc (0,152)	0,868abc (0,149)	0,953a (0,035)
<i>QME</i>	7,411a (8,604)	4,177ab (3,721)	3,456b (2,989)	3,656ab (2,766)	3,424ab (2,960)	2,889ab (2,883)	2,083b (2,433)
<i>QMEP</i>	5,412a (6,196)	3,098ab (2,853)	2,581ab (2,298)	2,718ab (2,124)	2,562ab (2,275)	1,848b (1,969)	1,341b (1,627)
<i>BIC</i>	55,324 (15,966)	51,173 (16,255)	49,635 (16,571)	50,602 (16,338)	49,930 (16,401)	46,072 (14,954)	43,595 (16,068)
<i>C%</i>	100	69,2	71,8	53,8	59	28,2	28,2

¹Valores entre parênteses = desvio padrão.

²*B23* = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmlink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997).

³*PLP* = produção de leite no pico de lactação, *DiaP* = dia do pico de lactação, *PL305* = produção de leite acumulada em 305 dias de lactação.

⁴*C%* = Porcentagem de convergência; *CBI* = critério bayesiano de informação; *R²* = coeficiente de determinação; *QME* = quadrado médio do erro; *QMEP* = quadrado médio do erro de predição;

Médias na mesma linha, seguidas por letras diferentes diferem a 5% de probabilidade pelo intervalo de confiança. *B2* = baixa produção e segunda ordem de lactação.

O modelo *PO* não convergiu em nenhuma das lactações e os modelos *RK* e *DJ* apresentaram convergência menor que 50% e foram desconsiderados na avaliação para o subgrupo *B2*. Dos cinco modelos que

apresentaram convergência maior que 50%, *B23* obteve pior ajuste ($P < 0,05$) que *WD* de acordo com os avaliadores R^2 e QME (Tabela 5 e Figura 3). Os demais modelos considerados não diferiram ($P > 0,05$) em nenhum dos avaliadores utilizados. Embora, em termos numéricos o modelo *WL* tenha apresentado melhor ajuste que os demais para os avaliadores QME e $QMEP$, o modelo *WD* foi selecionado para representar o subgrupo *B2*, pois obteve melhor ajuste para os avaliadores R^2 e CBI , além de ter obtido maior porcentagem de convergência que o modelo *WL*.

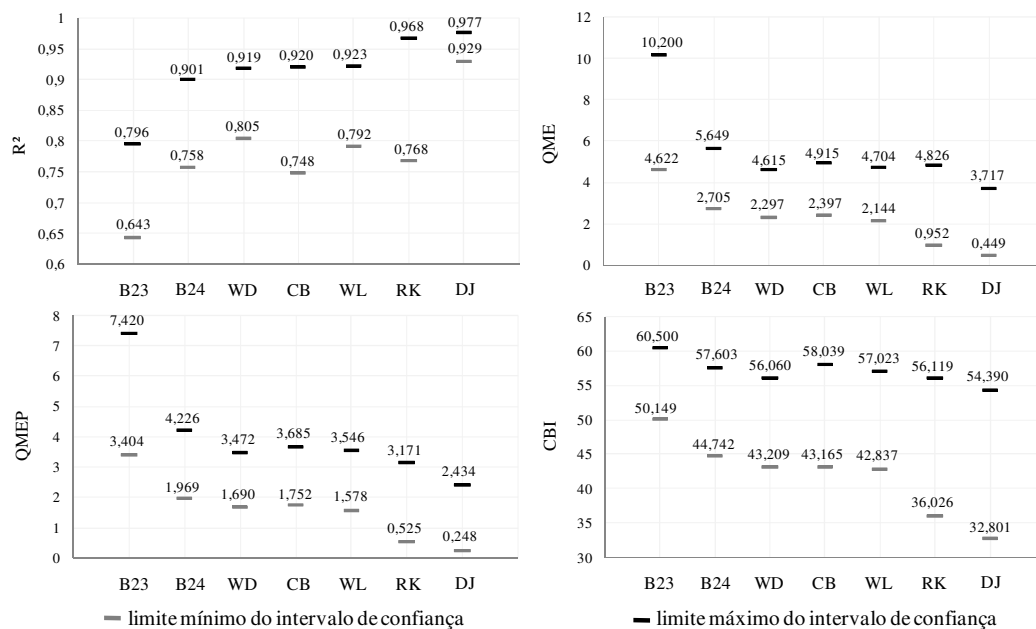


Figura 3 – Intervalos de confiança de 95% para os avaliadores de ajuste dos modelos referentes aos dados do subgrupo *B2*.

B23 = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), R^2 = coeficiente de determinação, QME = quadrado médio do erro, $QMEP$ = quadrado médio do erro de predição e CBI = critério bayesiano de informação, *B2* = baixa produção e segunda ordem de lactação.

A curva de lactação ajustada pelo modelo *WD* aos dados do subgrupo *B2* está apresentada na Figura 4. O modelo *WD* possui a grande vantagem de produzir bons ajustes com apenas três parâmetros. Em modelos de simulação

de sistemas de produção, isto significa economia de recursos computacionais pela utilização de menor número de constantes. Entretanto, algumas críticas têm sido feitas em relação a dificuldade de interpretação biológica precisa dos parâmetros e a tendência em subestimar e superestimar a produção de leite no meio e no final do período de lactação, respectivamente (Cobby e Le Du, 1978; Rook et al.,1993). Talvez a característica mais indesejável desse modelo seja que o valor do intercepto é sempre nulo. Entretanto, para utilização em modelos de simulação de sistemas de produção de leite, cujo intervalo de tempo utilizado em geral é maior do que um dia, possivelmente isto não representaria sérios problemas.

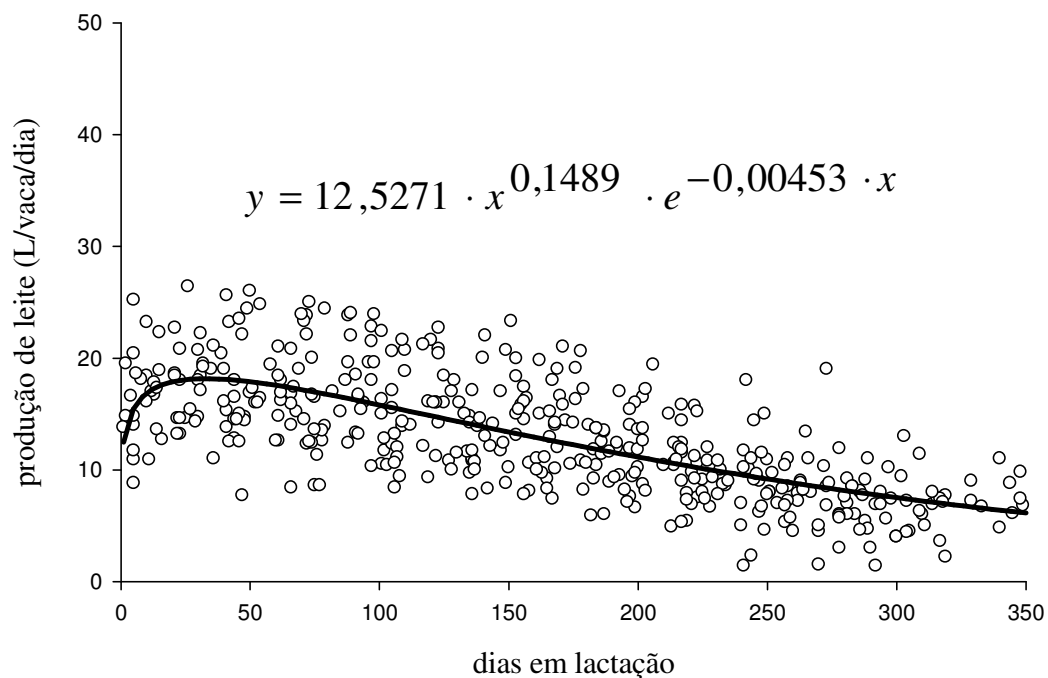


Figura 4 – Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *WD* para os dados do subgrupo *B2*.

WD = Wood (1967); *B2* = baixa produção e segunda ordem de lactação.

Para o subgrupo *B3*, os modelos *WD* e *WL* estimaram mesmo valor para *DiaP*, porém, mais baixo que os estimados pelos modelos *RK* e *DJ*. Os

modelos *B24*, *CB* e *PO* apresentaram valores consideravelmente mais baixos de *DiaP*, em relação aos demais, característica que foi acompanhada de valores mais altos de *PLP* para os modelos *B24* e *CB*, mas não para o modelo *PO* (Tabela 6). É possível que isso tenha contribuído para que o modelo *PO* apresentasse valor destacadamente menor de *PL305* em relação aos demais.

Tabela 6 – Parâmetros, estimativas e avaliadores de ajuste dos modelos para os dados referentes ao subgrupo *B3*¹

Parâmetros	Modelos ²							
	<i>B23</i>	<i>B24</i>	<i>WD</i>	<i>CB</i>	<i>WL</i>	<i>RK</i>	<i>DJ</i>	<i>PO</i>
<i>a</i>	22,0234 (0,4338)	22,2922 (0,4492)	15,1210 (1,1291)	21,1723 (0,3497)	21,8090 (0,4741)	29,4555 (3,934)	17,2275 (1,1761)	30,7481 (10,4822)
<i>b</i>	0,00298 (0,0001)	0,00305 (0,0001)	0,1242 (0,0230)	0,0435 (0,0019)	5,3695 (1,8332)	14,5470 (12,642)	0,0139 (0,006)	0,4424 (9,7721)
<i>c</i>		0,9941 (0,2705)	0,00439 (0,0003)	1,2511 (0,3997)	0,0809 (0,0469)	18,9091 (14,1736)	0,0343 (0,0135)	1,0535 (5,4354)
<i>d</i>					0,0464 (0,0024)	0,00413 (0,0004)	0,00382 (0,0003)	0,3612 (0,2017)
<i>g</i>								0,00475 (0,00143)
<i>h</i>								1,7039 (97,9319)
Estimativas³								
<i>PLP (L)</i>		21,831	20,227	20,914	19,952	20,077	20,016	19,380
<i>DiaP (dias)</i>		6	28	5	28	34	38	7
<i>PL305 (L)</i>	4.396,87	4.397,24	4.404,04	4.411,23	4.415,11	4.397,87	4.393,34	4.310,40
Avaliadores⁴								
<i>R²</i>	0,787c (0,197)	0,862bc (0,126)	0,891b (0,111)	0,864bc (0,132)	0,874b (0,127)	0,939a (0,0400)	0,900ab (0,142)	0,952a (0,036)
<i>QME</i>	6,570a (6,643)	4,135ab (3,696)	3,412bc (3,246)	3,955abc (3,56)	3,895bc (3,46)	2,084cd (1,802)	3,248bc (3,768)	2,374bc (2,017)
<i>QMEP</i>	4,770a (4,825)	3,013ab (2,747)	2,484bc (2,409)	2,894ab (2,663)	2,840b (2,572)	1,308cd (1,25)	2,152bcd (2,561)	1,010d (0,917)
<i>BIC</i>	53,272a (15,161)	49,212ab (14,298)	46,826ab (13,938)	49,722ab (14,331)	49,400ab (13,676)	43,337b (12,8)	49,389ab (17,523)	47,284ab (12,652)
<i>C%</i>	100	75,7	87,1	58,6	68,6	30	34,3	17,1

¹Valores entre parênteses = desvio padrão.

²*B23* = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmlink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), *PO* = Pollott (2000).

³*PLP* = produção de leite no pico de lactação, *DiaP* = dia do pico de lactação, *PL305* = produção de leite acumulada em 305 dias de lactação.

⁴*C%* = Porcentagem de convergência; *CBI* = critério bayesiano de informação; *R²* = coeficiente de determinação; *QME* = quadrado médio do erro; *QMEP* = quadrado médio do erro de predição;

Médias na mesma linha, seguidas por letras diferentes diferem a 5% de probabilidade pelo intervalo de confiança. *B3* = baixa produção e terceira ordem de lactação ou maior.

Os modelos *RK*, *DJ* e *PO* apresentaram convergência menor que 50% e foram desconsiderados na avaliação para o subgrupo *B3*. Problemas de convergência foram relatados anteriormente em relação aos modelos *RK* (Pérochon et al., 1996; Vargas et al., 2000) e *PO* (Val-Arreola et al., 2000), mas não em relação ao modelo *DJ*.

Considerando os cinco modelos que apresentaram convergência maior que 50%, *WD* e *WL* obtiveram melhor ajuste ($P < 0,05$) que *B23* para os avaliadores R^2 , QME e $QMEP$, mas não para o avaliador CBI (Tabela 6 e Figura 5). O fato do modelo *B23* possuir apenas dois parâmetros contribuiu para melhorar seu ajuste pelo avaliador CBI . Os demais modelos não apresentaram diferenças ($P > 0,05$) para nenhum dos avaliadores.

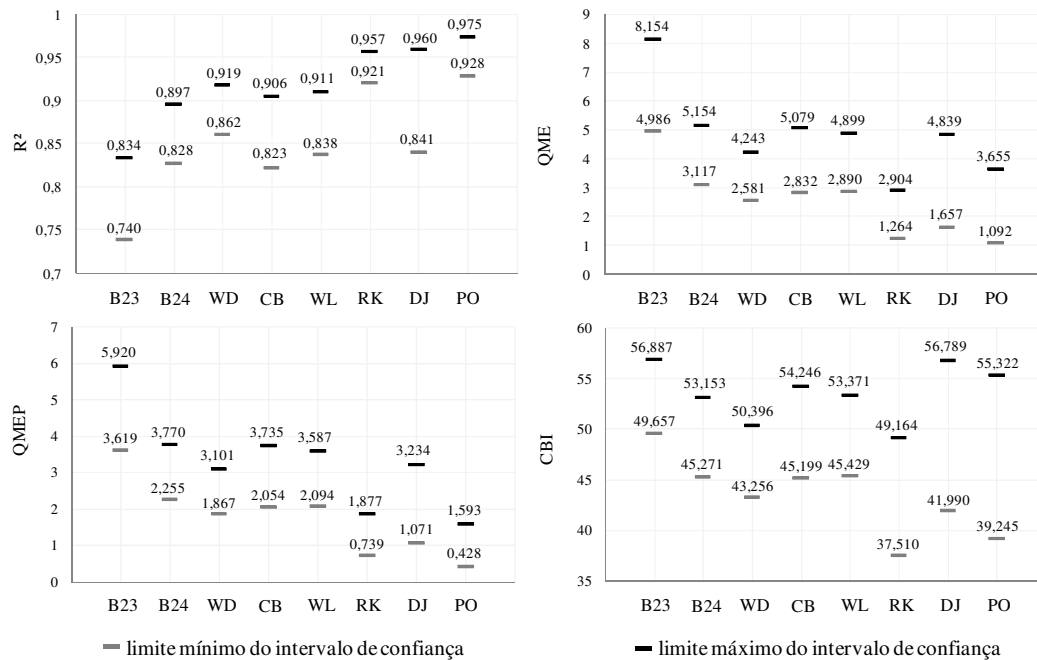


Figura 5 – Intervalos de confiança de 95% para os avaliadores de ajuste dos modelos referentes aos dados do subgrupo *B3*.

B23 = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), *PO* = Pollott (2000), R^2 = coeficiente de determinação, QME = quadrado médio do erro, $QMEP$ = quadrado médio do erro de predição e CBI = critério bayesiano de informação, *B3* = baixa produção e terceira ordem de lactação ou maior.

O modelo *WD* foi selecionado para representar as lactações do grupo *B3*, pois em valores absolutos apresentou melhor ajuste em todos os avaliadores, além de, a exceção do modelo *B23*, apresentar melhor convergência que os demais. A curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *WD*, para os dados do subgrupo *B3* pode ser observada na Figura 6.

Mesmo sendo consideradas de baixa produção, as lactações dos animais do grupo *B* apresentaram pico de produção posterior ao início da lactação. Em virtude disso, embora Val-Arreola et al. (2004) tenham observado bom ajuste deste modelo para lactações de animais de baixa produção no México e Thornley e France, (2007) considerem-no passível de ser utilizado para animais mestiços de baixa produção criados em condições tropicais, o modelo *B23* não se mostrou adequado para representar as lactações de animais do grupo *B* em nenhuma das ordens de lactação.

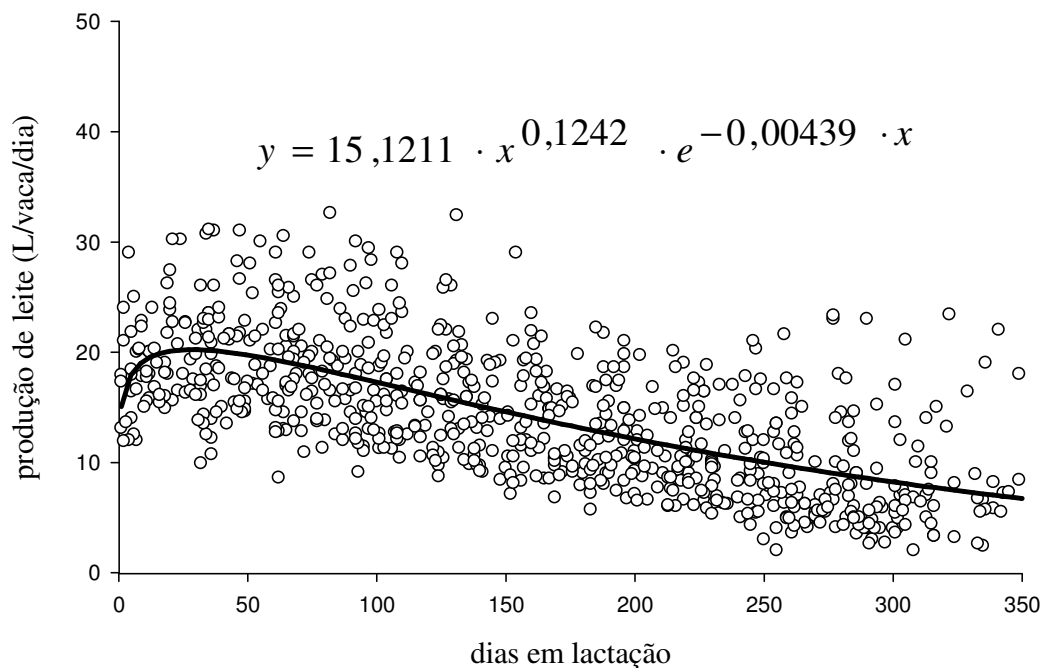


Figura 6 – Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *WD* para os dados do subgrupo *B3*.

WD = Wood (1967); *B3* = baixa produção e terceira ordem de lactação ou maior.

Para o subgrupo *MI*, os modelos *B24* e *CB* estimaram mesmo valor para *DiaP*, porém, consideravelmente inferior as estimativas feitas pelos demais modelos (Tabela 7). Os modelos *B24* e *CB* também se destacaram dos demais por apresentarem maiores valores de *PLP*. O modelo *WD* produziu estimativas de *DiaP* menores que as dos modelos *RK* e *DJ*. Isto confirma os resultados obtidos por Val-Arreola et al. (2004) e pode ser considerada como uma característica que distingue os modelos *RK* e *DJ* do modelo *WD*. As estimativas de *PL305* variaram entre 4.664,53 pelo modelo *B23* e 4.689,68 pelo modelo *PO*.

Novamente, os modelos *RK*, *DJ* e *PO* apresentaram convergência menor que 50% e não foram considerados na comparação dos avaliadores de ajuste. Tal como nos subgrupos *B2* e *B3*, o modelo *CB* apresentou menor convergência dentre aqueles que convergiram em mais de 50% das lactações. Entre os modelos que convergiram em mais de 50% das lactações não houve diferença ($P > 0,05$) para nenhum dos avaliadores de ajuste (Tabela 7 e Figura 7).

Em valores absolutos o modelo *WL* apresentou melhor ajuste que os demais para os avaliadores *QME* e *QMEP*. Entretanto, o modelo *WD* foi selecionado para representar as lactações do subgrupo *MI*, pois obteve melhor ajuste para os avaliadores R^2 e *CBI*, e maior percentual de convergência que o modelo *WL*. A Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *WD*, para os dados do subgrupo *MI*, pode ser observada na Figura 8.

Tabela 7 – Parâmetros, estimativas e avaliadores de ajuste dos modelos para os dados referentes ao subgrupo *MI*¹

Parâmetros	Modelos ²							
	<i>B23</i>	<i>B24</i>	<i>WD</i>	<i>CB</i>	<i>WL</i>	<i>RK</i>	<i>DJ</i>	<i>PO</i>
<i>a</i>	18,5606 (0,4573)	18,9024 (0,4720)	11,9911 (1,1695)	18,8197 (0,4206)	22,2417 (2,0787)	48,6081 (52,0922)	15,2107 (0,9742)	20,2733 (5,5282)
<i>b</i>	0,00129 (0,0002)	0,00138 (0,0002)	0,1377 (0,0287)	0,0222 (0,0023)	7,4229 (1,8680)	155,2 (340,2)	0,00771 (0,0022)	0,8349 (0,0832)
<i>c</i>		1,1436 (0,3147)	0,00269 (0,0003)	1,1539 (0,3171)	0,0191 (0,0101)	68,7040 (51,2333)	0,0121 (0,0083)	0,0306 (0,0459)
<i>d</i>					0,0366 (0,0078)	0,00369 (0,0016)	0,00305 (0,0011)	0,0648 (0,1243)
<i>g</i>								0,00825 (0,0050)
<i>h</i>								1,7703 (0,8566)
Estimativas³								
<i>PLP (L)</i>		18,727	17,9643	18,668	17,730	17,721	17,696	17,592
<i>DiaP (dias)</i>		6	51	6	71	73	77	65
<i>PL305 (L)</i>	4.664,53	4.681,16	4.680,04	4.683,33	4.680,92	4.679,67	4.686,21	4.689,68
Avaliadores⁴								
<i>R²</i>	0,513b (0,325)	0,602ab (0,233)	0,680ab (0,255)	0,612ab (0,233)	0,679ab (0,258)	0,701ab (0,255)	0,774a (0,218)	0,809a (0,165)
<i>QME</i>	6,396 (5,424)	5,676 (5,111)	3,914 (3,74)	5,453 (4,915)	3,787 (3,416)	3,244 (3,830)	3,215 (3,544)	2,719 (2,727)
<i>QMEP</i>	4,929a (4,434)	4,511ab (4,24)	3,063ab (3,104)	4,347ab (4,076)	2,971ab (2,831)	2,293ab (2,997)	2,374ab (2,784)	1,580b (1,568)
<i>BIC</i>	64,040 (23,667)	65,998 (23,779)	57,715 (23,877)	66,083 (23,689)	57,883 (24,587)	55,426 (26,518)	59,727 (26,332)	68,000 (13,725)
<i>C%</i>	88,6	59,1	86,4	56,8	84,1	36,4	45,5	15,9

¹Valores entre parênteses = desvio padrão.

²*B23* = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), *PO* = Pollott (2000).

³*PLP* = produção de leite no pico de lactação, *DiaP* = dia do pico de lactação, *PL305* = produção de leite acumulada em 305 dias de lactação.

⁴*C%* = Porcentagem de convergência; *CBI* = critério bayesiano de informação; *R²* = coeficiente de determinação; *QME* = quadrado médio do erro; *QMEP* = quadrado médio do erro de predição;

Médias na mesma linha, seguidas por letras diferentes diferem a 5% de probabilidade pelo intervalo de confiança.

MI = média produção e primeira ordem de lactação.

Para o subgrupo *M2* as estimativas de *DiaP* variaram entre 20 dias para o modelo *CB* e 60 dias para o modelo *DJ*. Mais uma vez os modelos *B24* e *CB* apresentaram menores estimativas em relação aos demais, e os modelos *DJ* e *RK* estimaram valores maiores que o obtido com o modelo *WD* (Tabela 8). Grande variação entre modelos, para esta estimativa, também foi observada por Faro e Albuquerque (2002).

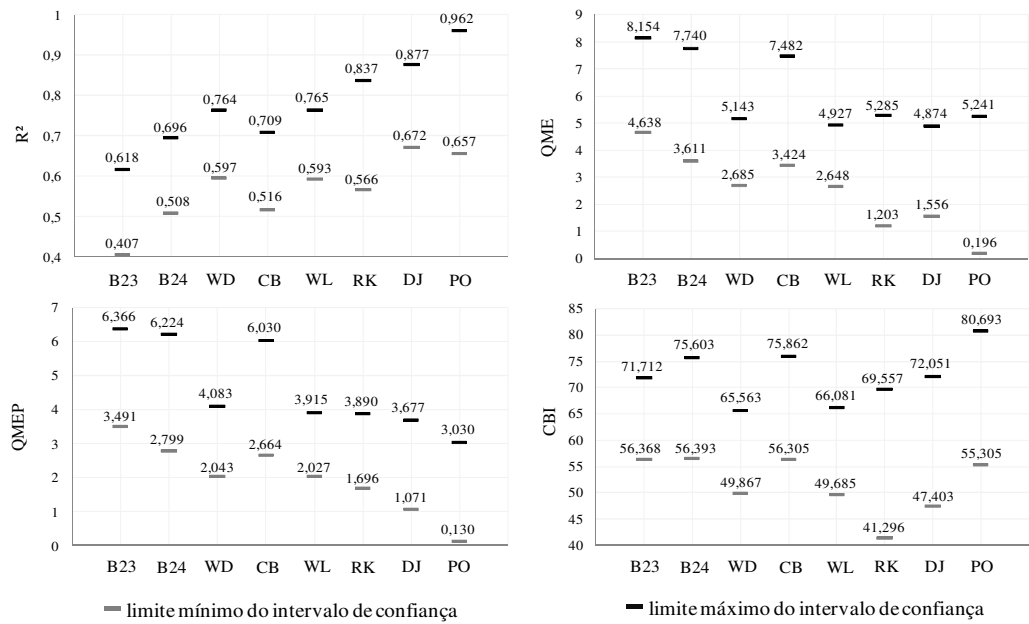


Figura 7 – Intervalos de confiança de 95% para os avaliadores de ajuste dos modelos referentes aos dados do subgrupo *MI*.
B23 = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), *PO* = Pollott (2000), R^2 = coeficiente de determinação, *QME* = quadrado médio do erro, *QMEP* = quadrado médio do erro de predição e *CBI* = critério bayesiano de informação, *MI* = média produção e primeira ordem de lactação.

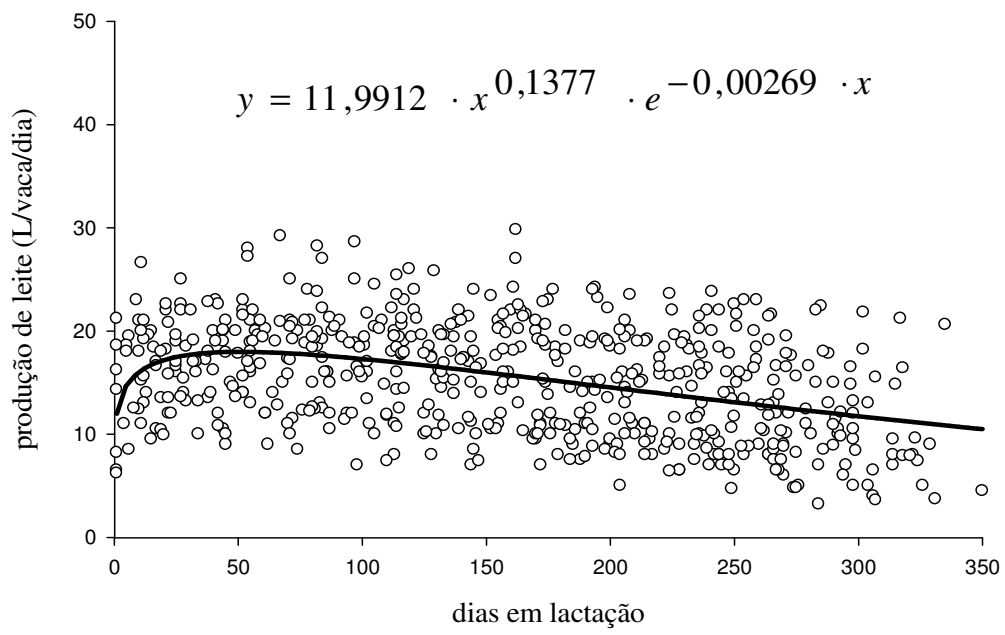


Figura 8 – Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *WD* para os dados do subgrupo *MI*.
WD = Wood (1967); *MI* = média produção e primeira ordem de lactação.

Tabela 8 – Parâmetros, estimativas e avaliadores de ajuste dos modelos para os dados referentes ao subgrupo *M2*¹

Parâmetros	Modelos ²							
	<i>B23</i>	<i>B24</i>	<i>WD</i>	<i>CB</i>	<i>WL</i>	<i>RK</i>	<i>DJ</i>	<i>PO</i>
<i>a</i>	24,8144 (0,5017)	26,4049 (0,5888)	12,6746 (1,1365)	25,2933 (0,4358)	27,1245 (0,8101)	61,6485 (30,0352)	18,9761 (1,0516)	25,8683 (1,9566)
<i>b</i>	0,00248 (0,0001)	0,00281 (0,0001)	0,2134 (0,0269)	0,0498 (0,0023)	10,2856 (1,5563)	101,1 (107,9)	0,0113 (0,0023)	0,6753 (0,0868)
<i>c</i>		0,2031 (0,0274)	0,00473 (0,0003)	0,2371 (0,0337)	0,0404 (0,0121)	41,8494 (19,8503)	0,0149 (0,0060)	0,1060 (0,0512)
<i>d</i>					0,0578 (0,0037)	0,00520 (0,0010)	0,00465 (0,0008)	0,0801 (0,0396)
<i>g</i>								0,00993 (0,00158)
<i>h</i>								4,3809 (6,8771)
Estimativas³								
<i>PLP (L)</i>		24,521	23,083	24,077	22,872	22,661	22,474	22,735
<i>DiaP (dias)</i>		21	45	20	49	56	60	37
<i>PL305 (L)</i>	5.291,32	5.272,61	5.299,09	5.285,90	5.316,76	5.307,56	5.306,88	5.316,93
Avaliadores⁴								
<i>R²</i>	0,691c (0,233)	0,851ab (0,114)	0,856b (0,093)	0,834ab (0,167)	0,830ab (0,171)	0,937a (0,054)	0,913ab (0,080)	0,896ab (0,106)
<i>QME</i>	11,854a (15,883)	4,994b (4,409)	4,597b (3,233)	4,824b (3,715)	5,242b (4,484)	2,693b (2,440)	3,166b (2,565)	4,694ab (4,638)
<i>QMEP</i>	8,951a (12,627)	3,701b (3,233)	3,446b (2,456)	3,631b (2,922)	3,986ab (3,642)	1,835b (1,900)	2,250b (1,950)	2,476b (2,352)
<i>BIC</i>	68,91 (21,987)	59,115 (16,863)	59,366 (17,628)	59,687 (19,435)	60,545 (20,801)	53,735 (18,382)	61,448 (21,587)	69,579 (19,104)
<i>C%</i>	100	72,7	88,6	72,7	79,5	15,9	45,5	25

¹Valores entre parênteses = desvio padrão.

²*B23* = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmlink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), *PO* = Pollott (2000).

³*PLP* = produção de leite no pico de lactação, *DiaP* = dia do pico de lactação, *PL305* = produção de leite acumulada em 305 dias de lactação.

⁴*C%* = Porcentagem de convergência; *CBI* = critério bayesiano de informação; *R²* = coeficiente de determinação; *QME* = quadrado médio do erro; *QMEP* = quadrado médio do erro de predição;

Médias na mesma linha, seguidas por letras diferentes diferem a 5% de probabilidade pelo intervalo de confiança.

M2 = média produção e segunda ordem de lactação.

As estimativas de *PLP* variaram de 22,474 L a 24,521 L, com os maiores valores obtidos pelos modelos de *B24* e *CB*. A menor estimativa de *PL305* foi obtida com o modelo *B24* (5.272,61 L) e a maior, com o modelo *PO* (5.316,93 L).

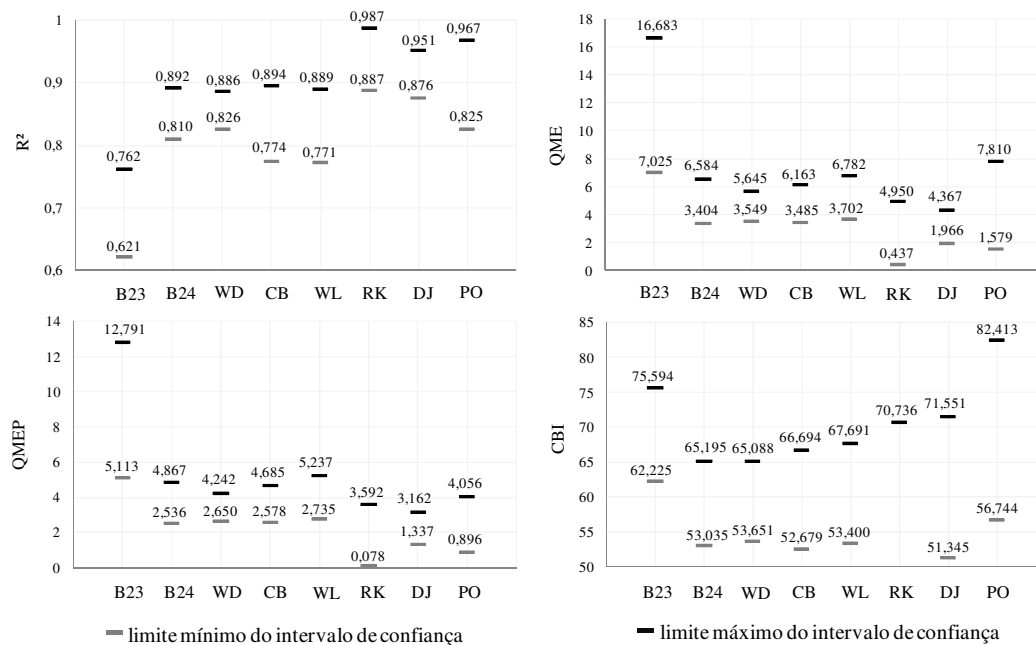


Figura 9 – Intervalos de confiança de 95% para os avaliadores de ajuste dos modelos referentes aos dados do subgrupo *M2*.

B23 = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), *PO* = Pollott (2000), *R²* = coeficiente de determinação, *QME* = quadrado médio do erro, *QMEP* = quadrado médio do erro de predição e *CBI* = critério bayesiano de informação, *M2* = média produção e segunda ordem de lactação.

Assim como nos subgrupos anteriores, os modelos *RK*, *DJ* e *PO* foram excluídos da comparação de ajuste, pois apresentaram convergência menor que 50%. Dentre os modelos que convergiram em mais de 50% das lactações do subgrupo *M2* o modelo *B23* obteve pior ajuste ($P < 0,05$) nos avaliadores *R²*, *QME* e *QMEP*. Os ajustes dos demais modelos não diferiram ($P > 0,05$) em nenhum dos avaliadores (Tabela 8 e Figura 9).

Em termos numéricos, o modelo *WD* se ajustou melhor que os demais para todos os avaliadores exceto para o *CBI* para o qual o modelo *B24* obteve melhor ajuste. Sendo assim, o modelo *WD* foi selecionado para representar o

subgrupo *M2*. A Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *WD*, para os dados do subgrupo *M2* é apresentada na Figura 10.

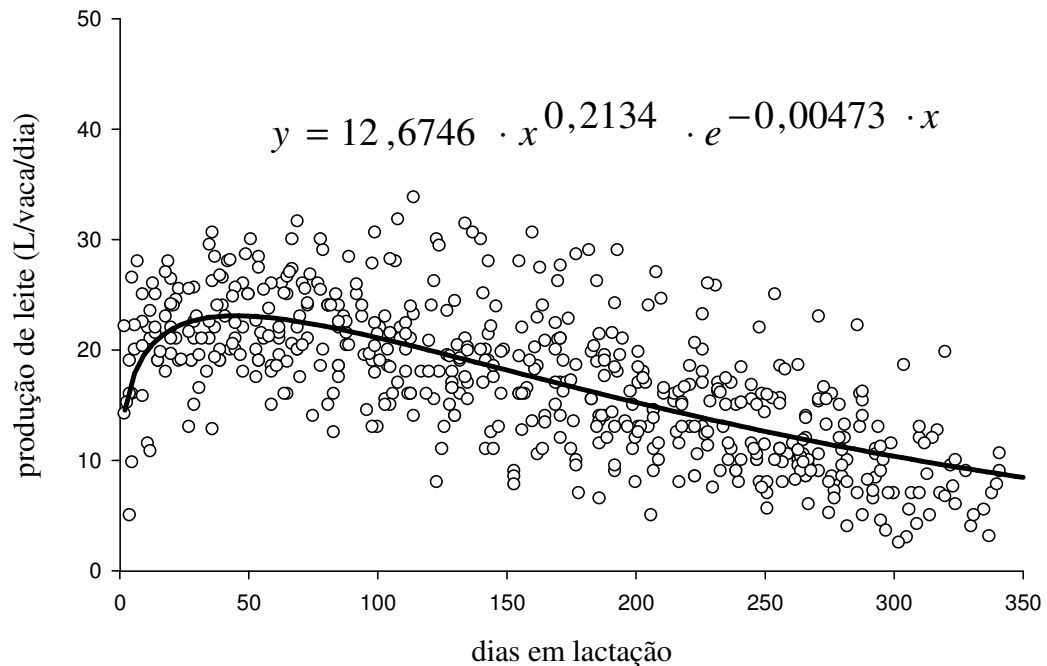


Figura 10 – Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *WD* para os dados do subgrupo *M2*.

WD = Wood (1967); *M2* = média produção e segunda ordem de lactação.

Para o subgrupo *M3* as estimativas de *DiaP* variaram entre 20 e 49 dias nos modelos *CB* e *DJ*, respectivamente. As estimativas de *PLP* variaram de 24,778 L para o modelo *DJ* a 26,972 L para o modelo *B24*. As estimativa de *PL305* situaram-se entre 5.619,95 L e 5.675,36 L obtidas pelos modelos *B24* e *WL*, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9 – Parâmetros, estimativas e avaliadores de ajuste dos modelos para os dados referentes ao subgrupo *M3*¹

Parâmetros	Modelos ²							
	<i>B23</i>	<i>B24</i>	<i>WD</i>	<i>CB</i>	<i>WL</i>	<i>RK</i>	<i>DJ</i>	<i>PO</i>
<i>a</i>	27,7892 (0,3711)	29,4454 (0,4462)	15,2092 (0,9412)	27,6389 (0,3140)	28,6119 (0,4543)	48,2585 (8,4423)	21,3236 (0,9146)	32,8694 (3,4942)
<i>b</i>	0,00281 (0,0001)	0,00313 (0,0001)	0,1900 (0,0185)	0,0573 (0,0017)	10,1071 (1,6237)	42,5398 (26,0346)	0,0116 (0,0024)	0,7369 (0,0588)
<i>c</i>		0,1840 (0,0166)	0,00481 (0,0002)	0,2372 (0,0250)	0,0588 (0,0148)	30,4441 (12,4996)	0,0204 (0,0052)	0,0841 (0,0331)
<i>d</i>					0,0616 (0,0022)	0,00469 (0,0004)	0,00427 (0,0003)	0,1731 (0,0621)
<i>g</i>								0,00792 (0,0010)
<i>h</i>								3,3362 (7,9327)
Estimativas³								
<i>PLP (L)</i>		26,972	25,289	26,252	25,1892	24,988	24,778	25,153
<i>DiaP (dias)</i>		23	40	20	39	46	49	36
<i>PL305 (L)</i>	5672,43	5619,95	5654,01	5642,55	5675,36	5666,13	5656,63	5670,00
Avaliadores⁴								
<i>R²</i>	0,757d (0,170)	0,856c (0,135)	0,877bc (0,134)	0,868c (0,136)	0,867c (0,137)	0,920ab (0,061)	0,936a (0,054)	0,933a (0,062)
<i>QME</i>	11,094a (9,926)	6,082b (5,748)	5,396bc (5,970)	5,412bc (5,865)	5,587bc (6,540)	3,794c (2,698)	3,527bc (5,151)	4,925bc (3,656)
<i>QMEP</i>	8,058a (7,167)	4,455b (4,301)	3,930b (4,416)	3,980b (4,352)	4,090b (4,816)	2,317c (1,585)	2,195c (2,640)	2,248c (1,785)
<i>BIC</i>	67,457a (18,625)	58,217ab (17,837)	55,760b (16,176)	56,619b (18,224)	56,231b (17,176)	53,234b (13,707)	54,635b (16,243)	63,616ab (17,075)
<i>C%</i>	99,0	89,5	93,3	88,6	85,7	27,6	45,7	37,1

¹Valores entre parênteses = desvio padrão.

²*B23* = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), *PO* = Pollott (2000).

³*PLP* = produção de leite no pico de lactação, *DiaP* = dia do pico de lactação, *PL305* = produção de leite acumulada em 305 dias de lactação.

⁴*C%* = Porcentagem de convergência; *CBI* = critério bayesiano de informação; *R²* = coeficiente de determinação; *QME* = quadrado médio do erro; *QMEP* = quadrado médio do erro de predição;

Médias na mesma linha, seguidas por letras diferentes diferem a 5% de probabilidade pelo intervalo de confiança.

M3 = média produção e terceira ordem de lactação ou maior.

Os modelos *RK*, *DJ* e *PO* convergiram em menos de 50% das lactações do grupo *M3* e, portanto, foram desconsiderados. Não houve diferença de ajuste ($P > 0,05$) entre modelos *B24*, *WD*, *CB* e *WL* para nenhum dos avaliadores utilizados. Entretanto, os modelos *WD*, *CB* e *WL* se ajustaram melhor aos dados em relação ao modelo *B23* ($P < 0,05$), para todos os

avaliadores, e o modelo *B24* obteve melhor ajuste que o modelo *B23* ($P < 0,05$) nos avaliadores R^2 , QME e $QMEP$ (Tabela 9 e Figura 11).

O modelo *WD* foi selecionado para representar as lactações do subgrupo *M3*, pois em valores absolutos apresentou melhor ajuste que os demais para todos os avaliadores. A Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *WD* para os dados do subgrupo *M3* pode ser observada na Figura 12.

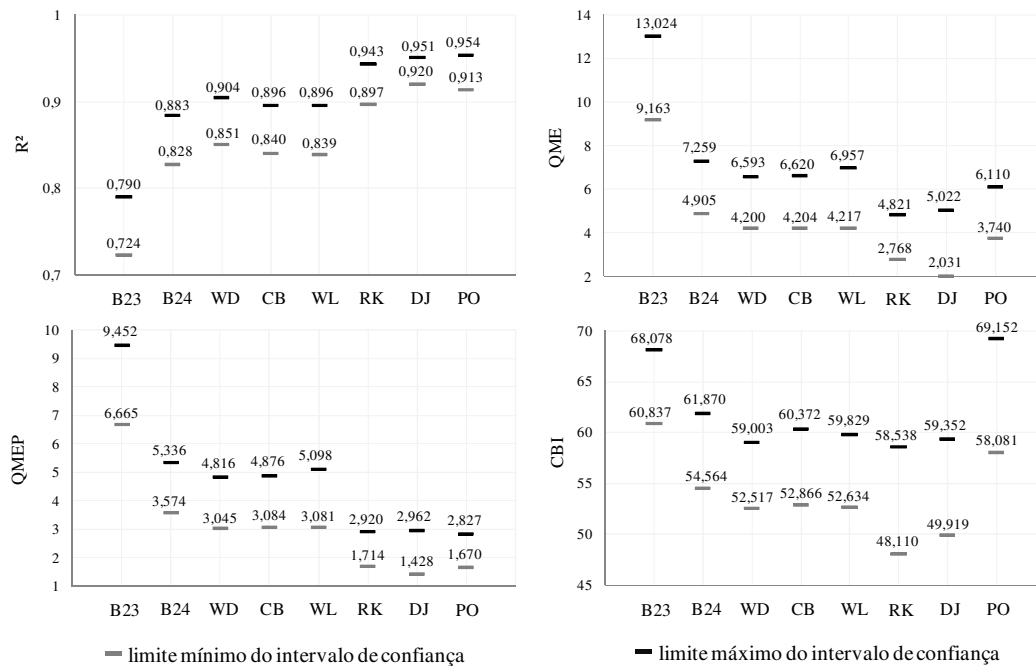


Figura 11 – Intervalos de confiança de 95% para os avaliadores de ajuste dos modelos referentes aos dados do subgrupo *M3*.

B23 = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), *PO* = Pollott (2000), R^2 = coeficiente de determinação, QME = quadrado médio do erro de predição e CBI = critério bayesiano de informação, *M3* = média produção e terceira ordem de lactação ou maior.

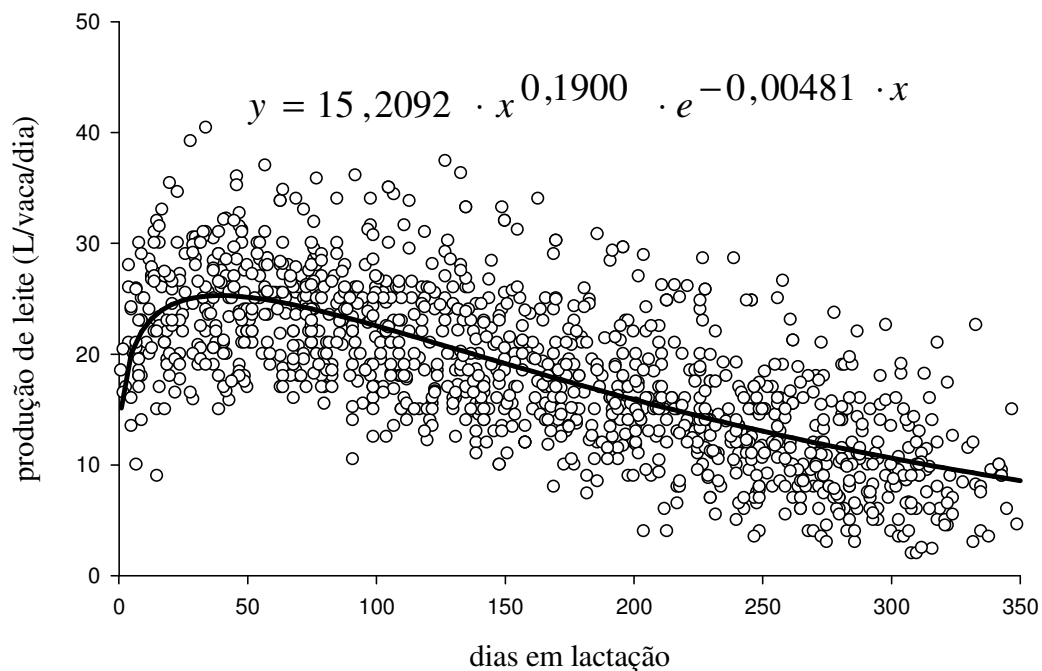


Figura 12 – Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *WD* para os dados do subgrupo *M3*.

WD = Wood (1967); *M3* = média produção e terceira ordem de lactação ou maior.

O modelo *WD* foi o que melhor se ajustou em todas as ordens de lactação do grupo de média produção, além da segunda e terceira ordens do grupo de baixa produção. De fato este modelo tem sido largamente utilizado em diversos tipos de estudos, como de avaliação de novos modelos (Cobby e Le Du, 1978; Rook et al., 1993), de melhoramento genético (Schneeberger, 1982; Grossman et al., 1984; Ferris et al., 1985; Faro e Albuquerque, 2002), de simulação de sistemas de produção (Rotz et al., 1999; Rennó, 2005) e de nutrição (CNCPS 5.0), em virtude de sua reconhecida capacidade de ajuste aliada a simplicidade.

Para o subgrupo *AI*, os modelos *B24* e *AI* estimaram o mesmo valor de *DiaP* (5 dias), que foi consideravelmente mais baixo do que os obtidos pelos outros modelos. O modelo *DJ* produziu a estimativa mais alta (81 dias), seguido pelos modelos *RK* (79 dias), *WL* (77 dias) e *WD* (69 dias). As estimativas de *PLP* variaram entre 23,448 L para o modelo *WL* e 24,214 L para o modelo *B24* e as de *PL305* se situaram entre 6.097,06 L para o modelo *DJ* e 6.141,60 L para o modelo *B24* (Tabela 10).

Tabela 10 – Parâmetros, estimativas e avaliadores de ajuste dos modelos para os dados referentes ao subgrupo *AI*¹

Parâmetros	Modelos ²						
	<i>B23</i>	<i>B24</i>	<i>WD</i>	<i>CB</i>	<i>WL</i>	<i>RK</i>	<i>DJ</i>
<i>a</i>	24,3614 (0,3720)	24,4043 (0,3740)	10,6395 (0,9054)	24,3649 (0,3336)	29,2984 (1,1576)	53,9370 (15,9232)	17,0061 (1,0006)
<i>b</i>	0,00127 (0,0001)	0,00127 (0,0001)	0,2454 (0,0242)	0,0272 (0,0019)	12,9833 (1,2273)	83,7583 (60,6157)	0,0137 (0,0029)
<i>c</i>		1,3061 (0,6694)	0,00354 (0,0002)	1,3279 (0,6805)	0,0241 (0,0054)	36,8715 (14,9741)	0,0196 (0,0047)
<i>d</i>					0,0491 (0,0048)	0,00362 (0,0006)	0,00281 (0,0003)
Estimativas³							
<i>PLP</i> (L)		24,214	23,556	24,197	23,488	23,520	23,619
<i>DiaP</i> (dias)		5	69	5	77	79	81
<i>PL305</i> (L)	6.139,85	6.141,60	6.083,78	6.137,15	6.098,53	6.096,38	6.097,06
Avaliadores⁴							
<i>R</i> ²	0,455c (0,240)	0,671b (0,140)	0,750ab (0,127)	0,699ab (0,140)	0,756ab (0,137)	0,761ab (0,113)	0,790a (0,115)
<i>QME</i>	9,710a (7,240)	4,951b (2,462)	3,909b (2,314)	4,618b (2,304)	3,789b (2,362)	4,104b (2,534)	3,335b (2,418)
<i>QMEP</i>	8,293a (6,356)	4,214b (2,106)	3,328bc (1,985)	3,937bc (1,996)	3,228bc (2,044)	3,288bc (2,001)	2,690c (2,001)
<i>BIC</i>	108,451a (20,949)	95,444ab (16,071)	90,536b (16,956)	94,254b (18,030)	89,670b (17,656)	95,592ab (15,267)	89,933b (20,349)
<i>C%</i>	92,1	84,2	97,4	89,5	97,4	39,5	78,9

¹Valores entre parênteses = desvio padrão.

²*B23* = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmlink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997).

³*PLP* = produção de leite no pico de lactação, *DiaP* = dia do pico de lactação, *PL305* = produção de leite acumulada em 305 dias de lactação.

⁴*C%* = Porcentagem de convergência; *CBI* = critério bayesiano de informação; *R*² = coeficiente de determinação; *QME* = quadrado médio do erro; *QMEP* = quadrado médio do erro de predição;

Médias na mesma linha, seguidas por letras diferentes diferem a 5% de probabilidade pelo intervalo de confiança.

AI = Alta produção e primeira ordem de lactação.

O modelo *PO* não convergiu em nenhuma das lactações do grupo *AI* e o modelo *RK* obteve convergência menor que 50%, portanto, não sendo levados em consideração nas comparações de ajuste. Dos cinco modelos que convergiram em mais de 50% das lactações o *B23* apresentou pior ajuste ($P < 0,05$) que os demais modelos para os avaliadores R^2 , QME e $QMEP$ e pior ajuste ($P < 0,05$) que os modelos *WD*, *CB*, *WL* e *DJ* para o avaliador *CBI*. O modelo *DJ* obteve melhor ajuste ($P < 0,05$) que o *B24* para o avaliador $QMEP$. Em valores absolutos o modelo *DJ* apresentou melhor ajuste que os demais para todos os avaliadores utilizados e, desta forma, foi selecionado para representar as lactações do subgrupo *AI* (Tabela 10 e Figura 13).

Em princípio, duas vantagens do modelo *DJ* sobre o *WD* são o significado biológico preciso dos parâmetros e o valor do intercepto que não é nulo. O modelo *DJ* foi concebido sob visão mecanicista semelhante a do modelo *B24*, no qual a produção de leite é função do número de células produtoras presentes o parênquima da glândula mamária durante a lactação, o que é resultado da relação dinâmica de diferenciação de novas células e morte das células diferenciadas. No modelo *DJ*, o parâmetro a representa a produção teórica inicial de leite e é produto do número de células parenquimáticas diferenciadas e da produção de leite por célula que é assumida como constante ao longo da lactação. O parâmetro b representa a taxa de proliferação de células ao parto. O parâmetro c significa a taxa de decréscimo da proliferação de células durante a lactação e o parâmetro d é a taxa de morte de células durante a lactação.

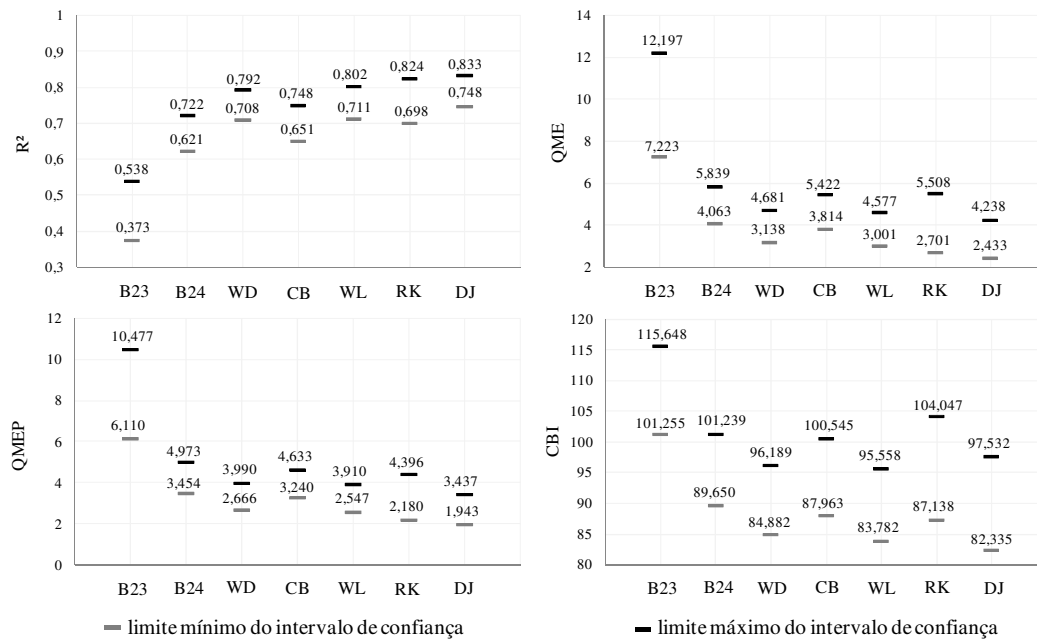


Figura 13 – Intervalos de confiança de 95% para os avaliadores de ajuste dos modelos referentes aos dados do subgrupo *AI*.

B23 = Brody et al. (1923), *B24* = Brody et al. (1924), *WD* = Wood (1967), *CB* = Cobby e Le Du (1978), *WL* = Wilmink (1987), *RK* = Rook et al. (1993), *DJ* = Dijkstra et al. (1997), *PO* = Pollott (2000), R^2 = coeficiente de determinação, *QME* = quadrado médio do erro, *QMEP* = quadrado médio do erro de predição e *CBI* = critério bayesiano de informação, *AI* = alta produção e primeira ordem de lactação.

Apesar do valor do parâmetro a do modelo *DJ* representar exatamente a produção inicial de leite, não pode ser considerado precisamente como um parâmetro de escala, ao contrário do parâmetro a do modelo *WL*, pois modificações no seu valor produzem alterações no formato da curva de lactação. A curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *DJ*, para os dados do subgrupo *AI*, está representada na Figura 14.

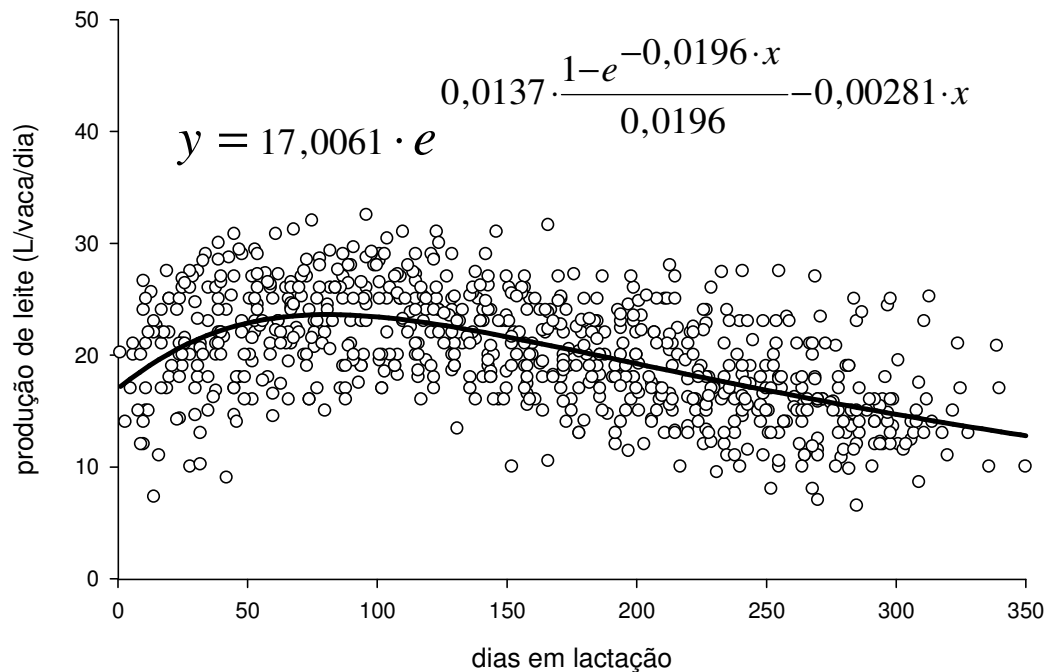


Figura 14 – Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *DJ* para os dados do subgrupo *A1*.

DJ = Dijkstra et al. (1997); *A1* = alta produção e primeira ordem de lactação.

Para o subgrupo *A2*, a estimativa de *DiaP* variou entre 38 dias no modelo *CB* e 70 dias no modelo *DJ*. O modelo *B24* produziu a maior estimativa de *PLP* (31,344 L) enquanto o *DJ* a menor (29,903 L). Os modelos *WL*, *RK* e *DJ* estimaram valores muito próximos de *PL305* (7.267,27 L, 7.267,72 L e 7.267,91 L, respectivamente), assim como os modelos *B24* e *CB* (7.205,8 L e 7.205,65 L, respectivamente) (Tabela 11).

Tabela 11 – Parâmetros, estimativas e avaliadores de ajuste dos modelos para os dados referentes ao subgrupo A2¹

Parâmetros	Modelos ²						
	B23	B24	WD	CB	WL	RK	DJ
<i>a</i>	31,8138 (0,4742)	35,4328 (0,6517)	12,9543 (1,0010)	33,8278 (0,4661)	37,0320 (1,0327)	74,3472 (19,6644)	22,0032 (1,1405)
<i>b</i>	0,00190 (0,0001)	0,00248 (0,0001)	0,2734 (0,0225)	0,0601 (0,0025)	16,9084 (1,4716)	81,5453 (50,1649)	0,0150 (0,0026)
<i>c</i>		0,0965 (0,0074)	0,00462 (0,0024)	0,1097 (0,0086)	0,0305 (0,0057)	31,4930 (10,9170)	0,0195 (0,0042)
<i>d</i>					0,0743 (0,0046)	0,00459 (0,0006)	0,00380 (0,0004)
Estimativas³							
<i>PLP (L)</i>		31,344	30,074	31,021	29,876	29,905	29,903
<i>DiaP (dias)</i>		39	59	38	64	67	70
<i>PL305 (L)</i>	7.339,70	7.205,8	7.249,95	7.205,65	7.267,27	7.267,72	7.267,91
Avaliadores⁴							
<i>R²</i>	0,586c (0,234)	0,758b (0,176)	0,807ab (0,118)	0,773ab (0,166)	0,805ab (0,116)	0,867a (0,070)	0,863a (0,093)
<i>QME</i>	14,934a (9,080)	7,704b (6,467)	6,220bc (4,672)	7,102bc (5,188)	6,309bc (4,025)	4,338bc (2,268)	4,224c (2,573)
<i>QMEP</i>	12,676a (7,696)	6,537b (5,456)	5,278bc (3,938)	6,028b (4,390)	5,357bc (3,416)	3,451bc (1,754)	3,385c (2,077)
<i>BIC</i>	115,622a (17,806)	101,479b (17,710)	97,819b (16,918)	10,566b (16,919)	98,664b (17,120)	95,590b (13,039)	95,012b (16,610)
<i>C%</i>	91,4	91,4	97,1	94,3	97,1	31,4	74,3

¹Valores entre parênteses = desvio padrão.

²B23 = Brody et al. (1923), B24 = Brody et al. (1924), WD = Wood (1967), CB = Cobby e Le Du (1978), WL = Wilmink (1987), RK = Rook et al. (1993), DJ = Dijkstra et al. (1997).

³PLP = produção de leite no pico de lactação, DiaP = dia do pico de lactação, PL305 = produção de leite acumulada em 305 dias de lactação.

⁴C% = Porcentagem de convergência; CBI = critério bayesiano de informação; R² = coeficiente de determinação; QME = quadrado médio do erro; QMEP = quadrado médio do erro de predição;

Médias na mesma linha, seguidas por letras diferentes diferem a 5% de probabilidade pelo intervalo de confiança. A2 = Alta produção e segunda ordem de lactação.

O modelo *PO* não convergiu em nenhuma das lactações do subgrupo A2. Já o modelo *RK* obteve convergência menor que 50% sendo, portanto, desconsiderado nas comparações. Os modelos *WD*, *CB*, *WL* e *DJ* não diferiram ($P > 0,05$) em nenhum dos avaliadores de ajuste, enquanto o modelo *B23* obteve pior ajuste ($P < 0,05$) que os demais em todos os avaliadores. O modelo *DJ* obteve melhor ajuste que o modelo *B24* nos avaliadores *R²*, *QME* e *QMEP*, mas não no *CBI* ($P > 0,05$). O modelo *B24* não diferiu dos modelos *WD*, *CB* e *WL* ($P > 0,05$) em nenhum dos avaliadores de ajuste (Tabela 11 e Figura

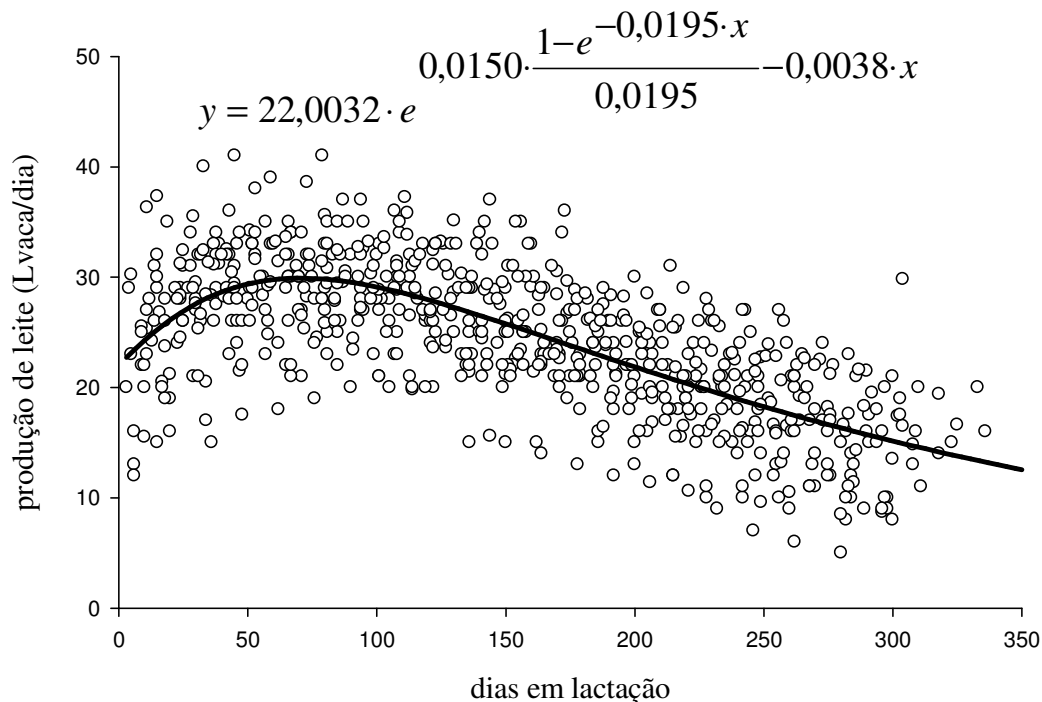


Figura 16 – Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *DJ* para os dados do subgrupo *A2*.

DJ = Dijkstra et al. (1997); *A2* = alta produção e segunda ordem de lactação.

Em relação ao subgrupo *A3* as estimativas de *DiaP* variaram de 33 dias no modelo *CB* até 60 dias no modelo *DJ*. A menor *PLP* foi estimada pelo modelo *PO* (31,261 L) e a maior pelo modelo *B24* (33,027 L). O modelo *B23* gerou a maior estimativa de *PL305* (7.477,45 L) e o modelo *CB* a menor (7.335,27 L) (Tabela 12).

Os modelos *RK* e *PO* convergiram em menos de 50% das lactações e foram desconsiderados para as comparações de ajuste no subgrupo *A3*. Dos seis modelos que convergiram em mais de 50% das lactações o *B23* obteve pior ajuste ($P < 0,05$) em todos os avaliadores enquanto os demais não diferiram entre si ($P > 0,05$) para nenhum dos avaliadores (Tabela 12 e Figura 17).

Tabela 12 – Parâmetros, estimativas e avaliadores de ajuste dos modelos para os dados referentes ao subgrupo A3¹

Parâmetros	Modelos ²							
	B23	B24	WD	CB	WL	RK	DJ	PO
<i>a</i>	33,9073 (0,7096)	37,2975 (0,9708)	14,9012 (1,7090)	35,3320 (0,6874)	37,2079 (1,1618)	59,4845 (13,3866)	23,3637 (2,0404)	40,9338 (9,9255)
<i>b</i>	0,00223 (0,0001)	0,00276 (0,0002)	0,2519 (0,0336)	0,0678 (0,0038)	16,8449 (2,9661)	38,1201 (29,2611)	0,0165 (0,0053)	0,7040 (0,1267)
<i>c</i>		0,1085 (0,0125)	0,00479 (0,0004)	0,1263 (0,0154)	0,0429 (0,0129)	21,1328 (13,4191)	0,0248 (0,0080)	0,0551 (0,0402)
<i>d</i>					0,0764 (0,0056)	0,00425 (0,0006)	0,00370 (0,0004)	0,1527 (0,1352)
<i>g</i>								0,00781 (0,0025)
<i>h</i>								0,4525 (0,3732)
Estimativas³								
<i>PLP (L)</i>		33,027	31,430	32,547	31,425	31,378	31,320	31,261
<i>DiaP (dias)</i>		35	53	33	52	56	60	51
<i>PL305 (L)</i>	7.477,54	7.338,00	7.376,95	7.335,27	7.385,01	7.391,75	7.392,49	7.360,72
Avaliadores⁴								
<i>R²</i>	0,612b (0,227)	0,773a (0,150)	0,810a (0,149)	0,795a (0,149)	0,808a (0,148)	0,812a (0,169)	0,824a (0,162)	0,874a (0,115)
<i>QME</i>	18,425a (12,547)	10,070b (7,878)	8,225bc (7,016)	8,760b (6,806)	8,208bc (6,958)	7,732bc (9,591)	7,080bc (8,007)	5,046c (2,528)
<i>QMEP</i>	15,492a (10,521)	8,480b (6,660)	6,933b (5,943)	7,371b (5,763)	6,924b (5,898)	6,101bc (7,582)	5,603bc (6,356)	3,437c (1,671)
<i>BIC</i>	114,466a (16,105)	102,872b (14,876)	99,080b (14,978)	100,309b (14,275)	99,609b (14,614)	98,943b (14,578)	98,813b (15,375)	101,289b (9,599)
<i>C%</i>	97,9	93,6	93,6	95,7	89,4	40,4	61,7	38,3

¹Valores entre parênteses = desvio padrão.

²B23 = Brody et al. (1923), B24 = Brody et al. (1924), WD = Wood (1967), CB = Cobby e Le Du (1978), WL = Wilmink (1987), RK = Rook et al. (1993), DJ = Dijkstra et al. (1997), PO = Pollott (2000).

³PLP = produção de leite no pico de lactação, DiaP = dia do pico de lactação, PL305 = produção de leite acumulada em 305 dias de lactação.

⁴C% = Porcentagem de convergência; CBI = critério bayesiano de informação; R² = coeficiente de determinação; QME = quadrado médio do erro; QMEP = quadrado médio do erro de predição;

Médias na mesma linha, seguidas por letras diferentes diferem a 5% de probabilidade pelo intervalo de confiança.

A3 = alta produção e terceira ordem de lactação ou maior.

Em valores absolutos o modelo *DJ* obteve melhor ajuste que os demais em todos os avaliadores e, portanto, foi selecionado para representar o subgrupo A3. A curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *DJ*, para os dados do grupo A3, pode ser observada na Figura 18.

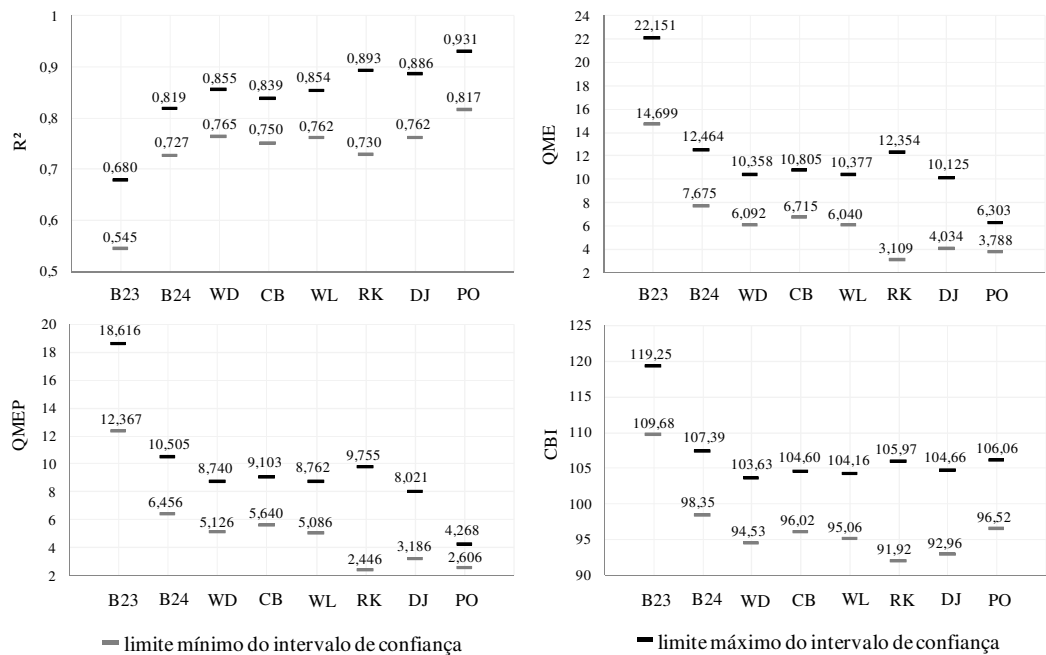


Figura 17 – Intervalos de confiança de 95% para os avaliadores de ajuste dos modelos referentes aos dados do subgrupo A3. B23 = Brody et al. (1923), B24 = Brody et al. (1924), WD = Wood (1967), CB = Cobby e Le Du (1978), WL = Wilmink (1987), RK = Rook et al. (1993), DJ = Dijkstra et al. (1997), PO = Pollott (2000), R^2 = coeficiente de determinação, QME = quadrado médio do erro, QMEP = quadrado médio do erro de predição e CBI = critério bayesiano de informação, A3 = alta produção e terceira ordem de lactação ou maior.

O modelo *DJ* se ajustou melhor que os demais em todos os subgrupos considerados de alta produção. Val-Arreola et al. (2004) também observaram ajuste superior do modelo *DJ* sobre os modelos *B23*, *WD*, *RK* e *PO* para lactações de animais de propriedades mais tecnificadas. O modelo *DJ* obteve melhor porcentagem de convergência nos subgrupos de alta produção do que nos subgrupos de baixa e média produção. Isto pode ter ocorrido em virtude do menor número de informações por lactação nos subgrupos de baixa e média produção em relação aos subgrupos de alta produção (10 vs 20 informações, respectivamente). Outro motivo que pode ter levado a menor

convergência do modelo *DJ* em subgrupos de baixa e média produção foi a ocorrência do pico de produção em dia mais próximo do início da lactação. O modelo *DJ* produziu estimativas do dia do pico de lactação maiores que as dos demais modelos, em todos os subgrupos. Resultado semelhante foi relatado por Val-Arreola et al. (2004). Desta forma, é possível que o modelo *DJ* seja mais adequado para representar lactações cujo pico de produção ocorra em dia mais distante do início da lactação.

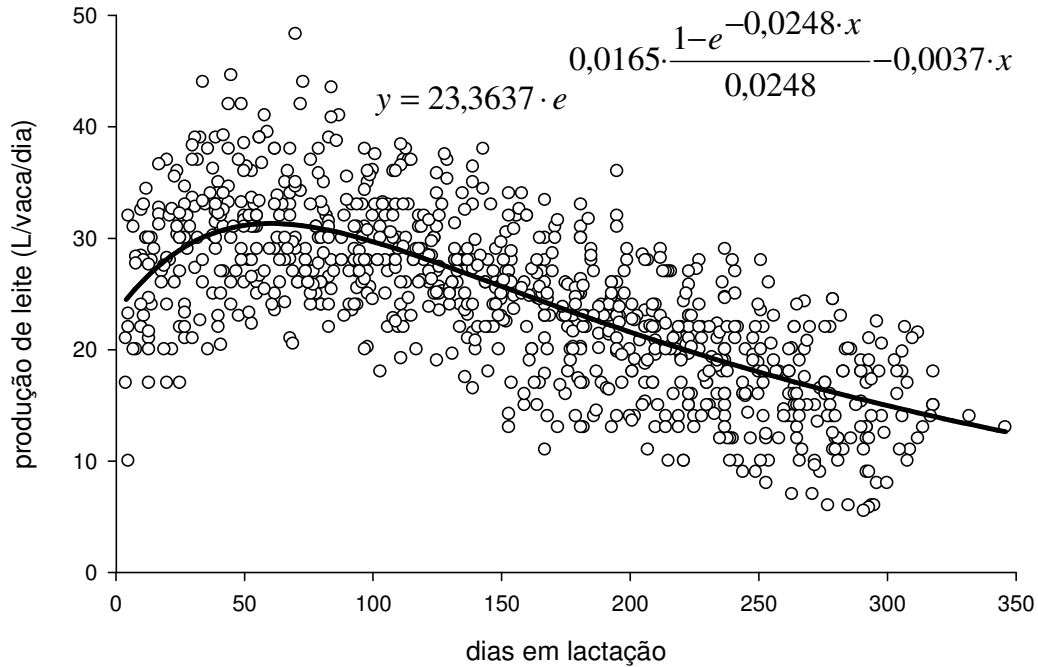


Figura 18 – Curva de lactação ajustada de acordo com o modelo *DJ* para os dados do subgrupo A3.

DJ = Dijkstra et al. (1997); A3 = alta produção e terceira ordem de lactação ou maior.

4 - Conclusões

Os modelos de Rook et al. (1993) e Pollott (2000) obtiveram baixa convergência para as lactações de todos os subgrupos estudados.

Para o grupo de propriedades cuja produção média das vacas foi considerada baixa, o modelo de Wilmink (1987) obteve melhor ajuste para as lactações das primíparas, enquanto que o modelo de Wood (1967) se ajustou melhor as lactações das vacas de segunda e terceira ou maior ordens.

O modelo de Wood (1976) apresentou melhores ajustes para todas as ordens de lactação do grupo de propriedades cuja produção das vacas foi considerada média.

O modelo de Dijkstra et al. (1997) obteve os melhores em todas as ordens de lactação referentes ao grupo vacas consideradas de alta produção.

5 - Referências Bibliográficas

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.
- DEMATAWEWA, C. M. B., PEARSON, R. E., VANRADEN, P. M. Modeling extended lactations of holsteins. **Journal of Dairy Science**, v.90, p.3924-3936. 2007.
- DIJKSTRA, J., FRANCE, J., DHANOA, M.S. et al. A model describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.2340-2354. 1997.
- FARO, L.E, ALBUQUERQUE, L.G. Comparação de alguns modelos matemáticos para o ajuste às curvas de lactação individuais de vacas da raça Caracu. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 54, n.3, p. 31-39. 2002.
- FERREIRA, E.B., BEARZOTI, E. Comparação de métodos no ajustamento de curvas de lactação de bovinos por meio de simulação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 5, p. 865-872. 2003.
- FERRIS, T.A., MAO, I. L., ANDERSON, C.R. 1985. Selecting for lactation curve and milk yield in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.68, p.1438-1448. 1985.
- 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**. The Cornell University. 202 p. 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.
- PAPAJCSIK, I.A., BODERO, J. Modeling lactation curves of friesland cow in a subtropical climate. **Animal Production**, v.47, n.2, p. 201-207. 1988.

- PEROCHON, L., J. B. COULON, AND F. LESCOURRET. Modelling lactation curves of dairy cows with emphasis on individual variability. **Animal Science**, v.63, p.189–200. 1996.
- POLLOTT, G.E. A biological approach to lactation curve analysis for milk yield. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 11, p. 2448-2458. 2000.
- RENNÓ, F.P. **Avaliação bioeconômica de estratégias de alimentação em sistemas de produção de leite**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2005. 130p. Tese (Doutorado em Zootecnia): Universidade Federal de Viçosa. 2005.
- ROOK, A.J. FRANCE, J., DHANOA, M.S. On the mathematical description of lactation curves. **Journal of Agriculture Science**, v. 121, p. 97-102, 1993.
- ROTZ, C.A., MERTENS, D.R., BUCKMASTER, D.R. et al. A dairy herd model for use in whole farm simulations. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.2826 – 2840, 1999.
- SCHNEEBERGER, M. Inheritance of lactation curve in swiss brown cattle. **Journal of Dairy Science**, v.64, p. 475-483, 1981.
- THORNLEY, J.H.M., FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture: a quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences**. 2.ed. Wallingford: CABI. 2007. 906 p
- VAL-ARREOLA, D., KEBREAB, E., DIJKSTRA, J., France, J. Study of the lactation curve in dairy cattle on farms in Central Mexico. **Journal of Dairy Science**, v.87, p. 3789–3799, 2004.
- VARGAS, B., KOOPS, W. J., HERRERO, M., VAN ARENDONK, J. A. M. Modeling extended lactations of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 13, p. 1371-1380. 2000.

WILMINK, J.B.M. Adjustment of test-day milk, fat and protein yields 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. 216, p. 164-165. 1967.

CAPÍTULO 2

ZooCalc 1.0: Programa para cálculo de exigências nutricionais e avaliação de dietas para bovinos de rebanhos leiteiros

Resumo

No Brasil, embora ainda existam barreiras culturais e econômicas à utilização da informática na agropecuária, tem havido, nos últimos anos, rápido aumento do número de propriedades que adotam esta tecnologia. Aplicativos para balanceamento de rações e estimativa de custos com a alimentação dos animais são de grande utilidade na bovinocultura leiteira, visto a considerável participação deste componente no custo de produção do leite. O objetivo foi desenvolver um programa com *interface* amigável e de fácil utilização, para cálculo de exigências nutricionais, valor nutricional dos alimentos, avaliação de rações e estimativa de custos com a alimentação de bovinos de rebanhos leiteiros. Objetivou-se também avaliar a confiabilidade dos resultados gerados neste programa comparando-os com algumas estimativas obtidas no programa do NRC versão 2001. O programa *ZooCalc 1.0* foi desenvolvido com a utilização da linguagem Visual Basic 6.0, sendo constituído de submodelos de vacas em lactação, vacas secas, novilhas e bezerras, além de um módulo para edição da composição e estimativa das frações digestíveis e concentração energética dos alimentos. O programa *ZooCalc 1.0* é um aplicativo que pode ser utilizado para cálculo de exigências nutricionais e avaliação de dietas para bovinos de rebanhos leiteiros. O programa *ZooCalc 1.0* e o programa do NRC produzem estimativas iguais para as frações digestíveis e concentração energética dos alimentos avaliados. Os programas estimam valores iguais para *ELm*, *ELI*, *ELgt* e *PMgt*. Pequenas diferenças são observadas em relação a *PMI*, devido a erros de aproximação produzidos pelo programa do NRC. Pequenas diferenças também são observadas em relação a *PDR*, devido a erros que acredita-se que ocorram em função de aproximações. Há pequenas diferenças para as estimativas de *PMm*, e *PNDR*, a causa, entretanto, é indeterminada.

Introdução

No Brasil, embora ainda existam barreiras culturais e econômicas à utilização da informática na agropecuária (Machado et al., 2002), tem havido nos últimos anos rápido aumento do número de propriedades que adotam esta tecnologia (Francisco e Pino, 2002). Entretanto, no setor da produção primária do agronegócio, tem se observado prioritariamente o uso de *softwares* genéricos, principalmente editores de texto e planilhas eletrônicas, pois os fabricantes de *softwares* específicos ainda não se adaptaram aos consumidores deste segmento (Figueira e Zambalde, 2003).

Para alcançar mudanças que transformem a atividade leiteira em negócio sustentável e competitivo é necessário aos produtores uma nova visão de gestão de suas propriedades, implementando um processo administrativo moderno e profissional, buscando maior agilidade e acerto nas decisões (Yamaguchi, 2004). Neste contexto, fica evidente o potencial do uso da informática como ferramenta indispensável a organização e gestão dos sistemas produtivos, auxiliando o processo de tomada de decisão.

Aplicativos para balanceamento de rações e estimativa de custos com a alimentação dos animais são de grande utilidade na Bovinocultura Leiteira, visto a grande participação deste componente nos custos de produção. Entretanto, poucos são os *softwares* para balanceamento de rações, em língua portuguesa, disponíveis no mercado.

O objetivo foi desenvolver um programa com *interface* amigável e de fácil utilização, para cálculo de exigências nutricionais, valor nutricional dos alimentos, avaliação de rações e estimativa de custos com a alimentação de

bovinos de rebanhos leiteiros. Objetivou-se também avaliar a confiabilidade dos resultados gerados por meio de comparação de algumas estimativas produzidas neste programa com aquelas obtidas no programa do NRC, versão do ano de 2001.

Material de Métodos

O programa *ZooCalc 1.0* foi desenvolvido com a utilização da linguagem Visual Basic 6.0, em microcomputador Pentium IV, com processador de 3.0 GHz e 1.024 MBytes de memória RAM.

As estimativas do valor energético dos alimentos foram calculadas como descrito por Weiss et al. (1992) e recomendado no NRC (2001). Para cálculo das exigências nutricionais dos animais e predição da ingestão de matéria seca foram utilizadas as equações recomendadas no NRC (2001).

Para avaliação da confiabilidade dos resultados gerados no programa, foram feitas comparações entre rações formuladas nos programas *ZooCalc 1.0* e NRC (2001), sendo os resultados comparados utilizando-se o submodelo *Vacas em lactação*, devido a maior complexidade desse, em relação aos submodelos *Bezerras*, *Novilhas* e *Vacas secas*.

Foram considerados quatro conjuntos diferentes de dados de entrada para comparação dos programas:

- 1 – Peso corporal = 660 kg, produção de leite = 35 litros/dia, gordura no leite = 3,5%, proteína no leite = 3,3%, dias em lactação = 45, dias em gestação = 0.

2 – Peso corporal = 690 kg, produção de leite = 25 litros/dia, gordura no leite = 3,7%, proteína no leite = 3,45%, dias em lactação = 260, dias em gestação = 200.

3 – Peso corporal = 440 kg, produção de leite = 24 litros/dia, gordura no leite = 3,9%, proteína no leite = 3,6%, dias em lactação = 45, dias em gestação = 0.

4 – Peso corporal = 470 kg, produção de leite = 17 litros/dia, gordura no leite = 4,2%, proteína no leite = 3,85%, dias em lactação = 260, dias em gestação = 200.

Foram balanceadas rações utilizando-se o programa do *ZooCalc 1.0*, para cada conjunto de dados de entrada, visando o atendimento das exigências de energia e proteína dos animais. Após este procedimento, as rações geradas foram utilizadas como dados de entrada para o programa NRC (2001). Foram comparadas as estimativas de exigências de energia, proteína, cálcio e fósforo produzidas nos dois programas. As composições dos alimentos utilizados foram obtidas em Teses e Dissertações da área e no banco de dados de alimentos do programa do *CNCPS 5.0*. A composição dos alimentos encontra-se na Tabela 3 do Capítulo 3.

A confiabilidade do submodelo para estimativa da concentração energética dos alimentos, do programa *ZooCalc 1.0*, foi testada por meio de comparação dos valores gerados no programa com os valores obtidos no programa do NRC (2001).

Resultados e Discussão

O programa ZooCalc pode ser utilizado em plataformas Windows 98, XP ou Vista, exigindo como configuração mínima de “hardware” processador de 250 Mhz e 64 Mb de memória RAM.

Na página principal do programa estão presentes botões de comando que permitem o acesso aos submodelos para as categorias de vacas em lactação, vacas secas, novilhas e bezerras, além de acesso ao submodelo de edição da composição e estimativa do valor energético dos alimentos e ao tópico de ajuda (Figura 1).



Figura 1 – Página principal do programa.

No submodelo *Vacas em lactação*, o usuário tem acesso a página para inserção dos dados de entrada para cálculo das exigências nutricionais dos animais (Figura 2). Neste módulo estão presentes caixas de texto e caixas de listagem onde podem ser inseridas informações relativas ao animal, ao ambiente e ao preço dos produtos.

Informações Sobre o Animal

Nome da Vaca: Peso da vaca ao parto: kg Produção média de leite do rebanho: kg/lactação

Número da Vaca: Peso atual da vaca: kg Produção de leite: kg/dia

Ordem de lactação: Variação de peso: kg/dia

Raça: Cond. corporal ao parto: Composição do leite

Peso a maturidade: kg Cond. corporal atual: Gordura: % Estimar peso, variação diária de peso, condição corporal, produção de leite e % de gordura e proteína

Peso provável do bezerro: kg Dias em lactação: Prot. Bruta: %

Dias em gestação: Lactose: %

Informações Sobre o Ambiente

Tipo de exploração: Distância do piquete ao local de ordenha: km

Topografia da pastagem: N° de ordenhas/dia: Temperatura do ar: °C

Preço dos produtos

Preço Leite: R\$/L

Preço por @: R\$ por @ de PV

Figura 2 – Página de dados de entrada do submodelo de vacas em lactação.

Caso o usuário disponha de todas as informações de entrada, pode inseri-las diretamente. Entretanto, algumas dessas informações podem ser estimadas pelo programa. No quadro relativo aos dados de entrada de informações sobre o animal, há um botão de comando cuja função é gerar a leitura de códigos que estimam alguns dados de entrada. A produção atual de

leite é estimada em função da produção média do rebanho, do dia de lactação, do dia de gestação e da ordem de lactação, por meio do modelo modificado de Wood (1967), adotado no CNCPS 5.0 (Figura 2). As porcentagens atuais de gordura e proteína do leite são estimadas de acordo com o recomendado no *CNCPS 5.0*, em função do dia de lactação e do grupo racial dos animais utilizados. O peso corporal atual e a variação diária de peso corporal podem ser estimados em função do peso ao parto e do dia de lactação, por meio do modelo de Rotz et al. (1999). O peso corporal a maturidade e o peso provável do bezerro são estimados de acordo com o recomendado no NRC (2001).

Após receber os dados de entrada o programa permite acesso à página de avaliação de dietas (Figura 3). Nessa página os alimentos são separados por categorias e existem cinco caixas de listagem para alimentos volumosos, cinco para energéticos, cinco para protéicos e dez para fontes minerais.

As dietas elaboradas são avaliadas confrontando-se os valores do quadro de exigências nutricionais com aqueles do quadro de atendimento das exigências. O quadro de porcentagem de atendimento das exigências facilita a avaliação, pois permite comparar a dieta por meio da relação porcentual entre as exigências nutricionais e a composição da ração. Como não existem exigências nutricionais de fibra em detergente neutro (*FDN*) e extrato etéreo (*EE*), e sim limites aceitáveis, o programa informa ao usuário quando estes valores estão próximos ou excederam o limite de valores aceitáveis.

Durante a avaliação das dietas o programa permite acesso a informações como, consumo de *FDN* em porcentagem do peso corporal,

porcentagem da *FDN* do volumoso na ração, relação volumoso concentrado (*V/C*), relação leite concentrado (*L/C*), consumo de matéria seca (*MS*) em porcentagem do peso corporal, que auxiliam a avaliação.

Volumosos			Concentrados Energéticos			Concentrados Protéicos			Fontes de Minerais		
Alimentos	Quantid. kg MN	Preço R\$/kg MN	Alimentos	Quantid. kg MN	Preço R\$/kg MN	Alimentos	Quantid. kg MN	Preço R\$/kg MN	Alimentos	Quantid. g MN	Preço R\$/kg MN
Silagem Milho	35	0,058	Milho Fubá	6,8	0,605	Soja Farelo	3,55	0,615	Calc. Calcítico	92	0,25
Nenhum			Nenhum			Algodão Farelo	2	0,485	Fosf. Bicálcico	85	1,29
Nenhum			Nenhum			Nenhum			Flor de S	14	1,5
Nenhum			Nenhum			Nenhum			Sal Comum	110	0,98
Nenhum			Nenhum			Nenhum			Cloreto de K	60	1,25
Nenhum			Nenhum			Nenhum			Sulfato de Cu	0,35	5,68
									Iodeto de K	0,013	6,35
									Sulfato de Zn	1,8	6,87
									Sulfato de Mg	2,2	2,65
									Nenhum		

Exigências Nutricionais																		
MS kg	EL Mcal	g por dia			% da MS		g de minerais absorvíveis por dia					mg de minerais absorvíveis por dia						
		PB	PDR	PNDR	FDN	EE	Ca	P	S	Na	K	Mg	Co	Cu	I	Mn	Se	Zn
22,43	35,74	3.377	2.156	1.220	> 30	< 7	67,3	58,7	44,2	48,0	217,2	7,2	2,4	10,2	9,1	2,4	6,6	160,1

Composição da Ração																		
MS kg	EL Mcal	g			% da MS		g de minerais absorvíveis					mg de minerais absorvíveis						
		PB	PDR	PNDR	FDN	EE	Ca	P	S	Na	K	Mg	Co	Cu	I	Mn	Se	Zn
22,08	36,20	3.390	2.162	1.228	35,4	2,90	67,6	58,9	45,2	49,4	217,7	7,2	2,8	10,4	9,3	5,6	6,6	160,0

Atendimento das Exigências (%)																		
MS	EL	PB	PDR	PNDR	FDN	EE	Ca	P	S	Na	K	Mg	Co	Cu	I	Mn	Se	Zn
98,4	101,3	100,4	100,3	100,6	●	●	100,6	100,2	102,4	103,0	100,2	100,0	113,7	102,4	101,8	235,3	100,2	100,0

Figura 3 – Página de avaliação de dietas de vacas em lactação.

O programa permite a visualização e impressão de relatórios de exigências nutricionais (Figura 4). O relatório de exigências nutricionais informa, de forma detalhada, as exigências de energia, proteína e minerais, assim como os dados de entrada utilizados para obtenção das mesmas.

ZooCalc NRC (2001). Programa de cálculo de exigências nutricionais e balanceamento de rações

Relatório de Exigências Nutricionais

Nome: Aurora	Grupo genético: Holandesa
Número: 0001	
Peso corporal: 608,0 kg	Produção de leite: 39,88 kg/dia
Escore corporal: 2,7	
Variação de peso: -0,058 kg/dia	Gordura: 3,18 %
	Proteína: 3,17 %
Número de dias em lactação: 60	Lactose: 4,85 %
Número de dias em gestação: 0	
Tipo de exploração: Confinado	Máxima IMS: 22,43 kg/dia

Energia (Mcal / dia)			
EL manutenção:	9,795	EM:	54,988
EL atividades:	0,000	ED:	67,058
EL gestação:	0,000	NDT:	15,21 kg / dia
EL lactação:	26,204		
EL ganho de peso:	-0,258		
EL total:	35,742		

Proteína (g / dia)			
PM manutenção:	788,1	PDR:	2.166,4
PM gestação:	0,0	PNDR:	1.220,4
PM lactação:	1.746,0	PB:	3.378,8
PM ganho de peso:	-10,4		
PM total:	2.503,6		

Macro Minerais (g / dia)		Micro Minerais (mg / dia)	
Cálcio:	67,3	Cobalto:	2,4
Fósforo:	58,7	Cobre:	10,2
Sódio:	48,0	Iodo:	9,1
Potássio:	217,2	Manganês:	2,4
Magnésio:	7,2	Selênio:	6,6
Enxofre:	44,2	Zinco:	160,1

Figura 4 – Relatório de exigências nutricionais.

O relatório de composição e custos da ração (Figura 5) informa os alimentos e as quantidades utilizadas, dividindo-os em suas respectivas categorias. Esse relatório registra também, além de informações nutricionais mais relevantes, o atendimento das exigências nutricionais e os custos com a alimentação.

Os submodelos *Bezerros*, *Novilhas* e *Vacas secas* são semelhantes ao de *Vacas em lactação* e, desta forma, não há necessidade de demonstrá-los.

ZooCalc NRC (2001). Programa de cálculo de exigências nutricionais e balanceamento de rações

Relatório de Composição e Custos da Ração

Alimentos Utilizados (MN)		Informações Nutricionais	
Volumosos	kg	Relação Volum / Conc:	48,97 : 51,03
Silagem de Milho	35,00	Leite / Concentrado:	3,12 L / kg MN
		Consumo de MS:	3,83 % do PV
		Consumo de FDN:	1,29 % do PV
		FDN Volum. na Ração:	27,16 % da MS
		PB na Ração:	15,35 % da MS
		PB no Concentrado:	23,17 % da MS
		PB no Volumoso:	7,20 % da MS
		NDT na Ração:	71,84 % da MS
		NDT no Concentrado:	82,25 % da MS
		NDT no Volumoso:	63,75 % da MS
Energético	kg	Informações Econômicas	
Fubá de Milho	6,80	Custo Total da Ração:	R\$ 9,65
		Custo/kg MS da Ração:	R\$ 0,44
		Custo de ração/L leite:	R\$ 0,24
		Custo do concentrado:	R\$ 7,62
		Custo do volumoso:	R\$ 2,03
		Leite - alimentação:	R\$ 18,92 vaca/d
		Retorno com o GPD:	R\$ -0,10 vaca/d
		Leite + GPD - alimento:	R\$ 18,81
Protéicos	kg	Atendimento das Exigências (%)	
Farelo de Soja	3,55	NDT:	101,3
Farelo de Algodão	2,00	PB:	100,4
		PDR:	100,3
		PNDR:	100,6
		Ca:	100,6
		P:	100,2
		S:	102,4
		Na:	103,0
Minerais	g	K:	100,2
Calcário Calcítico	92,000	Mg:	100,0
Fosfato Bicálcico	85,000	Co:	113,7
Flor de Enxofre	14,000	Cu:	102,4
Cloreto de Sódio(Sal Comum)	110,000	I:	101,8
Cloreto de Potássio	60,000	Mn:	235,3
Sulfato de Cobre	0,350	Se:	100,2
Iodeto de Potássio	0,013	Zn:	100,0
Sulfato de Zinco	1,800		
Sulfato de Magnésio	2,200		

Figura 5 – Relatório de composição e custos da ração.

O módulo de edição da composição dos alimentos (Figura 6) permite a edição das concentrações de *MS*, *FDN*, Lignina (*L*), proteína bruta (*PB*), *PB* fração A (*PB-A*), *PB* fração B (*PB-B*), taxa de degradação da *PB*, proteína insolúvel em detergente neutro (*PIDN*), proteína insolúvel em detergente ácido (*PIDA*), digestibilidade da proteína não degradável no rumem (*digPNDR*), *EE*, Cinzas, macrominerais e microminerais, além da biodisponibilidade dos minerais e do fator de processamento (*FP*) dos alimentos. O módulo permite ainda o cálculo das estimativas de *PB* digestível (*PBd*), *FDN* digestível (*FDNd*),

ácidos graxos digestíveis (*AGd*), carboidratos não fibrosos digestíveis (*CNFd*), nutrientes digestíveis totais (*NDT*) e Energia Digestível (*ED*).

Formulário para edição da composição dos alimentos utilizados

Composição do alimento Fubá de milho

Lista de alimentos volumosos:

- Cana-de-açúcar
- Capim-Elefante picado
- Feno de Alfafa

Lista de alimentos energéticos:

- Farelo de arroz
- Farelo de trigo
- Fubá de milho

Lista de alimentos protéicos:

- Caroço de algodão
- Farelo de algodão
- Farelo de soja

Lista de alimentos minerais:

- Calcário Calcítico
- Calcário Dolomítico
- Fosfato Bicálcico

Calcular estimativas e validar alterações

Matéria seca (% da MN) :	87,64
FDN (% da MS) :	11,61
Lignina (% da MS) :	1,1
Proteína Bruta (% da MS) :	9,05
PIDN (% da MS) :	0,8407
PIDA (% da MS) :	0,4751
PB - A (% da PB) :	21,93
PB - B (% da PB) :	74,21
Tx de degradação da PB (%/h) :	4,03
Digestibilidade da PNDR (%) :	90
Extrato Etéreo (% da MS) :	4,01
Matéria Mineral (% da MS) :	1,44
Fator de processamento :	0,99
	1,00

Concentração dos minerais	
Cálcio (% da MS) :	0,03
Fósforo (% da MS) :	0,25
Magnésio (% da MS) :	0,13
Enxofre (% da MS) :	0,12
Sódio (% da MS) :	0,03
Potássio (% da MS) :	0,35
Cobre (mg/kg de MS) :	2
Cobalto (mg/kg de MS) :	0,02
Iodo (mg/kg de MS) :	0,03
Manganês (mg/kg de MS) :	6
Selênio (mg/kg de MS) :	0,14
Zinco (mg/kg de MS) :	12

Biodisponibilidade dos minerais	
Cálcio (g/g) :	0,6
Fósforo (g/g) :	0,7
Magnésio (g/g) :	0,16
Enxofre (g/g) :	1
Sódio (g/g) :	0,9
Potássio (g/g) :	0,9
Cobre (g/g) :	0,04
Cobalto (g/g) :	1
Iodo (g/g) :	0,85
Manganês (g/g) :	0,01
Selênio (g/g) :	1
Zinco (g/g) :	0,15

Estimativas

PB digestível (% da MS) :	8,50
Ác. graxos digestíveis (% da MS) :	3,01
FDN digestível (% da MS) :	5,67
CNF digestíveis (% da MS) :	73,24
NDT 1x (% da MS) :	87,17
Energia Digest. (Mcal/kg de MS) :	3,77

Figura 6 – Página do módulo para edição da composição dos alimentos.

Os resultados das estimativas das frações digestíveis e da concentração energética dos alimentos, obtidos nos programas *ZooCalc 1.0* e *NRC*, foram exatamente iguais e são demonstrados na Tabela 1.

As equações utilizadas para gerar as estimativas das frações digestíveis e da concentração energética dos alimentos utilizados foram:

$$CNFd = 0,98 \cdot \left\{ 100 - \left[(FDN - PIDN) + PB + EE + MM \right] \right\} \cdot FP ; \% \text{ da MS}$$

$$PBd = PB \cdot e^{-1,2 \cdot \left(\frac{PIDA}{PB}\right)} ; \text{ para alimentos volumosos. ; \% da MS}$$

$$PBd = \left\{ 1 - \left[0,4 \cdot \left(\frac{PIDA}{PB}\right) \right] \right\} \cdot PB ; \text{ para alimentos concentrados. ; \% da MS}$$

$$AGd = EE - 1 ; \text{ caso } EE < 1 \text{ então } AGd = 0. ; \% da MS$$

$$FDNd = 0,75 \cdot [(FDN - PIDN) - L] \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{L}{(FDN - PIDN)} \right]^{0,667} \right\} ; \% da MS$$

$$NDT = CNFd + PBd + (AGd \cdot 2,25) + FDNd - 7 ; \% da MS$$

$$ED = \left(\frac{CNFd}{100}\right) \cdot 4,2 + \left(\frac{PBd}{100}\right) \cdot 5,6 + \left(\frac{FDNd}{100}\right) \cdot 4,2 + \left(\frac{AGd}{100}\right) \cdot 9,4 - 0,3 ; \text{ Mcal/kg de MS}$$

Tabela 1 – Estimativas obtidas das frações digestíveis e da concentração energética dos alimentos utilizados para comparação entre os programas *ZooCalc 1.0* e *NRC*.

Item	Unidade	SM	FM	FT	FS	GM
PBd	% da MS	6,558	8,858	16,439	44,444	62,748
FDNd	% da MS	29,646	5,669	21,310	4,934	0,002
AGd	% da MS	1,940	3,010	2,530	0,570	1,500
CNFd	% da MS	28,373	73,235	32,377	34,369	27,999
NDT	%	61,942	87,535	68,819	78,029	87,124
ED	Mcal/kg	2,686	3,793	3,113	3,893	4,531

SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; PBd = proteína bruta digestível; FDN d = fibra em detergente neutro digestível; AGd = ácidos graxos digestíveis; CNFd = carboidratos não fibrosos digestíveis; NDT = nutrientes digestíveis totais; ED = energia digestível.

Em relação ao submodelo de vacas em lactação, as estimativas de exigências de energia líquida de manutenção (*ELm*), lactação (*ELl*) e gestação (*ELgt*), geradas pelos programas, foram iguais (Tabelas 2, 3, 4 e 5).

Tabela 2 – Comparação das exigências nutricionais calculadas pelos programas NRC e *ZooCalc 1.0* para vaca de 660 kg de peso corporal, com 45 dias de lactação, produzindo 35 litros de leite com 3,5% de gordura, 3,3% de proteína e 4,85% de lactose¹

Item	Unidade	NRC	<i>ZooCalc 1.0</i>	Diferença	Diferença (%)
<i>ELm</i>	Mcal/dia	10,4	10,4	0	0
<i>ELl</i>	Mcal/dia	24,4	24,4	0	0
<i>ELgt</i>	Mcal/dia	-	-	-	-
<i>PMm</i>	g/dia	781	787	6	0,76
<i>PMl</i>	g/dia	1604	1603	1	0,06
<i>PMgt</i>	g/dia	-	-	-	-
<i>PDR</i>	d/dia	2219	2220	1	0,05
<i>PNDR</i>	g/dia	1214	1220	6	0,49

ELm = exigência de energia líquida de manutenção, *ELl* = exigência de energia líquida de lactação, *PMm* = exigência de proteína metabolizável de manutenção, *PMl* = exigência de proteína metabolizável de lactação, *PDR* = exigência de proteína degradável no rumem; *PNDR* = exigência de proteína não degradável no rumem.

Ração utilizada (*MN*): silagem de milho = 31,87 kg, Fubá de milho = 8,52 kg, farelo de soja = 4,88, glúten de milho = 0,265 kg.

¹ Variações no peso corporal foram consideradas como nulas

A *ELm* (Mcal/dia) foi estimada em função do peso corporal (*PC*) do animal e do peso do conceito (*PCcpt*). No valor de 0,08 estão consideradas, além da produção de calor em jejum, a exigência de energia para a atividades físicas inerentes a vacas em confinamento.

$$ELm = 0,08 \cdot (PC - PCcpt)^{0,75} ; \text{Mcal/dia}$$

O *PCcpt* foi estimado em função do peso provável do bezerro (*PPBz*) e dos dias em gestação (*Dgt*).

$$PC_{cpt} = \left\{ 18 + [(Dgt - 190) \cdot 0,665] \right\} \cdot \left(\frac{PPBz}{45} \right) ; \text{kg}$$

O programa *ZooCalc 1.0* também apresenta opções para acréscimo da *ELm* em função de atividades inerentes ao pastejo. Estas opções não foram utilizadas nas comparações. Além disso, o peso provável do bezerro pode ser estimado pelo programa, em função do grupo racial selecionado.

A *ELl* (Mcal/dia) foi estimada em função da concentração energética do leite, obtida a partir das porcentagens de gordura (*G%*), proteína (*P%*) e lactose (*L%*), e da quantidade de leite produzida (*PL*).

$$ELl = (0,0929 \cdot G\% + 0,0547 \cdot P\% + 0,0395 \cdot L\%) \cdot PL ; \text{Mcal/dia}$$

O programa *ZooCalc 1.0* também apresenta opções para estimativa da concentração energética do leite, caso existam apenas informações sobre a porcentagem de gordura ou de gordura e proteína.

A *ELgt* (Mcal/dia) foi estimada em função dos *Dgt* e do *PPBz*.

$$ELgt = \frac{\left[(0,00318 \cdot Dgt - 0,0352) \cdot \left(\frac{PPBz}{45} \right) \right]}{0,218} ; \text{Mcal/dia}$$

Tabela 3 – Comparação das exigências nutricionais calculadas pelos programas NRC e *ZooCalc 1.0* para vaca de 690 kg de peso corporal, com 260 dias de lactação e 200 dias em gestação, produzindo 25 litros de leite com 3,7% de gordura, 3,45% de proteína e 4,85% de lactose¹

Item	Unidade	NRC	<i>ZooCalc 1.0</i>	Diferença	Diferença (%)
<i>ELm</i>	Mcal/dia	10,5	10,5	0	0
<i>ELl</i>	Mcal/dia	18,1	18,1	0	0
<i>ELgt</i>	Mcal/dia	2,4	2,4	0	0
<i>PMm</i>	g/dia	707	710	3	0,42
<i>PMl</i>	g/dia	1198	1197	1	0,08
<i>PMgt</i>	g/dia	185	185	0	0
<i>PDR</i>	d/dia	1969	1970	1	0,05
<i>PNDR</i>	g/dia	1054	1057	3	0,28

ELm = exigência de energia líquida de manutenção, *ELl* = exigência de energia líquida de lactação, *ELgt* = exigência de energia líquida de gestação, *PMm* = exigência de proteína metabolizável de manutenção, *PMl* = exigência de proteína metabolizável de lactação, *PMgt* = exigência de proteína metabolizável de gestação, *PDR* = exigência de proteína degradável no rumem; *PNDR* = exigência de proteína não degradável no rumem.

Ração utilizada (*MN*): silagem de milho = 31,99 kg, Fubá de milho = 5,506 kg, farelo de trigo = 0,854 kg, farelo de soja = 3,653, glúten de milho = 0,571 kg.

¹ Variações no peso corporal foram consideradas como nulas

O programa *ZooCalc 1.0* apresentou maiores estimativas de exigência de proteína metabolizável de manutenção (*PMm*) em relação ao programa do NRC, em todas as comparações do submodelo de vacas em lactação. A *PMm* é calculada indiretamente, por meio do somatório das perdas de proteína na urina (*Purin*), perdas por descamações da pele (*Pdesc*), perdas endógenas (*Pend*) e perdas pelas fezes (*Pfez*).

$$PMm = Purin + Pdesc + Pend + Pfez ; \text{g/dia}$$

$$Purin = 4,1 \cdot (PC - PCcpt)^{0,5} ; \text{g/dia}$$

$$Pdesc = 0,3 \cdot (PC - PCcpt)^{0,6} ; \text{g/dia}$$

$$Pend = \frac{(11,8 \cdot MSing) \cdot 0,4}{0,67} ; \text{g/dia}$$

$$Pfez = MSing \cdot 30 - 0,5 \cdot \left(\frac{PMbact}{0,8} - PMbact \right) ; \text{g/dia}$$

$$PMbac = (NDTing \cdot 0,13) \cdot 0,64 ; \text{g/dia}$$

onde:

MSing = matéria seca ingerida pelo animal (kg/dia)

PMbac = proteína metabolizável suprida pelas bactéria ruminais (g/dia)

NDTing = *NDT* ingerido pelo animal (g/dia)

O cálculo da estimativa de *PMm*, além de mais complexo, possui a dificuldade adicional de ser dependente da quantidade de matéria seca ingerida e da quantidade de energia ingerida. Isso significa, que as exigências de *PMm* variam em função de modificações efetuadas ao proceder a formulação ração. Soluções simplificadoras, que têm sido adotadas por alguns nutricionistas, consistem em fixar o valor da *MSing* em função da equação de predição de ingestão de matéria seca do NRC (2001) e estimar a *NDTing* em função das exigências de energia do animal. Apesar de a segunda simplificação ser aceitável, pois se espera que a quantidade de energia

fornecida seja igual às exigências de energia, a primeira simplificação acarreta em superestimação das exigências de *PMm*, caso a *MSing* seja inferior ao valor estimado, ou subestimação, caso ocorra o contrário. No programa *ZooCalc 1.0*, não são usadas simplificações dessa natureza, de forma que, a medida que a ração é modificada, as exigências de proteína são alteradas.

Tabela 4 – Comparação das exigências nutricionais calculadas pelos programas NRC e *ZooCalc 1.0* para vaca de 440 kg de peso corporal, com 45 dias de lactação, produzindo 24 litros de leite com 3,9% de gordura, 3,6% de proteína e 4,85% de lactose¹

Item	Unidade	NRC	<i>ZooCalc 1.0</i>	Diferença	Diferença (%)
<i>ELm</i>	Mcal/dia	7,7	7,7	0	0
<i>ELI</i>	Mcal/dia	18,0	18,0	0	0
<i>ELgt</i>	Mcal/dia	-	-	-	-
<i>PMm</i>	g/dia	584	588	4	0,68
<i>PMI</i>	g/dia	1200	1199	1	0,08
<i>PMgt</i>	g/dia	-	-	-	-
<i>PDR</i>	d/dia	1640	1640	0	0
<i>PNDR</i>	g/dia	922	927	3	0,54

ELm = exigência de energia líquida de manutenção, *ELI* = exigência de energia líquida de lactação, *PMm* = exigência de proteína metabolizável de manutenção, *PMI* = exigência de proteína metabolizável de lactação, *PDR* = exigência de proteína degradável no rumem; *PNDR* = exigência de proteína não degradável no rumem.

Ração utilizada (*MN*): silagem de milho = 21,47 kg, Fubá de milho = 6,73 kg, farelo de trigo = 0,190 kg, farelo de soja = 3,710, glúten de milho = 0,130 kg.

¹ Variações no peso corporal foram consideradas como nulas.

Embora as diferenças de *PMm* entre os dois programas tenham sido pequenas (menores que 0,8%), foram sistematicamente maiores no *ZooCalc 1.0*, o que indica que não devem ser oriundas de arredondamentos nos valores de saída gerados e nem de diferenças no número de casas decimais,

relativos ao tipo de variável utilizado. Todos os algoritmos do programa *ZooCalc 1.0* foram revisados e nenhum erro que justifique essas diferenças foi encontrado. Como os algoritmos do programa do NRC não estão disponíveis, não é possível avaliá-los.

As exigências de proteína metabolizável de gestação (*PMgt*) foram iguais nos dois programas, para todos os conjuntos de dados de entrada utilizados. A estimativa foi calculada em função das variáveis *PPBz* e *Dgt*.

$$PMgt = \frac{\left[(0,69 \cdot Dgt - 69,2) \cdot \left(\frac{PPBz}{45} \right) \right]}{0,33} ; \text{g/dia}$$

As exigências de proteína metabolizável de lactação (*PMl*) foram diferentes para os três primeiros conjuntos de dados de entrada, onde diferiram por 1,0 g. Neste caso, o programa do NRC gerou valores com erros de aproximação de casas decimais. A simplicidade dos cálculos para estimativa da *PMl*, que leva em consideração apenas as variáveis *P%* e *PL*, permite que estes erros sejam confirmados por meio da resolução manual das equações.

$$PMl = \left\{ \frac{\left[\left(\frac{P\%}{100} \right) \cdot 0,93 \right]}{0,67} \right\} \cdot PL ; \text{g/dia}$$

No programa *ZooCalc 1.0*, todas as variáveis utilizadas nos cálculos são declaradas como *Double precision*, tipo que confere 14 casas decimais de precisão. Este procedimento, embora resulte em maior utilização de memória, minimiza a ocorrência de erros de precisão.

Tabela 5 – Comparação das exigências nutricionais calculadas pelos programas NRC e *ZooCalc 1.0* para vaca de 470 kg de peso corporal, com 260 dias de lactação e 200 dias em gestação, produzindo 17 litros de leite com 4,2% de gordura, 3,85% de proteína e 4,85% de lactose¹

Item	Unidade	NRC	<i>ZooCalc 1.0</i>	Diferença	Diferença (%)
<i>ELm</i>	Mcal/dia	7,9	7,9	0	0
<i>ELl</i>	Mcal/dia	13,5	13,5	0	0
<i>ELgt</i>	Mcal/dia	1,5	1,5	0	0
<i>PMm</i>	g/dia	533	536	3	0,56
<i>PMl</i>	g/dia	908	908	0	0
<i>PMgt</i>	g/dia	116	116	0	0
<i>PDR</i>	d/dia	1448	1449	1	0,09
<i>PNDR</i>	g/dia	792	796	4	0,50

ELm = exigência de energia líquida de manutenção, *ELl* = exigência de energia líquida de lactação, *ELgt* = exigência de energia líquida de gestação, *PMm* = exigência de proteína metabolizável de manutenção, *PMl* = exigência de proteína metabolizável de lactação, *PMgt* = exigência de proteína metabolizável de gestação, *PDR* = exigência de proteína degradável no rumem; *PNDR* = exigência de proteína não degradável no rumem.

Ração utilizada (*MN*): silagem de milho = 23,427 kg, Fubá de milho = 2,806 kg, farelo de trigo = 2,688 kg, farelo de soja = 1,971, glúten de milho = 0,615 kg.

¹ Variações no peso corporal foram consideradas como nulas

Embora o cálculo da estimativa de exigências de *PDR* possa ser considerado simples, envolve a utilização da variável *NDTing*, o que significa, que as exigências de *PDR* variam com a modificação da composição da ração.

As diferenças de estimativa das exigências de *PDR* ocorreram em três dos quatro conjuntos de dados de entrada utilizados, mas foram de apenas 1,0 g e podem ser consideradas como erros de aproximação.

$$PDR = (NDTing \cdot 0,13) \cdot 1,18 \cdot 1000 \text{ ; g/dia}$$

O calculo da estimativa de exigências de *PNDR* é um pouco mais complexo, pois o valor de três das quatro variáveis utilizadas são alterados com a modificação da composição da ração. A digestibilidade da *PNDR* da ração (*DigPNDR*) foi calculada com base na proporção de cada alimento da ração e na digestibilidade da *PNDR* de cada alimento utilizado. Uma simplificação que tem sido utilizada por alguns nutricionistas é considerar o valor da *DigPNDR* como fixo (0,8). O programa *ZooCalc 1.0* não adota essa simplificação.

$$PNDR = \frac{[PM_{tot} - (PM_{end} + PM_{bact})]}{DigPNDR}$$

As diferenças das estimativas de *PNDR* obtidas com os dois programas parecem não ser oriundas de erros de aproximação e sim resultado das diferenças nas estimativas de *PMm*. Entretanto, podem ser consideradas pequenas (menores que 0,6%) e não comprometem os resultados gerados.

Conclusões

O programa *ZooCalc 1.0* é um aplicativo que pode ser utilizado para cálculo de exigências nutricionais e avaliação de dietas para bovinos de rebanhos leiteiros.

O programa *ZooCalc 1.0* e o programa do NRC produzem estimativas iguais para as frações digestíveis e concentração energética dos alimentos avaliados. Os programas estimam valores iguais para *ELm*, *ELl*, *ELgt* e *PMgt*. Pequenas diferenças são observadas em relação a *PMl*, devido a erros de aproximação produzidos pelo programa do NRC. Pequenas diferenças também são observadas em relação a *PDR*, devido a erros que acredita-se que ocorram em função de aproximações. Há pequenas diferenças para as estimativas de *PMm*, e *PNDR*, a causa, entretanto, é indeterminada.

Referências Bibliográficas

- FIGUEIRA, A. S., ZAMBALDE, A. L. Estrutura de Tecnologia da Informação Adotada por Produtores e Cooperativas da Cadeia Produtiva do leite. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 5, n.1-12, p. 2003
- FRANCISCO, V. L. F. S., PINO, F.A. Farm Computer Usages in São Paulo State, Brazil. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v.4, n.2, p.81-89, 2002.
- 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**. The Cornell University. 202 p. 2003.

MACHADO, J. G. C. F., NANTES, J. F. D., ROCHA, C. E. O Processo de informatização das propriedades rurais: Um estudo multicaso na pecuária de corte. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 4, n. 1, p. 28-46, 2002

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences. 363 p., 2001.

YAMAGUCHI, L.C.T., CARVALHO, L.A., CONSTA, C.N. **Situação atual, potencialidades e limitações do uso de gestão informatizada em fazendas e cooperativas agropecuárias no Brasil**. In: Agrosoft 2002. Disponível em: < [http:// www..agrosoft.org.br](http://www..agrosoft.org.br). Acesso em: 10/10/2004.

CAPÍTULO 3

Avaliação de modelo dinâmico de simulação de sistemas de produção de leite

Resumo

Modelos de simulação de sistemas de produção são importantes ferramentas para o gerenciamento de propriedades, para geração de pesquisas e auxílio no ensino. Objetivou-se desenvolver e avaliar um modelo dinâmico de simulação, com componentes estocásticos, para avaliação de sistemas de produção de leite. O modelo de simulação foi desenvolvido com a utilização integrada dos programas *STELLA 9.0*, *ZooCalc 1.0* e planilhas eletrônicas. A estrutura física do rebanho foi dividida em 15 módulos interligados, que representam categorias ou subdivisões de categorias. Para simulação do peso corporal dos animais em crescimento e em lactação, assim como da produção e composição do leite foram utilizados modelos matemáticos obtidos na literatura. Para cálculo de exigências nutricionais e balanceamento das dietas dos animais foram utilizadas planilhas eletrônicas. Após a minimização do custo, cada ração foi avaliada com a utilização do programa *ZooCalc 1.0*. Para avaliar se o modelo de simulação estaria funcionando de forma coerente com o esperado foram obtidas as respostas médias de alguns indicadores zootécnicos, econômicos e de tamanho a variação da área utilizada para produção de milho para silagem, do intervalo de partos e da idade a primeira inseminação. Para avaliar a capacidade do modelo em gerar valores simulados que se aproximem da realidade foi medido o grau de associação linear entre os valores gerados pelo modelo e observados em situação prática. As análises de sensibilidade demonstraram que os valores produzidos pelo modelo de simulação se comportam de acordo com o esperado, em resposta as variações da área utilizada para produção de milho para silagem, do intervalo de partos e da idade a primeira inseminação. Existe correlação entre os valores gerados pelo modelo de simulação e os observados na prática e o grau de associação linear para as

variáveis número total de animais, número total de vacas e número de vacas em lactação pode ser considerado elevado.

1 - Introdução

Modelos de simulação de sistemas de produção são importantes ferramentas, tanto para o gerenciamento de propriedades, já que podem auxiliar os administradores e técnicos extensionistas nas tomadas de decisão, quanto para pesquisa, pois podem ser usados para auxiliar a identificação de áreas prioritárias para investigação científica, onde ocorrem lacunas de conhecimento. Além disso, modelos de simulação podem ser utilizados como ferramentas de ensino, acelerando o processo de aprendizado e aquisição de experiência por parte dos estudantes.

As tecnologias da informação, dentro das quais se enquadra a simulação computacional, vêm exercendo grande impacto sobre a ciência, pois permitem que esta tenha maior caráter aplicado e gerador de riquezas (Barbosa, 1986; Gavira, 2003). Esse impacto se deve, em parte, à rápida evolução tecnológica dos recursos de *hardware* e *software*, aliada à elevada disponibilidade desses no mercado. Porém, outro fator que tem contribuído para o aumento da simulação computacional é a conscientização de que componentes de sistemas, quando operando em conjunto, muitas vezes se comportam de forma diferente daquela observada quando são estudados isoladamente.

Isso se relaciona com a complementação necessária do paradigma analítico, que está baseado não somente na divisão do objeto de estudo para

compreensão do funcionamento isolado das estruturas mais simples - o que é feito na maioria das pesquisas na área de Zootecnia - mas também na reunião posterior de cada conhecimento adquirido, para que seja possível fazer generalizações, cientificamente baseadas, sobre o funcionamento do todo.

Uma das formas de construção dessas generalizações consiste no desenvolvimento de pesquisas que avaliem impactos do uso de tecnologias no contexto dos sistemas de produção. Entretanto, pesquisas dessa natureza são altamente demandantes de recursos físicos e financeiros, o que segundo Brockington (1995), faz com que, em geral, não haja possibilidade de repetição no espaço, mas apenas no tempo. Destarte, a simulação computacional aplicada a pesquisas sobre sistemas de produção se apresenta como alternativa promissora, pois além de ser pouco exigente em recursos físicos e financeiros, possibilita o estudo, em curto período de tempo, de combinações de uso de diversas tecnologias, nas mais variadas condições de ambiente.

Outro motivo para utilização da simulação computacional para sintetizar o conhecimento científico é que, em termos matemáticos, quando se consideram apenas recursos analíticos, a reunião dos conhecimentos isolados em sistemas agropecuários consiste em tarefa muito difícil ou mesmo impossível, devido ao caráter dinâmico e a não linearidade das relações entre muitas variáveis. Desta forma, a resolução numérica aproximada, com utilização de computadores torna-se uma ferramenta valiosa, além de bastante acessível.

Objetivou-se neste estudo, desenvolver e avaliar um modelo dinâmico de simulação, com componentes estocásticos, para avaliação bioeconômica de sistemas de produção de leite.

2 - Material e Métodos

2.1 - Caracterização do ambiente para desenvolvimento do modelo

A propriedade utilizada como referencial para a avaliação do modelo de simulação situa-se no município de Cajuri, região da Zona da Mata de Minas Gerais. Esta fazenda foi escolhida para o estudo, em virtude da grande disponibilidade de informações em seus registros zootécnicos e econômicos e da reconhecida tradição da região na atividade leiteira. Contudo, o modelo de simulação desenvolvido pode ser facilmente adaptado a outras realidades.

A propriedade possui área de 360 ha, dos quais 66,5 são efetivamente destinados à bovinocultura leiteira. O restante da área é destinado ao plantio de eucalipto e a cafeicultura. Dos 66,5 ha destinados a pecuária, cerca de 60 são utilizados para produção de milho para silagem e os demais são ocupados com pastagens e construções.

O rebanho é formado, predominantemente, por animais da raça Holandesa e por mestiços Holandês x Zebu, com alto “grau de sangue” Holandês. Todos os animais são criados em confinamento e, à exceção daqueles em fase de aleitamento, que recebem apenas concentrado e leite,

são alimentados com silagem de milho e concentrado. A propriedade utiliza ordenha mecanizada e inseminação artificial.

Em média, no ano de 2007, o número de vacas em lactação foi de 78,6 e a produção diária de leite foi de 1.861,2 litros, com produtividade de 23,68 litros por vaca em lactação por dia. O intervalo de partos médio foi de 14 meses e a idade ao primeiro parto, 25,5 meses.

2.2 – Descrição do modelo de simulação

2.2.1 – Visão geral do modelo

O modelo de simulação foi desenvolvido com a utilização integrada dos programas *Stella 9.0*, *ZooCalc 1.0* e planilhas eletrônicas (*Microsoft Excel 2007*), em microcomputador Pentium IV, com 3.0 GHz de frequência de processamento e 1024 MB de memória RAM.

A estrutura dinâmica do rebanho, os modelos matemáticos de predição de desempenho dos animais e os componentes relacionados com os custos de produção foram implementados com a utilização do programa para simulação de sistemas dinâmicos *STELLA 9.0*. Para cálculo das exigências nutricionais dos animais e das rações de custo mínimo, de acordo com o proposto no *NRC (2001)*, foram elaboradas planilhas eletrônicas no programa *Microsoft Excel 2007*, com o auxílio da ferramenta *SOLVER*. Para avaliação das rações calculadas utilizou-se o programa *ZooCalc 1.0* (Capítulo 2).

2.2.2 – Dinâmica da estrutura física do rebanho

A estrutura física do rebanho foi dividida em 15 módulos interligados, que representam categorias ou subdivisões de categorias. Os módulos são:

- 1) *Bezerras,*
- 2) *Novilhas,*
- 3) *Novilhas_em_cobertura,*
- 4) *Novilhas_gestantes,*
- 5) *Vacas_em_1º_lactação,*
- 6) *Vacas_secas_1,*
- 7) *Vacas_em_2º_lactação,*
- 8) *Vacas_secas_2,*
- 9) *Vacas_em_3º_lactação,*
- 10) *Vacas_secas_3,*
- 11) *Vacas_em_4º_lactação,*
- 12) *Vacas_secas_4*
- 13) *Vacas_em_5º_lactação,*
- 14) *Vacas_secas_5,*
- 15) *Vacas_em_6º_lactação,*

A divisão do rebanho em módulos e as interligações entre estes estão representadas na Figura 1.

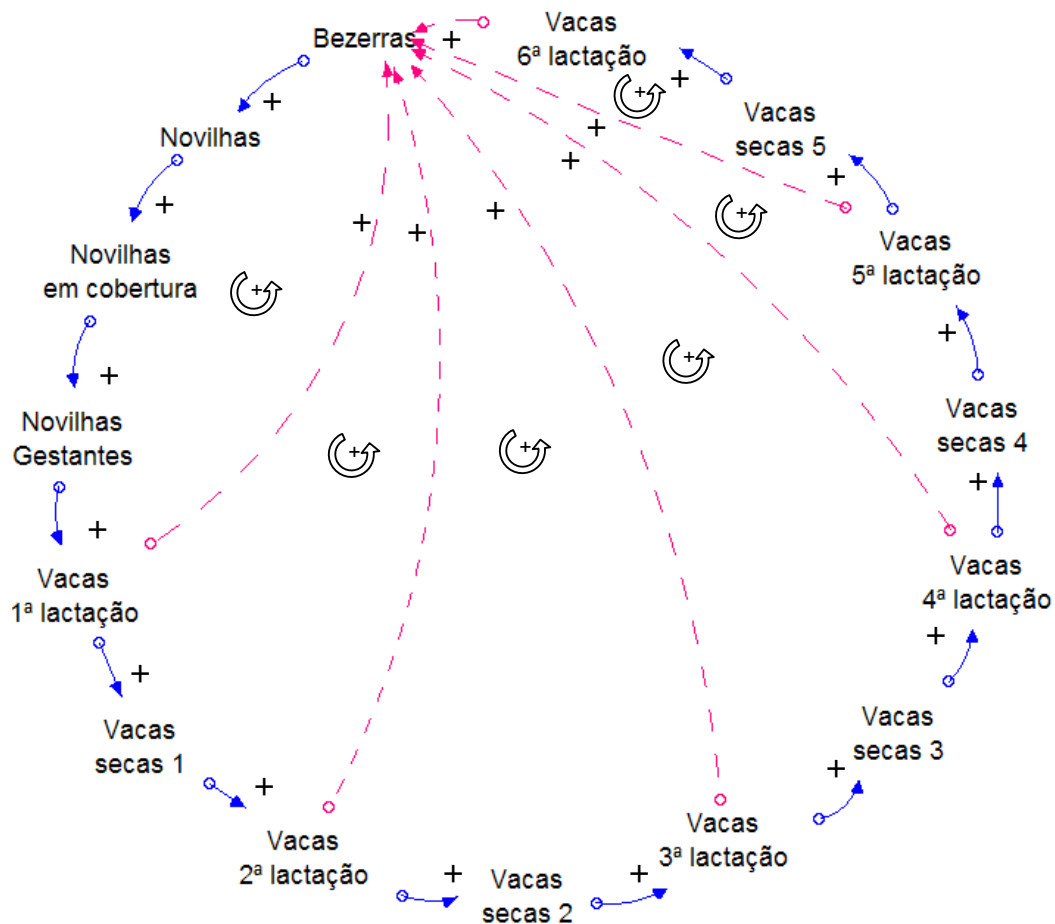


Figura 1 – Diagrama de influência representando a divisão do rebanho em módulos e as interligações entre os módulos

Na Figura 1, as setas contínuas representam fluxos de material entre os módulos, ou seja, demonstram a passagem de animais de um módulo anterior para um módulo posterior do rebanho. Já as setas descontínuas, que partem dos módulos de vacas em lactação, representam fluxos de informação que determinam o número de nascimentos de bezerras. Os sinais de adição próximos às setas indicam a influência positiva do número de animais de um módulo sobre o número de animais do módulo subsequente, assim como a influência positiva do número de vacas em lactação sobre o número de bezerras. Os fluxos de informação gerados a partir dos seis módulos de vacas

em lactação originam seis estruturas de *feedback loop* positivo - representados por setas circulares - que realimentam o sistema, de tal forma que, caso não houvessem estruturas de controle do número de animais, o rebanho se expandiria indefinidamente.

No modelo de simulação existem quatro formas de controle do número de animais do rebanho. São elas: índices reprodutivos, taxas de mortalidade, taxas de crescimento dos animais e diferença entre o número de animais vendidos e comprados. O modelo proposto auto-regula o tamanho do rebanho por meio da venda e compra de animais. Caso a disponibilidade de forragem produzida (*DispFor*) seja menor do que a demanda por forragem (*DemFor*), o número de animais vendidos aumentará até que $DispFor = DemFor$. Da mesma forma, quando $DispFor > DemFor$, o número de animais comprados aumentará até que $DispFor = DemFor$.

Os módulos são subdivididos em meses, de maneira que, dentro de cada módulo, para cada mês, existe uma variável acumuladora (estoque) que armazena uma quantidade determinada de animais. Para as categorias de animais que ainda não atingiram o peso mínimo para entrarem em fase reprodutiva, o valor de cada estoque representa o número de animais em determinado mês de idade. Já para aqueles com peso maior ou igual ao peso mínimo para a primeira cobertura, o valor de cada estoque representa o número de animais em determinado mês da fase produtiva ou reprodutiva.

Fluxos de entrada, saída e promoção atualizam o valor de cada estoque a cada iteração, o que corresponde ao intervalo de tempo simulado (*dt*) de um mês. Em geral, os fluxos de entrada são fluxos de compra ou nascimento de animais. Fluxos de saída podem representar mortes ou vendas

de animais. Fluxos de promoção representam a passagem de animais de uma idade ou mês da vida produtiva anterior para um posterior, ocorrendo em apenas um sentido e conduzindo material de um estoque de animais para outro estoque de animais, dentro do sistema de produção. Assim, o valor atual de um estoque corresponde ao valor do mesmo estoque na iteração anterior, acrescido e subtraído de seus respectivos fluxos de material.

O módulo *Bezerras* registra animais do primeiro até o 12º mês de idade. Os três primeiros meses do diagrama de fluxos do módulo *Bezerras* estão exemplificados na Figura 2. O módulo *Bezerras* recebe informações geradas pela entrada de animais nos módulos de vacas em lactação. Estas informações determinam o número de nascimentos de bezerras. Assumindo-se que 50% dos nascimentos serão animais do sexo feminino, a quantidade de nascimentos de bezerras é calculada como:

$$NascBzF = \sum (fxEntradaVL_1, fxEntradaVL_2, fxEntradaVL_3, fxEntradaVL_4, fxEntradaVL_5, fxEntradaVL_6) \times 0.5 \times (1 - \text{porcentagem de natimortos} \times 0,01)$$

onde:

NascBzF = variável auxiliar nascimentos de bezerras
fxEntradaVL_1 = fluxo de entrada de vacas na 1ª lactação
fxEntradaVL_2 = fluxo de entrada de vacas na 2ª lactação
fxEntradaVL_3 = fluxo de entrada de vacas na 3ª lactação
fxEntradaVL_4 = fluxo de entrada de vacas na 4ª lactação
fxEntradaVL_5 = fluxo de entrada de vacas na 5ª lactação
fxEntradaVL_6 = fluxo de entrada de vacas na 6ª lactação

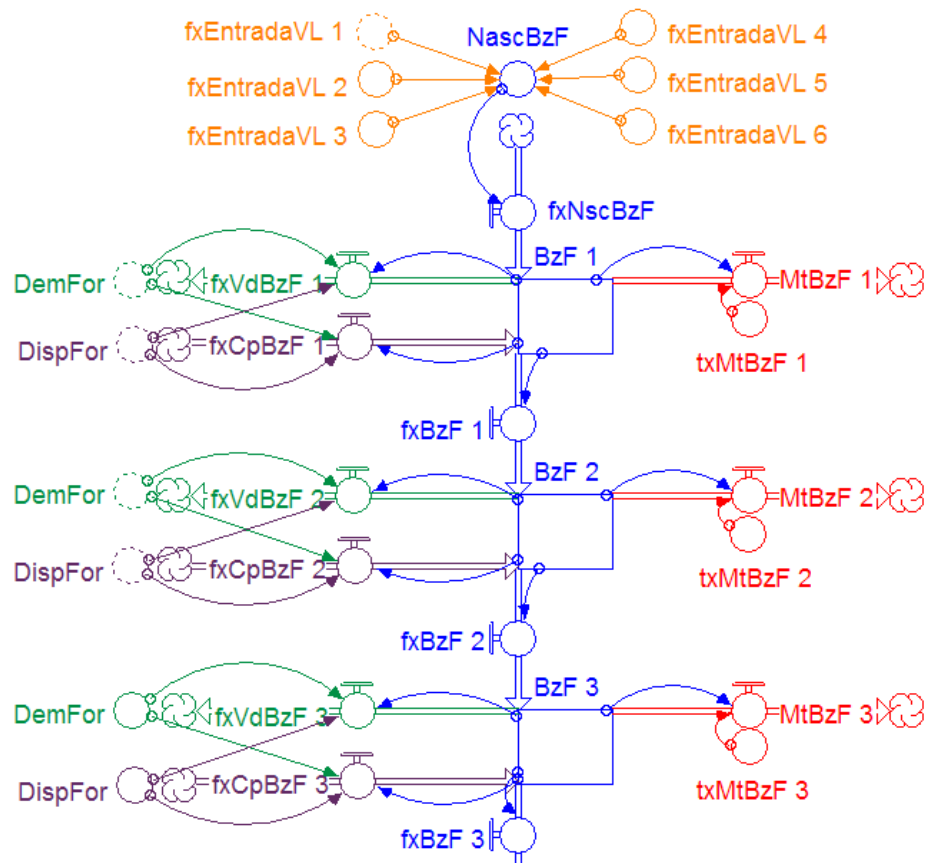


Figura 2 - Diagrama de fluxos exemplificando os três primeiros meses do módulo *Bezerras*.

A dinâmica de fluxos do número de bezerras nos três primeiros meses de vida, exemplificada na Figura 2, pode ser matematicamente representada da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 BzF_1(t) &= BzF_1(t - dt) + (fxNscBzF + fxCpBzF_1 - fxBzF_1 - fxMtBzF_1 - fxVdBzF_1) * dt \\
 BzF_2(t) &= BzF_2(t - dt) + (fxBzF_1 + fxCpBzF_2 - fxBzF_2 - fxMtBzF_2 - fxVdBzF_2) * dt \\
 BzF_3(t) &= BzF_3(t - dt) + (fxBzF_2 + fxCpBzF_3 - fxBzF_3 - fxMtBzF_3 - fxVdBzF_3) * dt
 \end{aligned}$$

onde:

$fxNscBzF$ = fluxo de nascimentos de bezerras.

BzF_1 , BzF_2 e BzF_3 = número de bezerras com um, dois e três meses de idade.

$fxCpBzF_1$, $fxCpBzF_2$ e $fxCpBzF_3$ = fluxos de compras de bezerras com um, dois e três meses de idade.

$fxMtBzF_1$, $fxMtBzF_2$ e $fxMtBzF_3$ = fluxos de mortes de bezerras com um, dois e três meses de idade.

$fxVdBzF_1$, $fxVdBzF_2$ e $fxVdBzF_3$ = fluxos de vendas de bezerras com um, dois e três meses de idade.

$fxBzF_1$, $fxBzF_2$ e $fxBzF_3$ = fluxos de promoção de bezerras do primeiro para o segundo, do segundo para o terceiro e do terceiro para o quarto mês de idade.

dt = intervalo de tempo adotado na simulação (1 mês).

t = tempo simulado atual.

As variáveis auxiliares $txMtBzF_1$, $txMtBzF_2$ e $txMtBzF_3$ representam taxas de mortalidade aplicadas, respectivamente, aos valores dos estoques BzF_1 , BzF_2 e BzF_3 . Assumimos o número de mortes de animais com mais de 12 meses como insignificantes. Desta forma, taxas de mortalidade são aplicadas apenas ao módulo *Bezerras*.

O módulo *Novilhas* comporta animais do 13º mês de idade até o mês anterior aquele ao qual atingem o peso mínimo para a primeira cobertura. A variável auxiliar $fxSaídaBzF$ informa o número de animais que deixam o módulo *Bezerras* em direção ao módulo *Novilhas*. Os três primeiros meses do diagrama de fluxos deste módulo são apresentados na Figura 3.

No modelo de simulação não há idade específica para que as novilhas estejam aptas para reprodução. Isso permite que animais de qualquer estoque do módulo *Novilhas* sejam transferidos ao módulo *Novilhas_em_cobertura*, desde que atinjam o peso mínimo para tal. Desta forma, os determinantes para a idade a primeira cobertura e, conseqüentemente para a idade ao primeiro parto, são o peso mínimo estabelecido para a primeira cobertura, o peso das bezerras ao nascimento e a taxa de crescimento dos animais. Adotou-se no modelo o peso mínimo para a primeira cobertura como sendo 50% do peso corporal a maturidade.

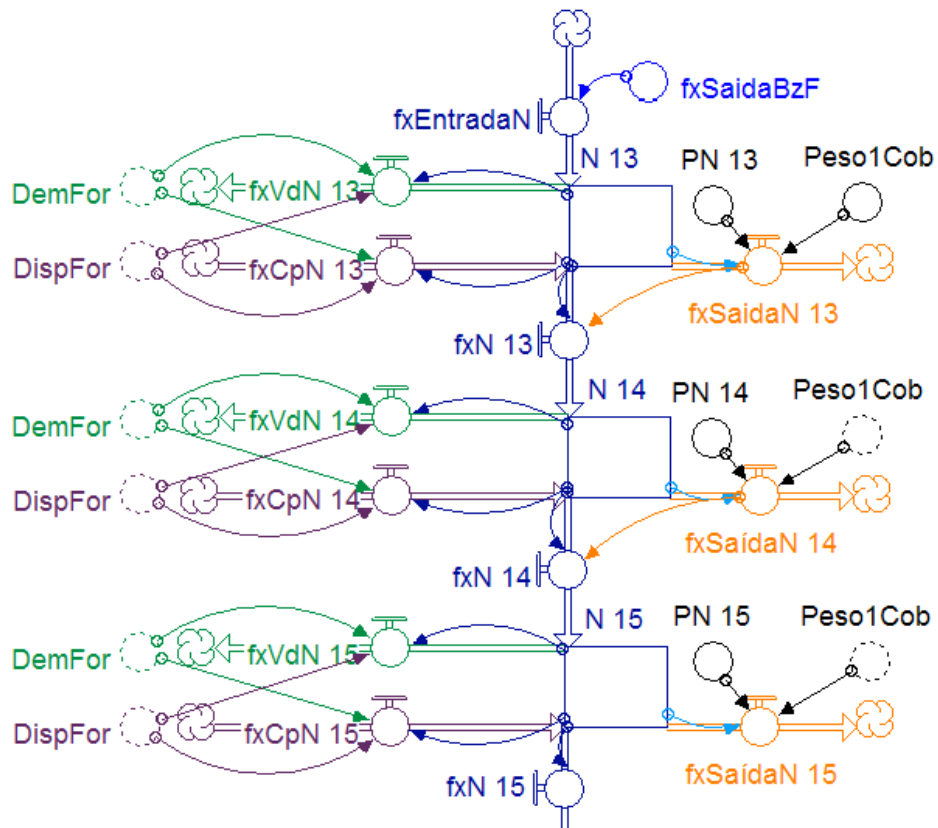


Figura 3 - Diagrama de fluxos exemplificando os três primeiros meses do módulo *Novilhas*.

A estrutura de decisão aplicada aos fluxos de saída dos três estoques exemplificados é demonstrada pelo seguinte algoritmo na linguagem de simulação:

```

fxSaídaN_13 = IF(PN_13 >= Peso1Cob) THEN N_13 ELSE 0
fxSaídaN_14 = IF(PN_14 >= Peso1Cob) THEN N_14 ELSE 0
fxSaídaN_15 = IF(PN_15 >= Peso1Cob) THEN N_15 ELSE 0

```

onde:

fxSaídaN_13, *fxSaídaN_14* e *fxSaídaN_15* = fluxos de saída de novilhas com 13, 14 e 15 meses de idade, do módulo *Novilhas* para o módulo *Novilhas* em cobertura.

PN_13, *PN_14* e *PN_15* = pesos corporais médios das novilhas aos 13, 14 e 15 meses de idade.

Peso1Cob = peso mínimo a primeira cobertura.

Assim, qualquer fluxo de saída do módulo *Novilhas* para o módulo *Novilhas_em_cobertura* receberá o valor de seu estoque, apenas se o peso corporal correspondente for maior ou igual ao peso mínimo a primeira cobertura, caso contrário, o valor deste estoque será direcionado ao estoque posterior, por meio de seu respectivo fluxo de promoção.

O número atual de animais em cada um dos três estoques exemplificados do módulo *Novilhas* pode ser matematicamente descrito da seguinte forma:

$$\begin{aligned} N_{13}(t) &= N_{13}(t - dt) + (fxEntradaN + fxCpN_{13} - fxN_{13} - fxSaidaN_{13} - fxVdN_{13}) * dt \\ N_{14}(t) &= N_{14}(t - dt) + (fxN_{13} + fxCpN_{14} - fxN_{14} - fxSaidaN_{14} - fxVdN_{14}) * dt \\ N_{15}(t) &= N_{15}(t - dt) + (fxN_{14} + fxCpN_{15} - fxN_{15} - fxSaidaN_{15} - fxVdN_{15}) * dt \end{aligned}$$

onde:

$fxEntradaN$ = fluxo de entrada de animais no módulo *Novilhas*.
 N_{13} , N_{14} e N_{15} = número de novilhas com 13, 14 e 15 meses de idade.
 $fxCpN_{13}$, $fxCpN_{14}$ e $fxCpN_{15}$ = fluxos de compras de novilhas com 13, 14 e 15 meses de idade.
 $fxVdN_{13}$, $fxVdN_{14}$ e $fxVdN_{15}$ = fluxos de vendas de novilhas com 13, 14 e 15 meses de idade.
 fxN_{13} , fxN_{14} e fxN_{15} = fluxos de promoção de novilhas do 13º para o 14º, do 14º para o 15º e do 15º para o 16º mês de idade.

O fluxo de entrada para o módulo *Novilhas_em_cobertura* ($fxENCob$) recebe o valor dos fluxos de saída do módulo *Novilhas*, de forma que:

$$fxENCob = \sum (fxSaidaN_{13}, fxSaidaN_{14}, fxSaidaN_{15}, \dots, fxSaidaN_n)$$

Os três primeiros meses do diagrama de fluxos do módulo *Novilhas* em cobertura são apresentados na Figura 4. A transferência de animais deste módulo para o módulo *Novilhas_gestantes* é submetida a uma taxa de fertilidade de novilhas ($txFertNov$). Isto faz com que parte do número de animais em cada estoque entre em gestação e seja direcionada ao módulo

Novilhas_gestantes enquanto outra parte passe para o estoque subsequente, no mesmo módulo. Ao final do módulo *Novilhas_em_cobertura*, a quantidade de animais que não entra em gestação é descartada por problemas de fertilidade. Destarte, a quantidade de novilhas descartadas por problemas de fertilidade é determinada pela taxa de fertilidade adotada e pelo número de estoques presentes no módulo.

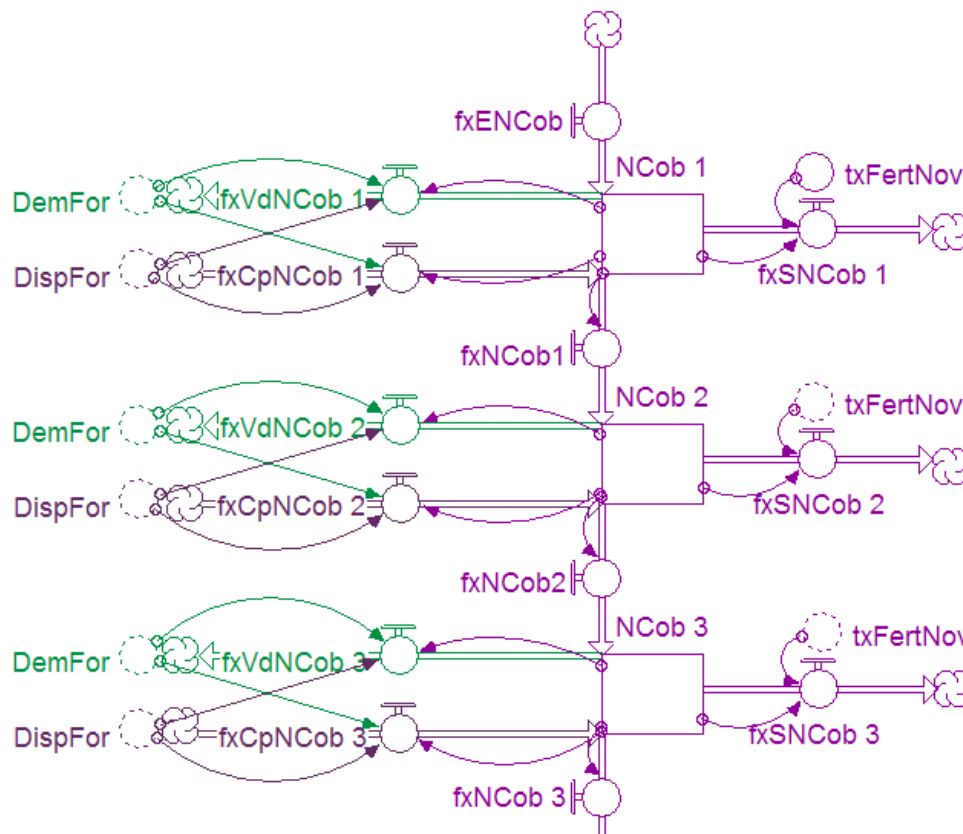


Figura 4 - Diagrama de fluxos exemplificando os três primeiros meses do módulo *Novilhas_em_cobertura*.

A dinâmica de fluxos do número de animais nos três primeiros meses do módulo *Novilhas_em_cobertura* pode ser matematicamente representada da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
NCob_1(t) &= NCob_1(t - dt) + (fxENCob + fxCpNCob_1 - fxNCob_1 - fxSNCob_1 - fxVdNCob_1) * dt \\
NCob_2(t) &= NCob_2(t - dt) + (fxNCob1 + fxCpNCob_2 - fxNCob_2 - fxSNCob_2 - fxVdNCob_2) * dt \\
NCob_3(t) &= NCob_3(t - dt) + (fxNCob2 + fxCpNCob_3 - fxNCob_3 - fxSNCob_3 - fxVdNCob_3) * dt
\end{aligned}$$

onde:

$NCob_1$, $NCob_2$ e $NCob_3$ = número de novilhas em cobertura no primeiro, segundo e terceiro mês do módulo Novilhas em cobertura.

$fxCpNCob_1$, $fxCpNCob_2$ e $fxCpNCob_3$ = fluxos de compras de novilhas no primeiro, segundo e terceiro mês do módulo Novilhas em cobertura.

$fxVdNCob_1$, $fxVdNCob_2$ e $fxVdNCob_3$ = fluxos de vendas de novilhas no primeiro, segundo e terceiro mês do módulo Novilhas em cobertura.

$fxSNCob_1$, $fxSNCob_2$ e $fxSNCob_3$ = fluxos de saída de novilhas do primeiro, segundo e terceiro mês do módulo Novilhas em cobertura para o módulo Novilhas gestantes.

$fxNCob_1$, $fxNCob_2$ e $fxNCob_3$ = fluxos de promoção de novilhas do primeiro para o segundo, do segundo para o terceiro e do terceiro para o quarto mês do módulo Novilhas em cobertura.

O diagrama de fluxos exemplificando os três primeiros meses do módulo de *Novilhas_gestantes* pode ser observado na Figura 5.

O módulo *Novilhas_gestantes* contém animais em primeira gestação, do primeiro ao nono mês de gestação. O fluxo de entrada para este módulo ($fxENG$) recebe material dos fluxos de saída do módulo *Novilhas_em_cobertura*, de forma que a quantidade de animais que entra no módulo *Novilhas_gestantes* pode ser descrita como:

$$fxENG = \sum (fxSNCob_1, fxSNCob_2, fxSNCob_3, \dots, fxSNCob_n)$$

Além das vendas oriundas da relação entre a demanda e disponibilidade de forragem e dos descartes por infertilidade, parte dos animais em crescimento é vendida após a confirmação da gestação, o que no modelo de simulação ocorre no quarto mês do módulo *Novilhas_gestantes*.

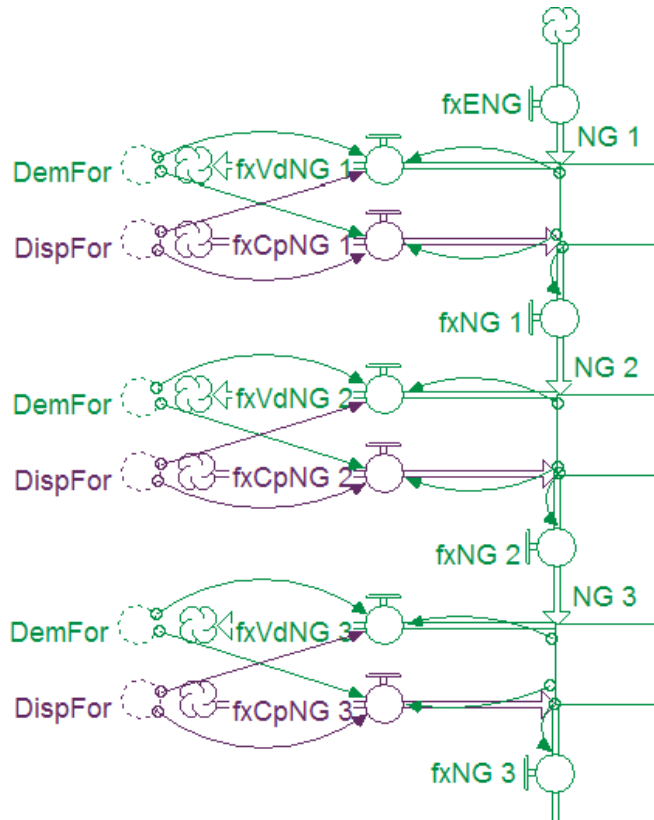


Figura 5 - Diagrama de fluxos exemplificando os três primeiros meses do módulo *Novilhas_gestantes*.

O número de novilhas gestantes, nos três primeiros meses de gestação, pode ser matematicamente representado da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 NG_1(t) &= NG_1(t - dt) + (fxENG + fxCpNG_1 - fxNG_1 - fxVdNG_1) * dt \\
 NG_2(t) &= NG_2(t - dt) + (fxNG_1 + fxCpNG_2 - fxNG_2 - fxVdNG_2) * dt \\
 NG_3(t) &= NG_3(t - dt) + (fxNG_2 + fxCpNG_3 - fxNG_3 - fxVdNG_3) * dt
 \end{aligned}$$

onde:

NG_1 , NG_2 e NG_3 = estoques de número de novilhas gestante no primeiro, segundo e terceiro mês de gestação.

$fxCpNG_1$, $fxCpNG_2$ e $fxCpNG_3$ = fluxos de compras de novilhas no primeiro, segundo e terceiro mês de gestação.

$fxVdNG_1$, $fxVdNG_2$ e $fxVdNG_3$ = fluxos de vendas de novilhas no primeiro, segundo e terceiro mês de gestação.

$fxNG_1$, $fxNG_2$ e $fxNG_3$ = fluxos de promoção de novilhas do primeiro para o segundo, do segundo para o terceiro e do terceiro para o quarto mês de gestação.

O diagrama de fluxos exemplificando os três primeiros meses do módulo *Vacas_em_1ª_lactação* está representado na Figura 6.

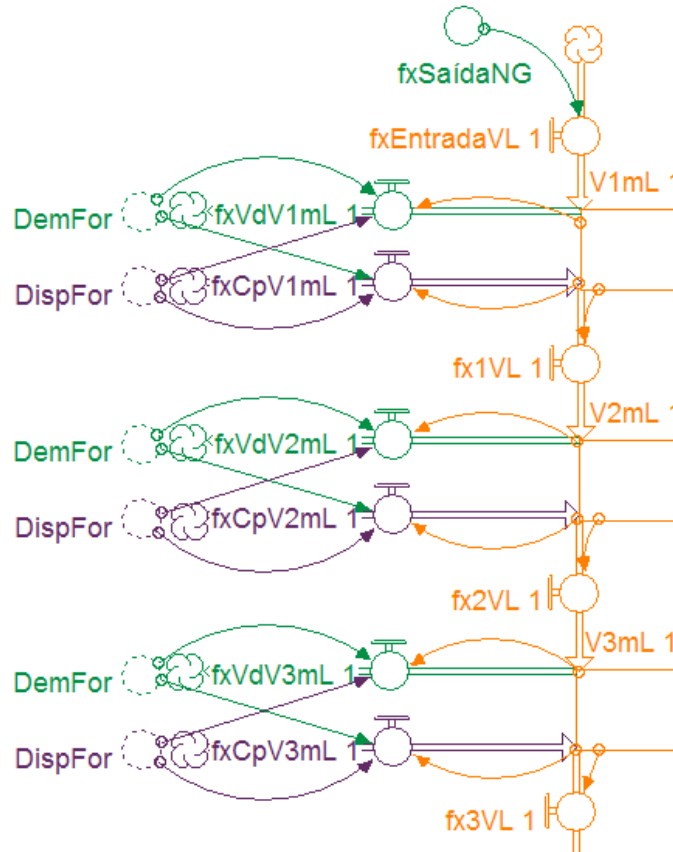


Figura 6 - Diagrama de fluxos exemplificando os três primeiros meses do módulo *Vacas_em_1ª_lactação*.

A categoria de vacas em lactação foi subdividida em seis módulos que representam seis ordens. Cada módulo de vacas em lactação é conectado ao subsequente módulo de vacas secas, para o qual transfere material. Como simplificação, assumimos no modelo que não existem vacas com mais de seis lactações. Em consequência, todos os animais mantidos no rebanho até o final da sexta lactação são descartados logo em seguida.

Os módulos de vacas em lactação comportam animais do primeiro mês de lactação ao mês n de lactação, onde n representa a duração média, em

meses, das lactações dos animais do rebanho. O número de vacas em 1ª ordem de lactação, nos três primeiros meses de lactação, pode ser matematicamente representado como:

$$\begin{aligned} V1mL_1(t) &= V1mL_1(t - dt) + (fxEntradaVL_1 + fxCpV1mL_1 - fx1VL_1 - fxVdV1mL_1) * dt \\ V2mL_1(t) &= V2mL_1(t - dt) + (fx1VL_1 + fxCpV2mL_1 - fx2VL_1 - fxVdV2mL_1) * dt \\ V3mL_1(t) &= V3mL_1(t - dt) + (fx2VL_1 + fxCpV3mL_1 - fx3VL_1 - fxVdV3mL_1) * dt \end{aligned}$$

onde:

$V1mL_1$, $V2mL_1$ e $V3mL_1$ = número de vacas no primeiro, segundo e terceiro mês de lactação, da 1ª ordem de lactação.

$fxEntradaVL_1$ = fluxo de entrada de vacas em primeira lactação.

$fxCpV1mL_1$, $fxCpV2mL_1$ e $fxCpV3mL_1$ = fluxos de compras de vacas no primeiro, segundo e terceiro mês de lactação, da 1ª ordem de lactação.

$fxVdV1mL_1$, $fxVdV2mL_1$ e $fxVdV3mL_1$ = fluxos de vendas de vacas no primeiro, segundo e terceiro mês de lactação, da 1ª ordem de lactação.

$fx1VL_1$, $fx2VL_1$ e $fx3VL_1$ = fluxos de promoção de vacas no primeiro para o segundo, do segundo para o terceiro e do terceiro para o quarto mês de lactação, da 1ª ordem de lactação.

Os módulos representativos das demais ordens de lactação são semelhantes ao módulo *Vacas_em_1ª_lactação*, portanto, não há necessidade de descrevê-los.

O diagrama de fluxos exemplificando os três primeiros meses do módulo *Vacas_secas_1* está representado na Figura 7. Os módulos de vacas secas registram animais do primeiro mês ao mês N do intervalo entre o final de uma lactação e o início de outra lactação subsequente. Neste caso, N representa o valor, em meses, obtido pela diferença entre o intervalo de partos médio e a duração média das lactações dos animais do rebanho.

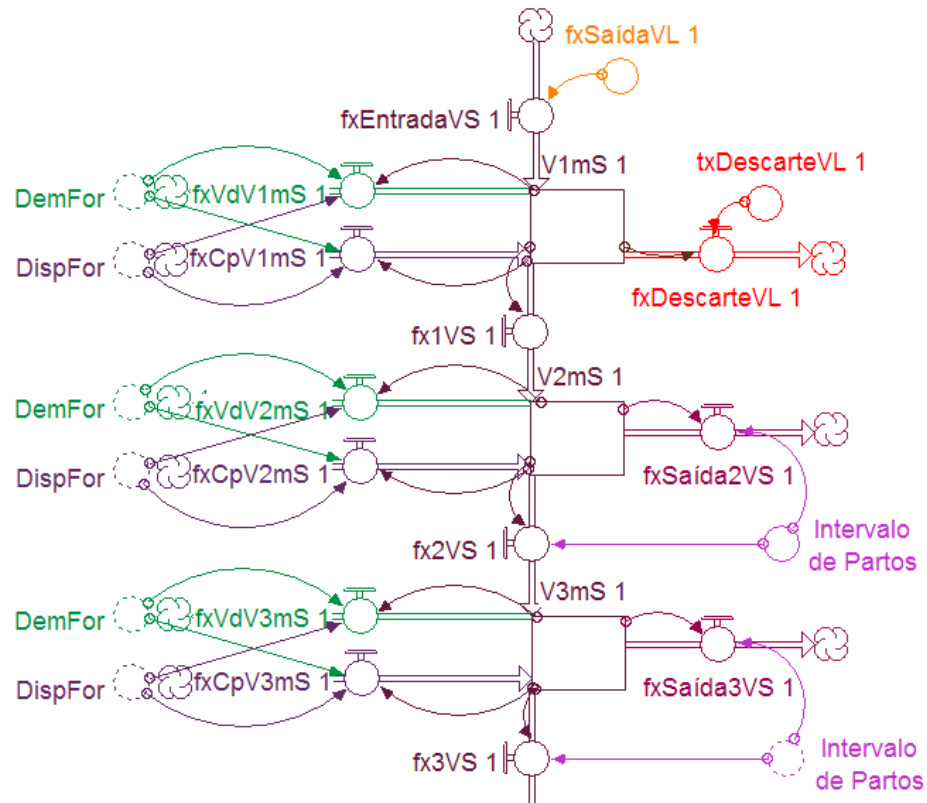


Figura 7 - Diagrama de fluxos exemplificando os três primeiros meses do módulo *Vacas_secas_I*.

Após o final de cada lactação, os animais são submetidos a uma taxa de descarte. Assume-se que ao final de cada lactação parte dos animais seja descartada por problemas reprodutivos, sanitários ou por baixa produtividade.

A variável auxiliar *Intervalo_de_Partos* determina em que mês do módulo *Vacas_secas_I* o fluxo de animais será direcionado para a próxima lactação. O algoritmo da estrutura de decisão, em linguagem de simulação, representado no diagrama de fluxos da Figura 7, pode ser exemplificado da seguinte forma:

```

fxSaida2VS_1 = IF(Intervalo_de_Partos = 12) THEN V2mS_1 ELSE 0
fxSaida3VS_1 = IF(Intervalo_de_Partos = 13) THEN V3mS_1 ELSE 0

```

Os fluxos de saída do módulo *Vacas_secas_1* em direção ao módulo *Vacas_em_2ª_lactação* ($fxSaída2VS_1$, $fxSaída3VS_1$) recebem os valores das variáveis de estado ($V2mS_1$, $V3mS_1$) apenas se corresponderem ao intervalo de partos médio dos animais do rebanho. O número de vacas secas no módulo *Vacas_secas_1*, nos três primeiros meses do módulo, pode ser matematicamente representado como:

$$V1mS_1(t) = V1mS_1(t - dt) + (fxCpV1mS_1 + fxEntradaVS_1 - fx1VS_1 - fxDescarteVL_1 - fxVdV1mS_1) * dt$$

$$V2mS_1(t) = V2mS_1(t - dt) + (fxCpV2mS_1 + fx1VS_1 - fx2VS_1 - fxVdV2mS_1) * dt$$

$$V3mS_1(t) = V3mS_1(t - dt) + (fxCpV3mS_1 + fx2VS_1 - fx3VS_1 - fxVdV3mS_1) * dt$$

onde:

$V1mS_1$, $V2mS_1$ e $V3mS_1$ = número de vacas secas no primeiro, segundo e terceiro mês do módulo *Vacas_secas_1*.

$fxEntradaVS_1$ = fluxo de entrada de vacas no módulo *Vacas_secas_1*.

$fxDescarteVL_1$ = fluxo de descarte de vacas após a 1ª lactação.

$fxCpV1mS_1$, $fxCpV2mS_1$ e $fxCpV3mS_1$ = fluxos de compras de vacas no primeiro, segundo e terceiro mês do módulo *Vacas_secas_1*.

$fxVdV1mS_1$, $fxVdV2mS_1$ e $fxVdV3mS_1$ = fluxos de vendas de vacas no primeiro, segundo e terceiro mês do módulo *Vacas_secas_1*.

$fx1VS_1$, $fx2VS_1$ e $fx3VS_1$ = fluxos de promoção de vacas no primeiro para o segundo, do segundo para o terceiro e do terceiro para o quarto mês do módulo *Vacas_secas_1*.

Os demais módulos de vacas secas são semelhantes ao módulo *Vacas_secas_1*, portanto, não há necessidade de descrevê-los.

2.2.3 – Modelos matemáticos utilizados para predição de desempenho dos animais

Para predição do peso corporal dos animais, do nascimento a idade a primeira cobertura, foi utilizado o modelo de Lopez et al. (2004).

$$y_t = \frac{a \cdot k^c + b \cdot t^c}{k^c + t^c}$$

onde:

y = peso corporal no dia t (kg)

a = peso ao nascimento (kg)

b = peso a maturidade (kg)

c = parâmetro que determina o formato sigmoidal da curva

k = idade em que 50% do peso corporal a maturidade é atingido.

O modelo de Lopez et al. (2004) foi escolhido devido ao significado biológico preciso dos parâmetros, em especial do parâmetro k , cujo valor pode ser associado ao modelo de simulação como a idade em que as novilhas atingem o peso mínimo para a primeira cobertura. Os parâmetros do modelo de Lopez et al. (2004) foram ajustados, utilizando-se o procedimento PROC NLIN do SAS, a 714 informações de peso corporal de 47 animais em fase de crescimento, provenientes da propriedade utilizada como referencial para desenvolvimento do modelo de simulação. O parâmetro b foi fixado em 682 kg por ser considerado como peso a maturidade médio de animais da raça Holandesa (NRC, 2001). A curva de crescimento ajustada aos dados de acordo com o modelo de Lopez et al. (2004) pode ser observada na Figura 8.

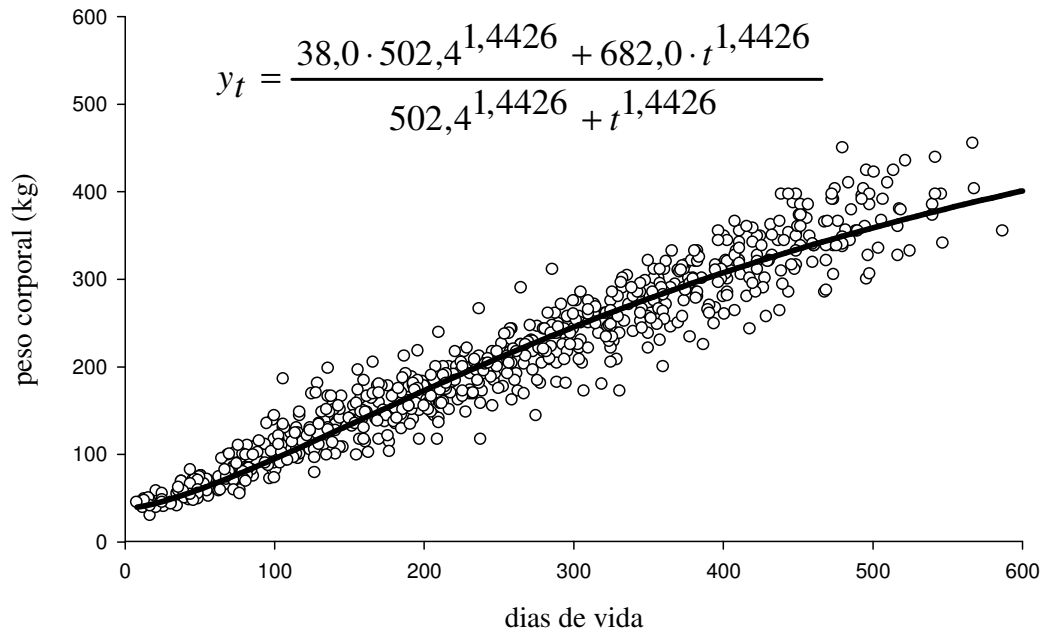


Figura 8 - Curva de crescimento e modelo de crescimento com parâmetros ajustados aos dados.

O ganho de peso corporal das novilhas em gestação foi calculado como a diferença entre o peso a primeira cobertura e o peso ao primeiro parto, sendo este assumido como 80% do peso a maturidade.

Para predição do peso corporal dos animais durante a lactação foi utilizado o modelo de Rotz et al.(1999). Como não há informações sobre o peso dos animais em lactação nos registros da propriedade, foram utilizados os valores dos parâmetros informados por Rotz et al. (1999), para primíparas e múltiparas, separadamente.

$$y_t = a \cdot \left(\frac{t}{7} + b \right)^{-c} \cdot e^{d \cdot \left(\frac{t}{7} + h \right)}$$

onde:

y = peso corporal no dia t de lactação

a, b, c, d, h = parâmetros do modelo

O ganho de peso corporal de vacas secas foi assumido como 0,8 kg por dia, para vacas após a primeira lactação, e 0,65 kg para vacas após as demais lactações.

Para predição da produção de leite por vaca, foi utilizado o modelo de Dijkstra et al. (1997).

$$y_t = a \cdot e^{b \cdot \frac{1 - e^{-c \cdot t}}{c} - d \cdot t}$$

onde:

y = produção de leite no dia t de lactação (L/dia)

a, b, c, d = parâmetros do modelo

O modelo de Dijkstra et al. (1997) foi selecionado dentre oito modelos de lactação, apresentando melhor ajuste que os demais para os dados de produção de leite dos animais da propriedade, conforme descrito no Capítulo 1. Os parâmetros do modelo foram ajustados para lactações de 1^a, 2^a e 3^a ou maior ordem, utilizando-se o procedimento PROC NLIN do SAS. As curvas de lactação ajustadas pelo modelo de Dijkstra et al. (1997) juntamente com informações mais detalhadas sobre os critérios utilizados para a escolha do modelo encontram-se no Capítulo 1.

A produção de leite por vaca recebeu tratamento estocástico, assumindo-se que essa variável possui distribuição normal. Para tal, utilizou-se uma função da linguagem de simulação que gera números aleatórios de acordo com a distribuição normal, escrita da seguinte forma:

Normal(Média, Desvio padrão, Seed)

Onde *Seed* representa o número responsável pelo padrão de geração da variável aleatória. O valor do desvio padrão, baseado nos resultados obtidos por Bernard et al. (2002) e Taylor e Allen (2005), foi considerado como 11% do valor médio da produção diária de leite por vaca.

Para predição do percentual de gordura e proteína do leite foram utilizados os modelos e os parâmetros recomendados no CNCPS 5.0.

$$PG_t = 1,01 \cdot a \cdot \left(\frac{t+1}{7}\right)^{-b} \cdot e^{c \cdot \left(\frac{t+1}{7}\right)}$$

$$PP_t = 1,14 \cdot j \cdot \left(\frac{t+1}{7}\right)^{-l} \cdot e^{m \cdot \left(\frac{t+1}{7}\right)}$$

onde:

PG = porcentagem de gordura no leite no tempo *t* de lactação

PP = porcentagem de proteína no leite no tempo *t* de lactação

a, b, c, j, l, m = parâmetros dos modelos

Os parâmetros *a* e *j* representam, respectivamente, o percentual de gordura e proteína do leite no momento do pico de produção de leite. Os

valores adotados para estes parâmetros foram os recomendados no CNCPS 5.0 para vacas da raça Holandesa.

2.2.4 – Alimentação do rebanho

Para cálculo de exigências nutricionais e balanceamento das dietas dos animais foram utilizadas planilhas eletrônicas, elaboradas de acordo com as equações do NRC (2001). A minimização do custo de cada ração foi feita com auxílio da ferramenta *Solver* do *Microsoft Excel*. Após a minimização do custo, cada ração foi avaliada com a utilização do programa *ZooCalc 1.0*, descrito no Capítulo 2.

As rações de custo mínimo foram calculadas considerando as seguintes restrições:

$$a \leq b \cdot 1,02$$

$$d \cdot 0,99 \leq c \leq d \cdot 1,02$$

$$h \cdot 0,99 \leq g \leq h \cdot 1,02$$

$$j \cdot 0,98 \leq i \leq j \cdot 1,03$$

$$m \cdot 0,98 \leq l \leq m \cdot 1,03$$

$$p \cdot 0,99 \leq n \leq p \cdot 1,10$$

$$r \cdot 0,99 \leq q \leq r \cdot 1,05$$

$$s \leq 0,012 \cdot PC$$

$$t \leq u$$

$$v \geq 30$$

$$x \geq 20$$

onde:

a = matéria seca (MS) da ração (kg);
 b = predição de ingestão de MS (kg/dia);
 c = energia líquida ou metabolizável da ração (Mcal);
 d = exigência de energia líquida ou metabolizável do animal (Mcal/dia);
 g = proteína bruta (PB) da ração (g);
 h = exigência de PB do animal (g/dia);
 i = proteína degradável no rumem (PDR) da ração (g);
 j = exigência de PDR do animal (g/dia);
 l = proteína não degradável no rumem (PNDR) da ração (g);
 m = exigência de PNDR do animal (g/dia);
 n = macrominerais (Ca, P, Mg, Na, K e S) na ração (g);
 p = exigência de macrominerais (Ca, P, Mg, Na, K e S) do animal (g/dia);
 q = microminerais (Co, Cu, I, Se e Zn) na ração (mg);
 r = exigência de microminerais (Co, Cu, I, Se e Zn) do animal (mg/dia);
 s = FDN da ração (kg) (apenas para vacas em lactação);
 PC = peso corporal do animal (kg);
 t = *fill units* da ração (Rotz et al., 1999);
 u = capacidade máxima de ingestão de *fill units* pelo animal (Rotz et al., 1999);
 v = FDN da ração (% da MS) (exceto para bezerras com menos de 100 kg);
 x = FDN do volumoso na ração (% da MS) (exceto para bezerras com menos de 100 kg);

Para os animais em fase de crescimento foi elaborada uma ração para cada mês de idade, considerando como valores de entrada os dados de peso corporal médio e ganho de peso médio diário, gerados pelo modelo de simulação. Para as vacas secas foi elaborada uma ração para cada mês, dentro de seus respectivos módulos, sendo utilizados como dados de entrada o peso corporal e o ganho de peso, gerados no modelo de simulação. Para as vacas em lactação, foi elaborada uma ração para cada mês de lactação, sendo utilizados como dados de entrada o peso corporal médio, a variação média diária de peso corporal, a produção média diária de leite e a composição, em gordura, proteína e lactose, média diária do leite produzido.

Os dados de composição dos alimentos utilizados foram obtidos em Teses e Dissertações da área e no banco de dados de alimentos do *software* do CNCPS 5.0 (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição dos alimentos utilizados na simulação

	unidade	Silagem de Milho	Fubá de Milho	Farelo de Trigo	Farelo de Soja	Glúten de Milho	Uréia
Preço	R\$ / kg de MN	0,05842	0,6042	0,4317	0,6107	0,8498	1,3314
MS	% da MN	30,89	87,64	87,81	88,74	90,46	99
FDN	% da MS	55,46	11,61	44,48	14,83	5,72	-
FDNfe	% da FDN	85	40	50	30	50	-
Fill Unit	% da MS	57,7	4	7	4	4	-
Lignina	% da MS	4,89	1,1	4,41	2,29	1,31	-
EE	% da MS	2,94	4,01	3,53	1,57	2,5	-
MM	% da MS	4,72	1,44	5,59	6,26	4,09	-
PB	% da MS	7,2	9,05	16,74	45	63,6	281
PIDN	% da MS	1,12	0,84	3,3781	2,73	4,48	-
PIDA	% da MS	0,56	0,48	0,7516	1,39	2,13	-
PB-A	% da PB	54,72	21,93	40,89	18,21	10,55	100
PB-B	% da PB	36	74,21	51,38	78,59	71,9	-
PBkd	% / h	6,68	4,03	15,22	9,9	2,3	-
PNDRd	%	70	90	92,5	93	92	-
Lys	% da PB	2,51	2,84	2,81	6,29	1,69	-
Met	% da PB	1,53	2,13	1,6	1,44	2,37	-
F. Proc.		0,94	1	1	1	1	1
Ca	% da MS	0,25	0,05	0,05	0,34	0,06	-
P	% da MS	0,26	0,32	0,43	0,58	0,6	-
Mg	% da MS	0,15	0,21	0,15	0,15	0,14	-
K	% da MS	1,05	0,42	0,5	1,05	0,46	-
Na	% da MS	0,05	0,02	0,01	0,05	0,05	-
S	% da MS	0,05	0,1	0,15	0,39	0,86	-
Co	mg / kg	0,05	0	0	0	0	-
Cu	mg / kg	4	3	5	16	4	-
I	mg / kg	0,08	0	0	0	0	-
Mn	mg / kg	29	11	42	40	15	-
Se	mg / kg	0,03	0,07	0,03	0,13	0,34	-
Zn	mg / kg	16	27	40	58	49	-
Bio-Ca	g / g	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	-
Bio-P	g / g	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	-
Bio-Mg	g / g	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	-
Bio-K	g / g	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	-
Bio-Na	g / g	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	-
Bio-S	g / g	1	1	1	1	1	-
Bio-Co	g / g	1	1	1	1	1	-
Bio-Cu	g / g	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-
Bio-I	g / g	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	-
Bio-Mn	g / g	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	-
Bio-Se	g / g	1	1	1	1	1	-
Bio-Zn	g / g	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	-

O preço dos alimentos fubá de milho, farelo de trigo, farelo de soja e uréia foram obtidos por meio dos registros de compras de alimentos da propriedade, de dezembro de 2006 a novembro de 2007. Os preços foram corrigidos pelo IGP-DI acumulado de dezembro de 2007 e em seguida foi calculada a média anual do preço de cada alimento. A propriedade não usa o alimento glúten de milho, entretanto sua utilização no modelo de simulação foi necessária para atender as exigências de proteína não degradável no rumem (*PNDR*) de alguns animais.

A variável *DemFor* foi calculada como o somatório da ingestão predita de silagem de todos os animais acrescida das perdas inerentes a distribuição. Estas perdas foram computadas como 5,0 % da ingestão predita de forragem, como recomendado por Oliveira (2001).

2.2.5 – Disponibilidade de forragem

A variável *DispFor* foi calculada como a produtividade de milho para silagem por hectare multiplicada pelo número de hectares plantados. O resultado foi subtraído das perdas inerentes ao processo de colheita e ensilagem. Essas perdas foram consideradas 20,0 % do total, como recomendado por Oliveira (2001) para silo do tipo trincheira.

2.2.6 – Componentes econômicos

Todos os componentes de custo de produção foram obtidos a partir de registros contábeis da empresa, referentes ao período de dezembro de 2006

a novembro de 2007, sendo corrigidos pelo *IGP-DI* do mês de dezembro de 2007. Devido ao caráter variável de alguns componentes de custo de produção, foram estabelecidos índices de proporcionalidade destes custos, tal como em Ávila (2004). Sendo assim, por exemplo, os gastos com material de ordenha foram divididos pelo número de animais em lactação resultando em um índice que representa os gastos médios com material de ordenha por vaca em lactação. Isto permite que possam ser realizadas simulações variando o número de animais do rebanho, sem que ocorram distorções em relação aos custos de produção.

O custo operacional efetivo (*COE*) foi calculado levando-se em consideração os gastos com mão-de-obra contratada, energia elétrica, combustíveis, medicamentos, hormônios, material para inseminação artificial, material para ordenha, manutenção de máquinas manutenção de benfeitorias, manutenção de forrageiras não anuais, impostos, taxas e alimentação dos animais. O inventário de máquinas e benfeitorias da propriedade, com valores corrigidos pelo *IGP-DI* de dezembro de 2007 está apresentado na Tabela 2.

O custo operacional total (*COT*) foi calculado somando-se ao *COE* os gastos com mão-de-obra familiar, depreciação de. A depreciação de máquinas, benfeitorias, forrageiras não anuais, reprodutores e animais de serviço foi calculada segundo Gomes (2000).

$$D_t = I - F \cdot \left[\frac{r}{(1+r)^n - 1} \right]$$

onde:

D = depreciação no tempo t de utilização do componente

I = valor inicial do componente

F = valor final, residual ou de sucata do componente

r = taxa de juros

n = vida útil do componente

Tabela 2 – Inventário de máquinas e benfeitorias da propriedade

Itens	Quantidade	Valor atual (R\$)	Vida útil (meses)
Benfeitorias			
Free Stall 1	1	102.535,00	300
Sala de ordenha	1	10.254,00	600
Instalação para tanque de expansão	1	5.127,00	360
Cobertura para manejo dos animais	1	5.127,00	180
Tronco	1	513,00	180
Sala de maquina	1	15.380,00	600
Silos	5	4.614,00	180
Instalação para energia elétrica ¹	1	10.254,00	240
Abrigo para bezerros	8	492,00	120
Depósito de ração	1	5.639,00	600
Cerca perimetral	-	5.127,00	120
Cerca interna	-	7.690,00	120
Silo para milho grão	1	8.203,00	240
Curral	1	5.127,00	480
Sala de espera	1	3.076,00	600
Free Stall 2	1	26.249,00	240
Muro do Free Stall	1	2.266,00	600
Free Stall 3	1	30.761,00	240
Máquinas			
Máquinas da fábrica de ração	1	10.752,00	240
Tanque de expansão	2	22.558,00	180
Botijão	1	2.051,00	180
Pulverizador	1	10.254,00	180
Carroça	2	1.641,00	120
Ordeneira mecânica	1	25.634,00	120
Extrator automático de teteira	1	16.406,00	180
Balança	1	308,00	120
Trator	1	6.150,00	120
Bomba de poço semi-artesiano e equipamentos	1	4.674,00	120
Grade	1	10.254,00	240
Ensiladeira	1	11.279,00	120
Equipamento de irrigação	1	7.177,00	120

Os valores foram corrigidos pelo IGP-DI de dezembro de 2007

O valor da taxa de juros foi considerado como 0,6782% ao mês, média dos rendimentos mensais da caderneta de poupança nos anos de 2005, 2006 e 2007. O custo total de produção (CT) foi calculado somando-se ao COT , a remuneração do capital investido em terras, benfeitorias, equipamentos e

animais. Para tal, foi considerado o valor atual de cada componente e a taxa de juros de 0,6782% ao mês.

A margem bruta (*MB*) da atividade foi calculada subtraindo-se o *COE* da renda bruta total (*RBT*). A margem líquida (*ML*) foi obtida pela diferença entre a *RBT* e o *COT*. Já o lucro da atividade foi estimado pela diferença entre a *RBT* e o *CT*. A taxa de remuneração do capital investido (*TRC*) foi calculada dividindo-se a *ML* pelo valor do capital imobilizado em benfeitorias, equipamentos e animais. A *TRC* foi calculada, também, considerando o capital imobilizado em terras. Os custos médios de produção por litro de leite (*COE*, *COT* e *CT*) foram calculados levando-se em consideração a proporcionalidade entre a renda do leite e a renda total da atividade, como recomendado por Gomes (2000).

Os preços do leite utilizados durante as simulações foram obtidos a partir da série de valores mensais recebidos por litro de leite, de dezembro de 2006 a novembro de 2007, presentes nos registros contábeis da empresa. Os valores foram corrigidos pelo IGP-DI de dezembro de 2007 (Tabela 3).

Tabela 3 – Preços do leite utilizados durante as simulações

Mês	Preço do leite (R\$/L)
Jan	0,580
Fev	0,568
Mar	0,599
Abr	0,619
Mai	0,619
Jun	0,659
Jul	0,848
Ago	1,002
Set	0,930
Out	0,820
Nov	0,761
Dez	0,750

2.3 – Avaliação do modelo

2.3.1 – Testes de sensibilidade

Para avaliar se o modelo de simulação funcionaria de forma coerente com o que seria esperado, foram obtidas as respostas médias de alguns indicadores zootécnicos, econômicos e de tamanho a variação dos seguintes itens:

- Área utilizada para produção de milho para silagem (50, 55, 60, 65 e 70 ha)
- Intervalo de partos (12, 13, 14, 15 e 16 meses)
- Idade a primeira inseminação (14, 16, 18 e 20 meses)

Para realização dos testes de sensibilidade o modelo foi programado para que, em cada cenário avaliado, o rebanho permanecesse estabilizado durante o tempo de simulação (120 meses). Em todas as simulações o período de lactação foi considerado como dez meses. Nas simulações referentes aos testes de sensibilidade para variação da área plantada e para idade a primeira inseminação, o modelo foi programado para intervalo de partos de 14 meses. Nos testes de sensibilidade para intervalo de partos e idade a primeira inseminação, a área plantada com milho para silagem foi fixada em 60 ha. Nos testes de sensibilidade para intervalo de partos e área plantada, a idade a primeira inseminação foi programada em 16 meses.

Para cada cenário avaliado, foram realizadas cinco simulações independentes, modificando-se aleatoriamente, a cada simulação, o valor da variável *Seed* do componente estocástico.

2.3.2 – Comparações entre os valores observados na realidade e gerados pelo modelo

Para avaliar a capacidade do modelo em gerar valores simulados que se aproximem da realidade foi medido o grau de associação linear entre os valores gerados pelo modelo e observados, utilizando-se o procedimento Proc Corr do SAS. Para tal foi calculado o coeficiente de correlação (r).

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \cdot (y_i - \bar{y})^2}}$$

onde:

x e y são valores observados e preditos, respectivamente.

As variáveis utilizadas foram:

- *número_total_de_animais*,
- *número_total_de_vacas*,
- *número_de_vacas_em_lactação* e
- *produção_diária_de leite*.

Os valores observados foram obtidos nos registros mensais da propriedade, de dezembro de 2006 a novembro de 2007. Como durante este período a propriedade expandiu a atividade, aumentando o número de animais, o modelo foi programado para que o rebanho não estivesse estabilizado e o número de animais aumentasse, proporcionalmente ao observado na prática.

A significância da correlação foi testada considerando as seguintes hipóteses estatísticas:

$$H_0: p = 0$$

$$H_1: p \neq 0$$

3 - Resultados e Discussão

3.1 – Testes de sensibilidade do modelo

3.1.1 – Respostas a variação da área utilizada para produção de milho para silagem

Os dados de desempenho dos animais e as rações de custo mínimo, formuladas para a avaliação das respostas do modelo a variação da área plantada com milho para produção de silagem, encontram-se nas Tabelas 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

Para bezerras no primeiro mês de vida o consumo de concentrado foi considerado insignificante e, portanto, assumido como nulo (Tabela 4). A mesma decisão foi tomada em relação ao consumo de silagem para bezerras no primeiro e segundo mês de vida. Para os animais do primeiro ao 16º mês

de vida, apesar de ter sido fixado um consumo máximo de concentrado de 2,0 kg por dia, à exceção dos animais com 3 e 4 meses de idade, o algoritmo de otimização encontrou soluções de custo mínimo, com o fornecimento de menor quantidade de concentrado.

O maior consumo de concentrado nos últimos meses de gestação das novilhas é decorrente das exigências de energia, proteína e minerais para gestação (Tabela 5). No modelo do NRC (2001), assume-se que estas exigências são insignificantes antes de 190 dias de gestação e aumentam exponencialmente nos últimos três meses de gestação. Portanto, seria esperada maior utilização de concentrado nesta fase.

Tabela 4 – Dados de desempenho e rações formuladas para animais do 1º ao 16º mês de vida

idade meses	Desempenho			Ração ¹							
	PC kg	GPM kg	Leite L	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1	43,6	0,362	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-
2	58,2	0,598	4,00	-	0,133	0,523	0,008	-	-	0,013	0,677
3	78,1	0,705	-	0,500	1,230	0,225	0,505	-	-	0,040	2,000
4	100,4	0,759	-	2,700	0,896	0,659	0,393	-	-	0,053	2,000
5	123,9	0,781	-	5,616	0,378	-	0,456	0,313	-	0,069	1,216
6	147,8	0,783	-	6,865	0,430	-	0,604	0,223	-	0,063	1,320
7	171,4	0,770	-	8,159	0,448	-	0,743	0,131	-	0,056	1,379
8	194,6	0,747	-	9,477	0,434	-	0,868	0,043	-	0,051	1,396
9	216,9	0,719	-	10,722	0,264	0,376	0,798	-	0,004	0,005	1,446
10	238,4	0,687	-	12,119	0,292	-	0,956	-	-	0,042	1,290
11	258,8	0,654	-	13,305	-	0,529	0,793	-	-	0,040	1,362
12	278,2	0,620	-	14,553	-	0,623	0,622	-	0,017	0,038	1,300
13	296,6	0,586	-	15,777	-	0,665	0,471	-	0,032	0,036	1,204
14	314,0	0,553	-	16,971	-	0,665	0,337	-	0,045	0,034	1,081
15	330,4	0,521	-	17,607	-	0,910	0,120	-	0,059	0,042	1,131
16	345,8	0,490	-	19,250	-	0,563	0,119	-	0,070	0,030	0,781

PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Tabela 5 – Dados de desempenho e rações formuladas para novilhas em gestação

MG	Desempenho			Ração ¹					
	PC kg	GPM kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	U kg	MM kg	C kg
1	354,59	0,891	21,472	-	0,801	0,679	0,042	0,046	1,569
2	381,77	0,891	23,115	-	0,979	0,547	0,056	0,046	1,628
3	408,94	0,891	24,754	-	1,174	0,399	0,070	0,046	1,689
4	436,12	0,891	26,399	-	1,350	0,258	0,084	0,047	1,739
5	463,30	0,891	28,048	-	1,507	0,125	0,098	0,047	1,777
6	490,48	0,891	29,763	-	1,356	0,011	0,118	0,047	1,533
7	517,66	0,891	29,693	0,691	-	1,515	0,047	0,055	2,309
8	544,83	0,891	28,886	0,593	-	2,035	-	0,070	2,699
9	572,01	0,891	28,937	0,595	0,066	2,251	-	0,088	3,000

PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

A relação entre a produção de leite e o fornecimento de concentrado (L/C), para vacas em primeira lactação (Tabela 6), aumentou do primeiro para o segundo mês de lactação e, com exceção do oitavo mês, decresceu nos meses seguintes. O decréscimo desta relação ocorreu devido ao aumento das exigências de nutrientes por litro de leite produzido, uma vez que, como característica do modelo descrito no CNCPS 5.0, as concentrações de gordura e proteína do leite se elevam após o pico de lactação. Além disso, as exigências para ganho de peso aumentam com o avanço do período de lactação, devido à necessidade de reposição das reservas corporais. No caso das vacas em primeira lactação, além da reposição das reservas corporais há também exigências de nutrientes para crescimento. Por este motivo, a relação média entre a produção de leite e o fornecimento de concentrado foi menor para as vacas em primeira ordem de lactação (2,700), em comparação com as vacas em segunda ordem de lactação (3,185) e as em terceira ou maior ordem (3,181), o que demonstra coerência nos resultados (Tabelas 6, 7 e 8).

Tabela 6 – Dados de desempenho e rações formuladas para as vacas em 1ª ordem de lactação

ML	Desempenho						Ração ¹						L/C
	PL L	G %	P %	PC kg	VPC kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	MM kg	L/kg	
1	19,48	3,32	3,49	545,8	-0,302	17,593	4,409	-	2,620	0,373	0,357	2,51	
2	22,57	3,16	3,21	540,7	-0,038	28,759	1,362	2,890	2,009	0,587	0,335	3,14	
3	23,60	3,22	3,15	543,4	0,214	31,920	2,859	0,817	3,226	0,338	0,322	3,12	
4	23,29	3,36	3,16	551,7	0,339	33,702	3,388	-	3,735	0,192	0,307	3,06	
5	22,28	3,55	3,20	563,0	0,418	34,448	3,401	-	3,812	0,133	0,294	2,92	
6	20,93	3,76	3,26	576,4	0,477	35,131	3,153	0,204	3,744	0,108	0,281	2,79	
7	19,48	4,01	3,34	591,5	0,525	35,196	2,771	0,818	3,499	0,123	0,275	2,60	
8	18,03	4,29	3,42	607,9	0,567	38,241	2,418	-	3,763	0,035	0,238	2,79	
9	16,63	4,60	3,52	625,5	0,605	34,531	1,851	2,625	2,778	0,206	0,276	2,15	
10	15,32	4,94	3,63	644,2	0,641	33,916	1,371	3,730	2,351	0,264	0,281	1,92	

ML = mês de lactação; PL = produção média diária de leite; G = teor médio de gordura do leite; P = teor médio de proteína do leite; PC = peso corporal médio; VPC = variação média diária de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; MM = mistura mineral; L/C = relação entre a produção de leite e o fornecimento de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Tabela 7 – Dados de desempenho e rações formuladas para as vacas em 2ª ordem de lactação

ML	Desempenho						Ração ¹						L/C
	PL L	G %	P %	PC kg	VPC kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	MM kg	L/kg	
1	25,26	3,32	3,49	669,3	-0,849	28,010	1,090	2,851	1,487	1,188	0,454	3,57	
2	29,07	3,16	3,21	652,5	-0,271	34,729	1,297	3,625	2,158	0,933	0,442	3,44	
3	29,88	3,22	3,15	649,3	0,062	38,176	3,167	1,078	3,664	0,509	0,401	3,39	
4	28,85	3,36	3,16	653,6	0,221	39,978	3,635	0,146	4,170	0,362	0,375	3,32	
5	26,90	3,55	3,20	661,7	0,318	40,842	3,412	0,076	4,188	0,297	0,347	3,23	
6	24,60	3,76	3,26	672,2	0,386	41,086	2,844	0,528	3,933	0,291	0,348	3,10	
7	22,25	4,01	3,34	684,6	0,438	40,884	2,182	1,300	3,536	0,308	0,310	2,91	
8	20,00	4,29	3,42	698,4	0,481	44,929	1,603	-	3,887	0,170	0,250	3,38	
9	17,92	4,60	3,52	713,4	0,519	43,877	0,892	1,295	3,309	0,224	0,248	3,00	
10	16,03	4,94	3,63	729,5	0,553	41,950	0,184	3,052	2,583	0,308	0,260	2,51	

ML = mês de lactação; PL = produção média diária de leite; G = teor médio de gordura do leite; P = teor médio de proteína do leite; PC = peso corporal médio; VPC = variação média diária de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; MM = mistura mineral; L/C = relação entre a produção de leite e o fornecimento de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Tabela 8 – Dados de desempenho e rações formuladas para as vacas em 3ª ou maior ordem de lactação

ML	Desempenho					Ração ¹						
	PL L	G %	P %	PC kg	VPC kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	MM kg	L/C L/kg
1	27,18	3,32	3,49	669,3	-0,849	28,220	2,697	0,858	2,419	1,069	0,464	3,62
2	30,94	3,16	3,21	652,5	-0,271	34,606	2,046	3,383	2,458	0,934	0,466	3,33
3	31,04	3,22	3,15	649,3	0,062	38,094	3,685	0,912	3,871	0,493	0,415	3,31
4	29,34	3,36	3,16	653,6	0,221	39,942	3,862	0,073	4,262	0,353	0,381	3,29
5	26,94	3,55	3,20	661,7	0,318	40,839	3,430	0,070	4,195	0,297	0,348	3,23
6	24,41	3,76	3,26	672,2	0,386	41,100	2,755	0,556	3,897	0,295	0,347	3,11
7	21,97	4,01	3,34	684,6	0,438	40,905	2,052	1,342	3,482	0,312	0,306	2,93
8	19,72	4,29	3,42	698,4	0,481	45,037	1,472	-	3,847	0,172	0,246	3,44
9	17,67	4,60	3,52	713,4	0,519	43,896	0,772	1,335	3,258	0,228	0,246	3,03
10	15,82	4,94	3,63	729,5	0,553	41,967	0,083	3,086	2,540	0,310	0,257	2,52

ML = mês de lactação; PL = produção média diária de leite; G = teor médio de gordura do leite; P = teor médio de proteína do leite; PC = peso corporal médio; VPC = variação média diária de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; MM = mistura mineral; L/C = relação entre a produção de leite e o fornecimento de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Assim como para novilhas em gestação, para animais dos módulos *Vacas_secas_1*, 2, 3, 4 e 5, o fornecimento de concentrado foi maior nos últimos meses de gestação (Tabelas 9 e 10). O maior fornecimento de concentrado no módulo *Vacas_secas_1* é devido a maiores exigências para ganho de peso, uma vez que estes animais ainda estão em fase de crescimento.

Tabela 9 – Dados de desempenho e rações formuladas para os animais do módulo *Vacas_secas_1*

MS	MG	Desempenho			Ração ¹					
		PC kg	GPM kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	U kg	MM kg	C kg
1	6	665,76	0,800	36,876	0,308	0,676	0,917	0,098	0,051	2,051
2	7	689,76	0,800	37,999	-	1,134	0,766	0,101	0,060	2,060
3	8	713,76	0,800	37,501	-	0,821	1,305	0,066	0,074	2,266
4	9	737,76	0,800	34,825	-	1,230	1,750	0,020	0,095	3,095

MS = mês do período entre duas lactações; MG = mês de gestação; PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Tabela 10 – Dados de desempenho e rações formuladas para os animais dos módulos *Vacas_secas_2, 3, 4 e 5*

MS	MG	Desempenho				Ração ¹				
		PC kg	GPM kg	SM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1	6	747,50	0,650	39,425	1,065	0,250	-	0,140	0,054	1,510
2	7	767,00	0,650	39,218	0,740	0,591	-	0,120	0,060	1,511
3	8	786,50	0,650	39,345	0,577	0,857	-	0,115	0,076	1,624
4	9	806,00	0,650	38,193	1,665	0,364	0,250	0,114	0,102	2,494

MS = mês do período entre duas lactações; MG = mês de gestação; PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

A Figura 9 representa o efeito da área plantada com milho para silagem sobre as médias mensais da produção diária de leite da propriedade, durante 120 meses de simulação. Como os rebanhos estavam estabilizados observa-se que não houve tendência para aumento ou redução da produção de leite. Assim, a variação da produção de leite dentro de cada área fixada para plantio de milho para silagem refere-se exclusivamente ao componente aleatório de distribuição normal da variável estocástica.

Observa-se nítido efeito da área plantada sobre a produção de leite. Isto ocorre, pois o modelo de simulação regula o tamanho do rebanho de acordo com a disponibilidade de forragem. Essa auto-regulação está baseada na pressuposição de que não há possibilidade de compra de alimentos volumosos no mercado, ou que a compra destes não seria economicamente desejável ou ainda que o déficit de alimentos volumosos não poderia ser suprido, em parte, por maior fornecimento de alimentos concentrados. Embora esta pressuposição possa não ser absolutamente correta, torna-se aceitável, partindo-se da conceituação de que a simulação é uma simplificação da realidade.

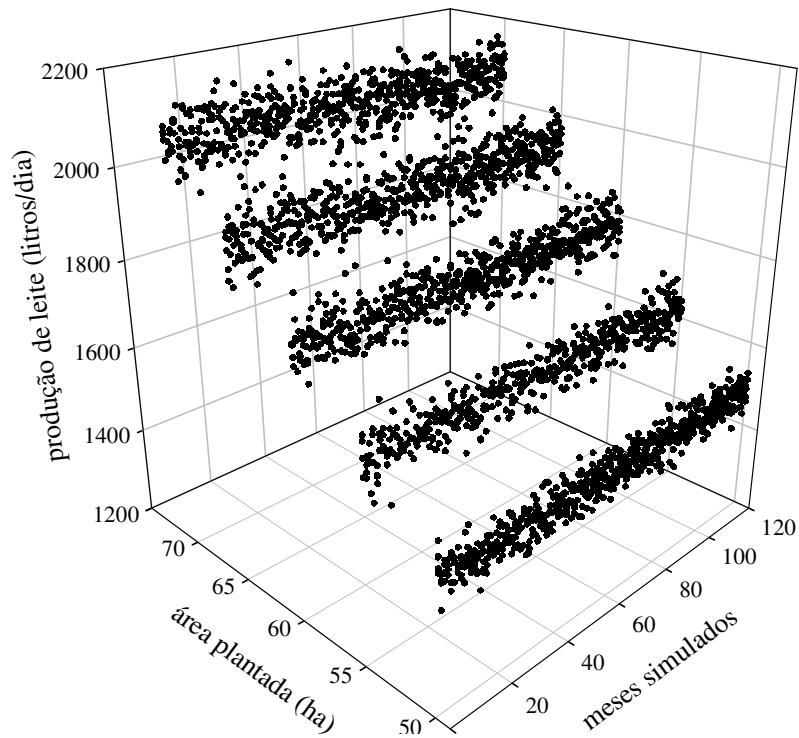


Figura 9 – Efeito da área utilizada para plantio de milho para silagem sobre a produção de leite média diária simulada durante 120 meses.

A Tabela 11 apresenta o comportamento dos valores médios, correspondentes a 120 meses de simulação, dos indicadores de tamanho, zootécnicos e econômicos em resposta à variação na área utilizada para plantio de milho para silagem. Como seria esperado, todos os indicadores de tamanho sofreram reduções nos seus valores em resposta à diminuição da área plantada com milho, o que é uma evidência do funcionamento adequado do modelo de simulação.

Com exceção da produtividade anual da mão de obra e da produtividade anual da terra, todos os indicadores Zootécnicos foram insensíveis a variação do tamanho da área utilizada para produção de milho, o que está de acordo com o que seria esperado, pois a estrutura do rebanho não deveria ser alterada por modificações no tamanho da área utilizada para

a atividade. Apesar de, no modelo de simulação, o número de *dias_homem* (*dh*) do ordenhador e ajudante do ordenhador terem sido considerados como proporcionais ao número de vacas em lactação, e o número de *dh* da mão-de-obra temporária ter sido considerado como proporcional ao número de animais do rebanho, a redução da produtividade anual da mão-de-obra, em resposta a diminuição da área plantada, ocorreu em virtude da mão-de-obra familiar ter sido considerada como constante. Foi considerado dessa forma, pois um empresário teria maior dificuldade para demitir um membro da família ou requisitar a mão-de-obra adicional de um familiar.

A produtividade anual da terra variou com a área utilizada, pois as áreas não destinadas ao plantio de milho, como as de construções, estradas e outros foram consideradas constantes, já que essas áreas dificilmente poderiam ser destinadas a outras atividades.

A relação *L/C* situou-se muito próxima de 3,00, valor largamente recomendado como prática de manejo no Brasil. Isto atribui maior crédito ao modelo de simulação de Ávila (2004) que, como simplificação, assumiu que a quantidade de concentrado fornecida para as vacas em lactação seria de 1,0 kg de matéria natural (*MN*) para cada 3,0 litros de leite produzidos. Entretanto, essa relação nem sempre assume tal valor, pois é dependente, dentre outros fatores, do tipo de volumoso utilizado, como demonstrado por Rennó (2005). Possivelmente, uma simplificação desta natureza seria mais adequada, considerando a influência do tipo de volumoso utilizado. Isto certamente reduziria bastante o trabalho do pesquisador e tornaria o modelo mais ágil sem, provavelmente, perder em precisão dos resultados.

Outra fonte de variação para a relação leite:concentrado seria o teor de sólidos do leite, visto que o percentual de gordura e proteína do leite alteraram as exigências de energia e proteína por litro de leite produzido. Desta forma, simplificações deveriam levar em consideração também o grupo genético utilizado.

Os teores simulados de gordura e proteína do leite foram, respectivamente, 3,72 % e 3,31 %. Esses resultados foram próximos aos valores médios de 3,69% de gordura e 3,24 % de proteína observados por Ribas et al. (2004), que analisaram 257.540 amostras de leite retiradas de tanques de expansão de propriedades que utilizam animais da raça Holandesa, nos estados do Paraná, São Paulo e Santa Catarina.

Os valores dos indicadores econômicos renda bruta do leite (*RBL*) e renda bruta total (*RBT*) acompanharam a variação da área plantada, enquanto o percentual da renda bruta do leite na renda bruta total ($((RBL/RBT) \times 100)$) não foi alterado. Isso ocorreu, pois o número de vacas e novilhas descartadas também variou proporcionalmente à área plantada.

Embora o valor do custo operacional efetivo (*COE*) tenha acompanhado o aumento da área plantada, o custo operacional efetivo médio do leite (*COEm*) não sofreu variação. Esse comportamento é explicado pelo caráter variável dos componentes do *COE*, para os quais, excetuando-se os gastos com alimentos, foram estabelecidos índices de proporcionalidade de acordo com o número de vacas em lactação ou com o número total de animais.

Tabela 11 – Comportamento dos indicadores de tamanho, zootécnicos e econômicos em resposta a variação na área utilizada para plantio de milho para silagem.

	un.	Área total plantada com milho para silagem (ha/ano)				
		50	55	60	65	70
Indicadores de tamanho						
Vacas em lactação (VL)	nº	64,90	71,39	77,88	84,37	90,86
Total de vacas (TV)	nº	84,28	92,71	101,13	109,56	117,99
Total de bezerras e novilhas (TN)	nº	77,30	85,03	92,75	100,48	108,21
Total de animais (TA)	nº	161,57	177,73	193,89	210,05	226,20
Vacas descartadas (VD)	nº/ano	19,76	21,73	23,71	25,68	27,66
Novilhas descartadas (ND)	nº/ano	17,24	18,96	20,69	22,41	24,14
Produção de leite (PL)	L/ano	544.002,6	598.402,9	652.803,2	707.203,4	761.603,7
Utilização de concentrado ¹	kg/ano	233.496,4	256.846,1	280.195,7	303.545,3	326.895,0
Mão-de-obra (MO)	dh/ano	1.058,37	1.134,20	1.210,04	1.285,88	1.361,71
Indicadores zootécnicos						
PL/VL	L/dia	22,99	22,99	22,99	22,99	22,99
PL/TV	L/dia	17,70	17,70	17,70	17,70	17,70
Relação leite concentrado (L/C) ²	L/kg ¹	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02
Produtividade do concentrado ³	L/kg	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33
Relação VL/TV	nº/ nº	0,7701	0,7701	0,7701	0,7701	0,7701
Relação VL/TA	nº/ nº	0,4017	0,4017	0,4017	0,4017	0,4017
Taxa de descarte de vacas	VD/TV	0,2344	0,2344	0,2344	0,2344	0,2344
Taxa de descarte de novilhas	ND/TN	0,2230	0,2230	0,2230	0,2230	0,2230
Produtividade anual da MO	L/dh	514,00	527,60	539,49	549,98	559,30
Produtividade anual da terra	L/ha	9.714,33	9.809,89	9.890,96	9.960,61	10.021,10
Indicadores econômicos						
Renda bruta do leite (RBL)	R\$/ano	385.451,6	423.996,8	462.542,0	501.087,1	539.632,3
Renda bruta total (RBT)	R\$/ano	450.033,0	495.036,3	540.039,6	585.043,0	630.046,2
(RBL/RBT) x 100	%	85,6490	85,6490	85,6490	85,6490	85,6490
Custo operacional efetivo (COE)	R\$/ano	317.779,5	349.557,4	381.335,4	413.113,3	444.891,3
Custo operacional total (COT)	R\$/ano	393.820,2	425.598,2	457.376,1	489.154,1	520.932,0
Custo total (CT)	R\$/ano	455.732,8	490.566,7	525.400,5	560.234,4	595.068,3
COE médio do leite (COEm)	R\$/L	0,5003	0,5003	0,5003	0,5003	0,5003
COT médio do leite (COTm)	R\$/L	0,6201	0,6092	0,6001	0,5924	0,5858
CT médio do leite (CTm)	R\$/L	0,7175	0,7022	0,6893	0,6785	0,6692
Margem bruta (MB)	R\$/ano	132.253,5	145.478,9	158.704,3	171.929,6	185.155,0
Margem líquida (ML)	R\$/ano	56.212,8	69.438,2	82.663,5	95.888,9	109.114,2
Lucro	R\$/ano	-5.699,80	4.469,66	14.639,11	24.808,56	34.977,96
Remuneração do capital ⁴	%/ano	9,1670	10,8900	12,4860	13,9680	15,3500
Remuneração do capital ⁵	%/ano	7,3870	8,6960	9,8870	10,9770	11,9760

dh = dias homem; un = unidade;

¹ Matéria natural;

² Concentrado utilizado para vacas em lactação;

³ Concentrado utilizado para todo rebanho;

⁴ Sem remuneração do fator terra;

⁵ Com remuneração do fator terra.

O custo operacional total (COT) e o custo total (CT) também variaram proporcionalmente a área plantada. Entretanto, a totalidade da variação do COT e grande parte da variação do CT são devidas ao COE, visto que a mão-de-obra familiar, a depreciação de máquinas, benfeitorias, forrageiras não

anuais e animais de serviço e o capital investido em máquinas e benfeitorias foram considerados constantes. Em razão do caráter constante das depreciações, da mão de obra familiar e do capital investido em máquinas e benfeitorias, o custo operacional total médio do leite (*COTm*) e o custo total médio do leite (*CTm*) foram reduzidos com o aumento da área utilizada na atividade.

Os valores positivos da margem bruta (*MB*) indicam que, ao menos em curto prazo, considerando todos os tamanhos fixados para a área destinada ao plantio de milho, o empreendimento é economicamente viável. Em todas as áreas fixadas, a margem líquida (*ML*) positiva demonstra que a mão-de-obra familiar está sendo remunerada, que os valores de desgaste e obsolescência das máquinas, benfeitorias e forrageiras não anuais estão sendo repostos e que há remuneração do capital investido na atividade. Entretanto, quando apenas 50 hectares foram destinados para plantio de milho para silagem a propriedade operou em lucro negativo o que significa que o capital investido foi remunerado a taxas menores que as de mercado.

A variação de um hectare de área plantada com milho para silagem correspondeu à variação média de, aproximadamente, 10.880 litros de leite por ano e de R\$ 1.949,00 de lucro anual. A partir dos dados gerados pode-se verificar que a condição de lucro normal ocorreria com a utilização de mais de 50 e menos de 55 hectares para plantio de milho para silagem. Quando o lucro é normal, o empreendimento remunera o capital investido a taxa equivalente a dos juros de oportunidade, configurando situação de equilíbrio (Oliveira et al., 2007).

3.1.2 – Respostas a variação do intervalo de partos

As exigências nutricionais das vacas do rebanho variam em função do intervalo de partos (*IP*). Por exemplo, considerando que as exigências de nutrientes para gestação aumentam significativamente nos últimos três meses de gestação (NRC, 2001), vacas de um rebanho com média de período de lactação de 10 meses e *IP* de 12 meses, apresentariam no décimo mês de lactação além das exigências de lactação e ganho de peso, também exigências de gestação. Além disso, nos dois meses de período de descanso apresentariam exigências nutricionais para ganho de peso e gestação. Por outro lado, considerando o mesmo período de lactação, um *IP* de 16 meses faria com que, em média, durante três meses do ciclo produtivo das vacas, não houvesse exigências de lactação e gestação, mas apenas de ganho de peso. Assim sendo, visando maior precisão dos resultados, as rações das vacas em período de descanso foram reformuladas, para cada *IP* fixado, a exceção do *IP* de 14 meses, cujas rações utilizadas foram as mesmas formuladas no item anterior. Na condição de *IP* de 12 meses, as rações do último mês de lactação também foram reformuladas. As rações reformuladas são apresentadas nas Tabelas 12, 13, 14 e 15.

Tabela 12 – Dados de desempenho e rações formuladas para os animais com intervalo de partos de 12 meses no último mês de lactação e nos dois meses do período de descanso.

MG	Desempenho			Ração ¹						
	PC kg	GPM kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1ª ordem de lactação										
7	644,2	0,641	33,710	2,518	3,381	2,712	0,409	-	0,305	9,325
8	665,8	0,800	33,035	0,004	0,597	1,888	-	0,011	0,072	2,500
9	689,8	0,800	32,894	-	1,021	1,844	-	0,008	0,093	2,870
2ª ordem de lactação										
7	729,46	0,553	41,755	1,229	2,731	2,919	0,471	-	0,283	7,634
8	747,50	0,650	37,363	-	0,457	1,124	-	0,084	0,072	1,670
9	767,00	0,650	37,324	-	1,060	0,606	0,290	0,113	0,098	2,070
3ª ou maior ordem de lactação										
7	729,46	0,553	41,773	1,120	2,766	2,874	0,475	-	0,281	7,516
8	747,50	0,650	37,363	-	0,457	1,124	-	0,084	0,072	1,670
9	767,00	0,650	37,324	-	1,060	0,606	0,290	0,113	0,098	2,070

MG = mês de gestação; PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Na Tabela 12, o sétimo mês de gestação corresponde ao décimo mês de lactação, cujas produções médias diárias de leite das vacas em primeira, segunda e terceira ou maior ordens de lactação foram, respectivamente, 15,32, 16,03 e 15,82 litros. Com isso, as relações *L/C* para esses animais foram de 1,64, 2,09 e 2,10 litros por kg. Essas relações foram menores que as obtidas para o décimo mês de lactação das vacas com *IP* maior que 12 meses (1,92, 2,51 e 2,52 litros por kg, para as vacas em primeira, segunda e terceira ou maior ordens de lactação, respectivamente). As diferenças se devem às exigências de gestação no último mês de lactação das vacas com *IP* de 12 meses.

Na Figura 11 pode-se observar o efeito do *IP* sobre a produção média diária de leite durante os 120 meses de simulação. Dentro de cada *IP* fixado não houve tendência para aumento ou redução da produção de leite ao longo dos meses simulados, e a variação da produção média diária entre os meses

segue um padrão aleatório, com distribuição normal. Entre os intervalos de parto observou-se redução da produção de leite média diária com o aumento do *IP*, o que está de acordo com o esperado.

Tabela 13 – Dados de desempenho e rações formuladas para os animais com intervalo de partos de 13 meses nos três meses do período de descanso.

MG	Desempenho					Ração ¹				
	PC kg	GPM kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1ª ordem de lactação										
7	665,76	0,800	36,827	-	1,034	0,847	-	0,091	0,060	1,973
8	689,76	0,800	34,966	-	1,019	1,436	-	0,044	0,077	2,500
9	713,76	0,800	34,074	-	1,296	1,636	-	0,029	0,96	2,960
2ª ou maior ordem de lactação										
7	747,50	0,650	37,710	-	0,951	0,636	-	0,109	0,061	1,695
8	767,00	0,650	37,852	-	0,795	0,789	0,081	0,100	0,077	1,764
9	786,50	0,650	37,787	-	1,440	0,190	0,341	0,124	0,103	2,095

MG = mês de gestação; PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Tabela 14 – Dados de desempenho e rações formuladas para os animais com intervalo de partos de 15 meses nos cinco meses do período de descanso.

MG	Desempenho					Ração ¹				
	PC kg	GPM kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1ª ordem de lactação										
5	665,76	0,800	36,876	0,308	0,676	0,917	-	0,098	0,051	2,051
6	689,76	0,800	38,953	-	1,399	0,481	-	0,121	0,054	2,000
7	713,76	0,800	36,019	-	1,285	1,215	-	0,061	0,083	2,561
8	737,76	0,800	37,435	-	1,167	1,224	-	0,067	0,078	2,458
9	761,76	0,800	36,715	-	1,572	1,267	-	0,071	0,124	2,911
2ª ou maior ordem de lactação										
5	747,50	0,650	39,425	-	1,065	0,250	-	0,140	0,054	1,510
6	767,00	0,650	39,548	-	1,267	0,181	-	0,143	0,057	1,592
7	786,50	0,650	39,354	-	0,604	0,765	-	0,111	0,075	1,480
8	806,00	0,650	38,228	-	1,762	0,034	-	0,135	0,103	2,166
9	825,50	0,650	39,127	-	1,732	0,282	0,250	0,122	0,103	2,386

MG = mês de gestação; PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Tabela 15 – Dados de desempenho e rações formuladas para os animais com intervalo de partos de 16 meses nos seis meses do período de descanso.

MG	Desempenho					Ração ¹				
	PC kg	GPM kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1ª ordem de lactação										
4	665,76	0,800	36,876	0,308	0,676	0,917	-	0,098	0,051	2,051
5	689,76	0,800	38,953	-	1,399	0,481	-	0,121	0,054	2,000
6	713,76	0,800	38,953	-	1,834	0,293	-	0,143	0,113	2,271
7	737,76	0,800	39,853	-	1,799	0,268	-	0,134	0,115	2,202
8	761,76	0,800	39,853	0,029	1,839	0,591	-	0,124	0,114	2,582
9	785,76	0,800	38,180	0,164	1,408	1,361	-	0,066	0,129	3,000
2ª ou maior ordem de lactação										
4	747,50	0,650	39,425	-	1,065	0,250	-	0,140	0,054	1,510
5	767,00	0,650	39,548	-	1,267	0,181	-	0,143	0,057	1,592
6	786,50	0,650	39,665	-	1,442	0,132	-	0,145	0,112	1,719
7	806,00	0,650	40,396	-	1,394	0,369	-	0,148	0,113	1,911
8	825,50	0,650	39,956	-	1,250	0,732	-	0,123	0,080	2,104
9	844,00	0,650	39,467	-	2,098	-	0,291	0,138	0,108	2,528

MG = mês de gestação; PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

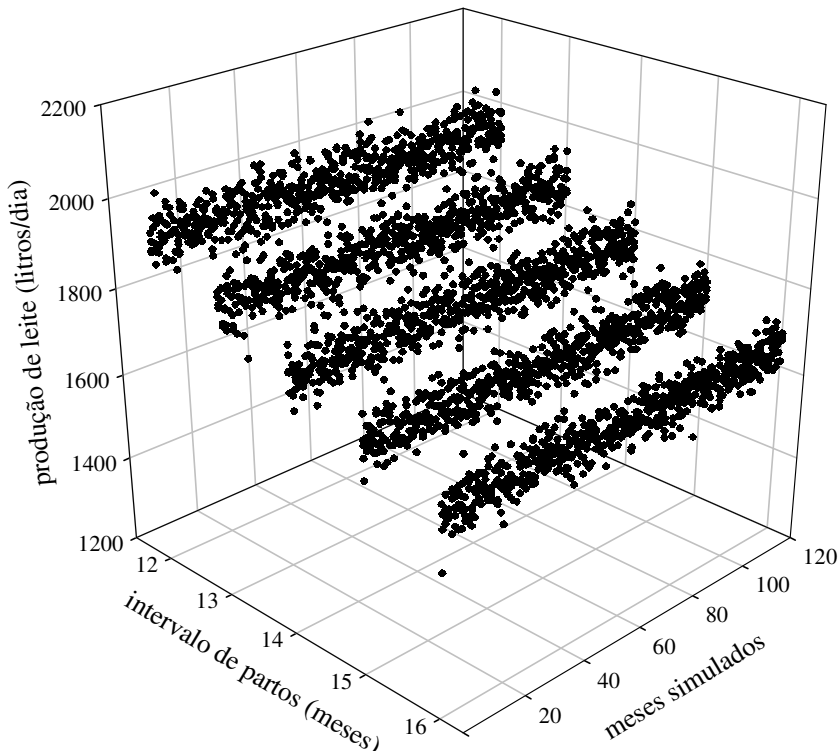


Figura 10 – Efeito do intervalo de partos sobre a produção de leite média diária simulada durante 120 meses.

O comportamento dos indicadores de tamanho, Zootécnicos e Econômicos em resposta a variação no intervalo de partos encontra-se na Tabela 16. A produção de leite aumentou cerca de 4,2%, em média, com a diminuição de cada mês de *IP*. A redução do *IP* de 15 para 12 meses resultou em aumento de 13,5% na produção anual de leite. Oliveira (1999) estudando a rentabilidade de propriedades produtoras de leite da região de Viçosa-MG observou que a redução do *IP* de 15 para 12 meses correspondeu a cerca de 15% de aumento na produção de leite, valor muito próximo ao observado no presente estudo. Já Ávila (2004) observou incrementos que variaram de 3,4 a 3,9% na produção anual de leite, em resposta a redução do *IP* de 15 para 12 meses.

Com o aumento do *IP* o número de vacas em lactação (*VL*) foi reduzido, enquanto o número total de vacas (*TV*), e conseqüentemente o número de vacas secas, aumentou. Como resultado, a relação entre o número de vacas em lactação e o número total de vacas (*VL/TV*) diminuiu em resposta ao aumento do *IP*, o que era esperado.

O número total de animais (*TA*) sofreu reduções com o aumento do *IP*. Em condições reais, espera-se que isso aconteça devido ao menor número de nascimentos. No modelo de simulação, outro fator que contribuiu para a redução do *TA*, com o aumento do *IP*, foi o acréscimo do número total de vacas, visto que o *TA* é regulado pela relação entre a demanda e a disponibilidade de forragem, e como vacas secas e vacas em lactação são as categorias que apresentam maior consumo de forragem, maior número total de vacas, em relação ao número total de animais, implica em maior consumo médio de forragem por animal do rebanho.

Como os descartes das vacas são realizados após o término das lactações, menor número de vacas em lactação implica em menor número de vacas descartadas. Além disso, como o número máximo de lactações foi estabelecido em seis, todas as vacas que não são descartadas em lactações anteriores são vendidas após a sexta lactação. Isto significa que, o acréscimo do *IP* implica no aumento do tempo de permanência médio das vacas no rebanho e conseqüentemente na redução da taxa de descarte de vacas.

A utilização de mão-de-obra foi reduzida com o aumento do *IP*, devido à diminuição no número de vacas em lactação e do número total de animais, aos quais estão associados os *dias-homem (dh)* do ordenhador e dos trabalhadores temporários, respectivamente.

A relação leite concentrado (*L/C*) foi menor para as vacas com *IP* de 12 meses. Como esperado, isso ocorreu devido às exigências de gestação durante o décimo mês de lactação desses animais. A produtividade do concentrado diminuiu com o aumento do *IP*, à exceção do *IP* de 12 meses e do *IP* de 13 meses, para os quais foi igual. Isso ocorreu, pois embora no *IP* de 13 meses tenha sido observada maior utilização de concentrado com vacas no período de descanso, no *IP* de 12 meses houve maior utilização de concentrado com vacas em lactação.

Como esperado, o aumento do intervalo de partos provocou reduções na renda bruta do leite (*RBL*) e na renda bruta total (*RBT*). A porcentagem da *RBL* na *RBT*, entretanto, não foi alterada, pois o número de novilhas e vacas descartadas variou na mesma proporção da quantidade de leite vendida.

Tabela 16 – Comportamento dos indicadores de tamanho, zootécnicos e econômicos em resposta a variação no intervalo de partos.

	un.	Intervalo de partos (meses)				
		12	13	14	15	16
Indicadores de tamanho						
Vacas em lactação (VL)	n°	84,96	81,18	77,88	74,85	72,04
Total de vacas (TV)	n°	97,64	99,35	101,13	102,78	104,30
Total de bezerras e novilhas (TN)	n°	101,18	96,68	92,75	89,14	85,79
Total de animais (TA)	n°	198,82	196,03	193,89	191,92	190,09
Vacas descartadas (VD)	n°/ano	25,86	24,71	23,71	22,78	21,93
Novilhas descartadas (ND)	n°/ano	22,57	21,56	20,69	19,88	19,13
Produção de leite (PL)	L/ano	712.089,5	680.406,7	652.803,2	627.352,0	603.811,0
Utilização de concentrado ¹	kg/ano	299.033,3	286.058,9	280.195,7	274.789,6	269.789,3
Mão-de-obra (MO)	dh/ano	1.284,54	1.244,63	1.210,04	1.178,15	1.148,65
Indicadores zootécnicos						
PL/VL	L/dia	22,99	22,99	22,99	22,99	22,99
PL/TV	L/dia	20,00	18,78	17,70	16,74	15,87
Relação leite concentrado (L/C) ²	L/kg ¹	2,97	3,02	3,02	3,02	3,02
Produtividade do concentrado ³	L/kg	2,38	2,38	2,33	2,28	2,24
Relação VL/TV	n°/ n°	0,8701	0,8171	0,7701	0,7282	0,6907
Relação VL/TA	n°/ n°	0,4273	0,4141	0,4017	0,3900	0,3790
Taxa de descarte de vacas	VD/TV	0,2648	0,2487	0,2344	0,2217	0,2102
Taxa de descarte de novilhas	ND/TN	0,2230	0,2230	0,2230	0,2230	0,2230
Produtividade anual da MO	L/dh	554,35	546,67	539,49	532,49	525,67
Produtividade anual da terra	L/ha	10.789,23	10.309,19	9.890,96	9.505,34	9.148,65
Indicadores econômicos						
Renda bruta do leite (RBL)	R\$/ano	504.549,1	482.212,7	462.649,8	444.612,2	427.928,4
Renda bruta total (RBT)	R\$/ano	589.085,0	562.987,3	540.147,4	519.088,5	499.609,9
(RBL/RBT) x 100	%	85,6490	85,6510	85,6510	85,6510	85,6510
Custo operacional efetivo (COE)	R\$/ano	396.460,0	386.609,9	381.337,5	376.476,3	371.979,8
Custo operacional total (COT)	R\$/ano	472.500,7	462.650,7	457.378,3	452.517,0	448.020,6
Custo total (CT)	R\$/ano	540.592,7	530.681,1	525.402,7	520.535,9	516.034,3
COE médio do leite (COEm)	R\$/L	0,4769	0,4867	0,5003	0,5140	0,5277
COT médio do leite (COTm)	R\$/L	0,5683	0,5824	0,6001	0,6178	0,6355
CT médio do leite (CTm)	R\$/L	0,6502	0,6681	0,6894	0,7107	0,7320
Margem bruta (MB)	R\$/ano	192.625,0	176.377,4	158.809,9	142.612,2	127.630,1
Margem líquida (ML)	R\$/ano	116.584,3	100.336,7	82.769,2	66.571,4	51.589,4
Lucro	R\$/ano	48.492,2	32.306,3	14.744,7	-1.447,4	-16.424,4
Remuneração do capital ⁴	%/ano	17,5850	15,1540	12,5020	10,0560	7,7940
Remuneração do capital ⁵	%/ano	13,9290	11,9990	9,8990	7,9620	6,1710

dh = dias homem; un = unidade;

¹ Matéria natural;

² Concentrado utilizado para vacas em lactação;

³ Concentrado utilizado para todo rebanho;

⁴ Sem remuneração do fator terra;

⁵ Com remuneração do fator terra.

No submodelo de custos de produção a maior parte dos componentes do custo operacional efetivo (COE) está associada com o número de vacas em lactação ou com o número total de animais. Como tanto o número de vacas em lactação, quanto o número total de animais foram reduzidos com o

aumento do *IP*, era esperado que o *COE* se comportasse da mesma maneira, o que de fato se confirmou. Contudo, o custo operacional efetivo médio do leite (*COEm*) sofreu incrementos em resposta ao aumento do *IP*, devido a queda da quantidade de leite produzido, efeito da escala de produção.

O custo operacional total (*COT*) e o custo total (*CT*) seguiram a mesma tendência do *COE*, enquanto o custo operacional total médio do leite (*COTm*) e o custo total médio do leite (*CTm*) comportaram-se como o *COEm*, o que era esperado, devido ao caráter fixo da mão-de-obra familiar, das depreciações e do capital investido em benfeitorias, máquinas e terras.

O aumento de um mês no *IP* correspondeu, em média, a diminuição de aproximadamente R\$ 16.230,00 no lucro anual da empresa e os *IPs* de 15 e 16 meses produziram lucro anual negativo, com remuneração do capital investido na atividade, porém, a taxas inferiores aos juros de oportunidade.

3.1.3 – Respostas a variação da idade a primeira inseminação.

A idade em que as fêmeas atingem o peso mínimo para a primeira inseminação (*I^aIA*), considerado no modelo como 50% do peso a maturidade, depende da taxa de ganho de peso corporal das mesmas. Como as exigências nutricionais dos animais em crescimento são dependentes do peso corporal e do ganho de peso corporal, foi necessário calcular novas rações para os animais, considerando cada idade a *I^aIA* utilizada na avaliação.

Os dados de desempenho e as rações calculadas considerando as idades a *I^aIA* de 14, 18 e 20 meses, encontram-se nas Tabelas 17, 18 e 19, respectivamente. Os dados de desempenho e as rações formuladas para o

cenário em que as fêmeas atingem o peso corporal mínimo para a 1ªIA com 16 meses foram os mesmos demonstrados na Tabela 4.

Os diferentes desempenhos dos animais foram obtidos por meio de modificações no valor do parâmetro k do modelo de crescimento de Lopez et al. (2004), cujo significado biológico corresponde à idade em que os animais atingem 50% do peso corporal a maturidade.

Como pode ser observado, por meio da comparação dos dados das Tabelas 4, 17, 18 e 19, quanto menor a idade a 1ªIA, maior o ganho de peso médio diário dos animais e, conseqüentemente, maior a quantidade de concentrado fornecida, diariamente, por animal.

Tabela 17 – Dados de desempenho e rações formuladas para bezerras e novilhas, considerando 14 meses como a idade em que as fêmeas atingem o peso mínimo para primeira inseminação.

idade meses	Desempenho			Ração ¹							
	PC kg	GPM kg	Leite L	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1	44,7	0,433	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-
2	62,1	0,708	4,00	-	0,515	0,141	0,156	-	-	0,019	0,812
3	85,5	0,825	-	0,500	1,078	0,976	0,393	-	-	0,053	2,500
4	111,4	0,876	-	2,700	0,960	1,137	0,340	-	-	0,063	2,500
5	138,4	0,889	-	6,341	0,474	-	0,546	0,325	-	0,076	1,421
6	165,3	0,878	-	7,790	0,527	-	0,718	0,212	-	0,068	1,525
7	191,7	0,852	-	9,279	0,511	-	0,849	0,138	-	0,060	1,558
8	217,1	0,816	-	10,778	0,471	-	0,981	0,040	-	0,053	1,546
9	241,4	0,775	-	12,209	0,257	0,287	0,975	-	-	0,051	1,569
10	264,3	0,731	-	13,553	-	0,860	0,734	-	0,004	0,046	1,644
11	285,9	0,687	-	14,962	0,051	0,937	0,504	-	0,031	0,044	1,568
12	306,2	0,644	-	16,391	0,252	0,687	0,331	-	0,056	0,042	1,368
13	325,2	0,602	-	17,644	-	1,040	0,175	-	0,055	0,039	1,308
14	343,0	0,563	-	18,925	-	0,987	0,040	-	0,069	0,036	1,134

PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Por meio da Figura 12, pode ser observado o efeito do da idade a 1ª IA sobre a produção média diária de leite durante os 120 meses de simulação. Como o rebanho estava estabilizado, é possível observar que, dentro de cada idade a 1ª IA fixada, a variação da produção média diária entre os meses é consequência do efeito do componente aleatório do modelo de simulação. Observa-se redução da produção média diária de leite, em resposta ao aumento da idade a 1ª IA.

Tabela 18 – Dados de desempenho e rações formuladas para bezerras e novilhas, considerando 18 meses como a idade em que as fêmeas atingem o peso mínimo para primeira inseminação.

idade meses	Desempenho			Ração ¹							
	PC kg	GPM kg	Leite L	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1	42,7	0,306	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-
2	55,2	0,510	4,00	-	0,024	0,396	0,036	-	-	0,028	0,456
3	72,2	0,606	-	0,500	0,915	0,477	0,371	-	-	0,037	1,800
4	91,5	0,660	-	2,700	-	1,889	0,014	-	-	0,055	1,958
5	112,1	0,688	-	5,036	0,319	-	0,338	0,328	-	0,074	1,059
6	133,2	0,697	-	6,116	0,357	-	0,518	0,222	-	0,058	1,155
7	154,4	0,694	-	7,248	0,391	-	0,583	0,183	-	0,053	1,211
8	175,4	0,682	-	8,408	0,358	-	0,733	0,103	-	0,049	1,242
9	195,9	0,663	-	9,584	0,330	-	0,835	0,033	-	0,045	1,243
10	215,8	0,641	-	10,678	0,105	0,410	0,780	-	-	0,042	1,338
11	235,0	0,616	-	11,812	-	0,598	0,696	-	0,001	0,040	1,335
12	253,3	0,590	-	12,942	-	0,733	0,529	-	0,015	0,039	1,315
13	270,9	0,563	-	14,060	-	0,820	0,379	-	0,029	0,037	1,264
14	287,7	0,536	-	15,161	-	0,865	0,244	-	0,041	0,036	1,187
15	303,6	0,509	-	16,239	-	0,875	0,125	-	0,054	0,034	1,088
16	318,7	0,483	-	17,296	-	0,837	0,031	-	0,064	0,059	0,991
17	333,1	0,458	-	18,437	0,316	0,225	0,016	-	0,084	0,031	0,671
18	346,7	0,434	-	19,366	-	0,469	0,027	-	0,077	0,027	0,599

PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Na Tabela 20 é apresentado o comportamento dos indicadores de tamanho, zootécnicos e econômicos em resposta a variação na idade a 1ª IA. O número de vacas em lactação, assim como o número total de vacas, diminuiu com o aumento da idade a 1ªIA. Porém, o número de bezerras e novilhas e o número total de animais aumentaram em resposta ao acréscimo da idade a 1ªIA.

Tabela 19 – Dados de desempenho e rações formuladas para bezerras e novilhas, considerando 20 meses como a idade em que as fêmeas atingem o peso mínimo para primeira inseminação.

idade meses	Desempenho			Ração ¹							
	PC kg	GPM kg	Leite L	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1	42,1	0,265	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-
2	52,9	0,444	4,00	-	-	0,086	0,161	-	-	0,013	0,257
3	67,8	0,532	-	0,500	0,134	1,708	-	-	-	0,046	1,888
4	84,8	0,584	-	2,181	0,456	1,118	-	0,101	-	0,049	1,724
5	103,1	0,613	-	4,596	0,266	0,013	0,295	0,304	-	0,074	0,952
6	122,0	0,627	-	5,550	0,306	-	0,458	0,214	-	0,054	1,031
7	141,1	0,630	-	6,552	0,314	-	0,549	0,176	-	0,050	1,088
8	160,3	0,625	-	7,586	0,316	-	0,650	0,115	-	0,046	1,127
9	179,2	0,613	-	8,640	0,300	-	0,744	0,055	-	0,043	1,141
10	197,6	0,598	-	9,706	0,304	-	0,771	0,015	-	0,040	1,130
11	215,6	0,579	-	10,690	0,031	0,403	0,741	-	-	0,038	1,214
12	232,9	0,559	-	11,710	-	0,600	0,585	-	0,008	0,037	1,229
13	249,7	0,538	-	12,737	-	0,708	0,444	-	0,020	0,036	1,207
14	265,7	0,516	-	13,755	-	0,776	0,317	-	0,037	0,035	1,164
15	281,1	0,494	-	14,758	-	0,818	0,199	-	0,043	0,033	1,093
16	295,9	0,472	-	15,745	-	0,828	0,094	-	0,054	0,032	1,008
17	309,9	0,450	-	16,755	-	0,605	0,139	-	0,057	0,029	0,831
18	323,3	0,430	-	17,709	-	0,517	0,090	-	0,065	0,027	0,700
19	336,1	0,409	-	18,629	-	0,463	0,016	-	0,074	0,026	0,579
20	348,3	0,390	-	19,451	-	0,213	0,093	-	0,071	0,074	0,450

PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

O aumento do número de bezerras e novilhas foi devido ao maior tempo de permanência de novilhas no rebanho, uma vez que, no modelo de simulação, grande parte das vendas ocorre após os animais atingirem o peso

mínimo para a I^{qIA} . A maior quantidade de novilhas resulta, inevitavelmente, em menor quantidade de vacas, visto que o modelo de simulação regula o número de animais pela relação entre a demanda e a disponibilidade de forragem. Outro reflexo do aumento da quantidade de novilhas, em relação a quantidade de vacas, é o aumento do número de animais do rebanho, uma vez que, como as novilhas consomem menor quantidade de forragem do que as vacas, o consumo de forragem médio por animal é reduzido.

O aumento da idade a I^{qIA} resultou em redução do número de vacas descartadas assim como de bezerras e novilhas descartadas. A diminuição do número de vacas descartadas foi devida à redução do número de vacas, pois a taxa de descarte de vacas não sofreu alteração. Já, a redução do número de novilhas descartadas é resultado do maior tempo de permanência destes animais no rebanho, o que se refletiu na diminuição da taxa de descarte de novilhas.

A produção de leite sofreu redução com o aumento da idade a I^{qIA} , devido a diminuição do número de vacas em lactação. O mesmo aconteceu com a utilização de alimentos concentrados. A redução da utilização de alimentos concentrados com o aumento da idade a I^{qIA} foi resultado da interação de diversos fatores, como aumento do número de novilhas, redução do fornecimento diário de concentrado por bezerras e novilhas e redução do número de vacas, principalmente das vacas em lactação, que consomem grande quantidade desses alimentos. Entretanto, a produtividade do concentrado pareceu não variar consistentemente, em resposta ao aumento da idade a I^{qIA} , devido a este aumento ter influenciado negativamente a produção de leite.

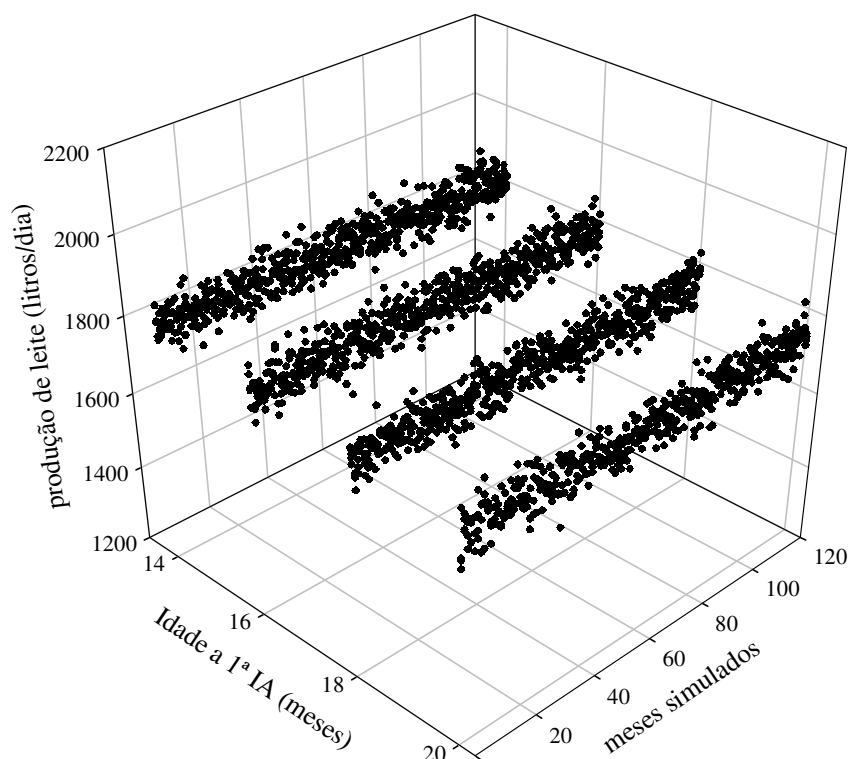


Figura 11 – Efeito da idade a primeira inseminação (I^qIA) sobre a produção de leite média diária simulada durante 120 meses.

A renda bruta do leite (RBL) e a renda bruta total (RBT), diminuiram na mesma proporção, em resposta ao aumento da idade a I^qIA , o que pode ser confirmado por meio do percentual da RBL na RBT , que não variou. Os valores do custo operacional efetivo (COE), do custo operacional total (COT) e do custo total (CT) foram reduzidos com o aumento da idade a I^qIA , devido, principalmente, a redução na utilização alimentos concentrados. Porém, os valores do custo operacional efetivo médio do leite ($COEm$), do custo operacional total médio do leite ($COTm$) e do custo total médio do leite (CTm) sofreram acréscimos com o aumento da idade a I^qIA , devido a redução da produção de leite.

Tabela 20 – Comportamento dos indicadores de tamanho, zootécnicos e econômicos em resposta a variação na idade a primeira inseminação.

	un.	Idade a primeira inseminação (meses)			
		14	16	18	20
Indicadores de tamanho					
Vacas em lactação (VL)	n°	79,13	77,88	76,71	75,59
Total de vacas (TV)	n°	102,75	101,13	99,61	98,15
Total de bezerras e novilhas (TN)	n°	86,72	92,75	98,64	104,38
Total de animais (TA)	n°	189,47	193,89	198,25	202,53
Vacas descartadas (VD)	n°/ano	24,08	23,71	23,35	23,01
Novilhas descartadas (ND)	n°/ano	21,02	20,69	20,38	20,08
Produção de leite (PL)	L/ano	663.521,0	652.803,2	642.962,2	633.539,9
Utilização de concentrado ¹	kg/ano	285.886,3	280.195,7	276.447,9	272.236,4
Mão-de-obra (MO)	dh/ano	1.219,74	1.210,04	1.201,00	1.192,41
Indicadores zootécnicos					
PL/VL	L/dia	22,91	22,99	22,99	22,99
PL/TV	L/dia	17,64	17,70	17,70	17,70
Relação leite concentrado (L/C) ²	L/kg ¹	3,02	3,02	3,02	3,02
Produtividade do concentrado ³	L/kg	2,32	2,33	2,33	2,33
Relação VL/TV	n°/n°	0,7701	0,7701	0,7701	0,7701
Relação VL/TA	n°/n°	0,4176	0,4017	0,3869	0,3732
Taxa de descarte de vacas	VD/TV	0,2344	0,2344	0,2344	0,2344
Taxa de descarte de novilhas	ND/TN	0,2424	0,2230	0,2066	0,1923
Produtividade anual da MO	L/dh	543,99	539,49	535,36	531,31
Produtividade anual da terra	L/ha	10.053,35	9.890,96	9.741,85	9.599,09
Indicadores econômicos					
Renda bruta do leite (RBL)	R\$/ano	470.308,9	462.542,0	455.675,4	448.997,7
Renda bruta total (RBT)	R\$/ano	549.043,9	540.039,6	532.004,8	524.208,5
(RBL/RBT) x 100	%	85,6560	85,6490	85,6510	85,6510
Custo operacional efetivo (COE)	R\$/ano	384.053,1	381.335,4	378.868,7	376.731,3
Custo operacional total (COT)	R\$/ano	460.093,9	457.376,1	454.909,5	452.772,0
Custo total (CT)	R\$/ano	527.877,7	525.400,5	523.176,7	521.279,8
COE médio do leite (COEm)	R\$/L	0,4958	0,5003	0,5047	0,5093
COT médio do leite (COTm)	R\$/L	0,5940	0,6001	0,6060	0,6121
CT médio do leite (CTm)	R\$/L	0,6815	0,6893	0,6970	0,7048
Margem bruta (MB)	R\$/ano	164.990,8	158.704,3	153.136,0	147.477,2
Margem líquida (ML)	R\$/ano	88.950,1	82.663,5	77.095,3	71.436,5
Lucro	R\$/ano	21.166,25	14.639,11	8.828,02	2.928,75
Remuneração do capital ⁴	%/ano	13,4940	12,4860	11,5930	10,6950
Remuneração do capital ⁵	%/ano	10,6730	9,8870	9,1880	8,4820

dh = dias homem; un = unidade;

¹ Matéria natural;

² Concentrado utilizado para vacas em lactação;

³ Concentrado utilizado para todo rebanho;

⁴ Sem remuneração do fator terra;

⁵ Com remuneração do fator terra.

A margem bruta (MB), a margem líquida (ML), o lucro e as taxas de remuneração do capital diminuíram com o aumento da idade a 1ªIA. A variação em um mês na idade a 1ªIA correspondeu, em média, a variação de

4.946 litros de leite produzidos por ano e a variação de aproximadamente R\$ 3.040,00 de lucro anual.

3.2 – Comparação entre valores observados e preditos pelo modelo

O grau de associação linear entre os valores gerados pelo modelo e observados do número total de animais, número total de vacas, número de vacas em lactação e produção média diária de leite podem ser observados, respectivamente, nas Figuras 13, 14, 15 e 16.

A correlação foi significativa ($p < 0,01$) entre os valores gerados pelo modelo e os observados nos registros da empresa, para todas as variáveis avaliadas. Os coeficientes de correlação para número total de animais, número total de vacas e número de vacas em lactação demonstram que houve alto grau de associação linear entre os valores.

Para a variável *produção diária de leite*, o coeficiente de correlação foi menor que os demais, devido a variações observadas na produtividade média de leite por vaca. Em princípio, as causas destas variações não foram identificadas, o que fez com que o modelo de simulação não fosse capaz de gerar valores que se aproximassem mais dos observados.

A produtividade média diária de leite por vaca em lactação, que de janeiro a agosto de 2007 ficou situada entre 20,7 e 24,7 litros, subiu para 26,5, 26,2 e 27,6 litros nos meses de setembro, outubro e dezembro, respectivamente. Uma causa provável do aumento de produtividade observado a partir do mês de setembro de 2007 foi a utilização de somatotropina bovina, já que os registros de custos da propriedade

demonstram que a partir deste mês, a empresa fez compras mensais do hormônio. Futuramente, será possível adicionar esse efeito ao modelo de simulação, para que os valores gerados possam se aproximar mais dos observados.

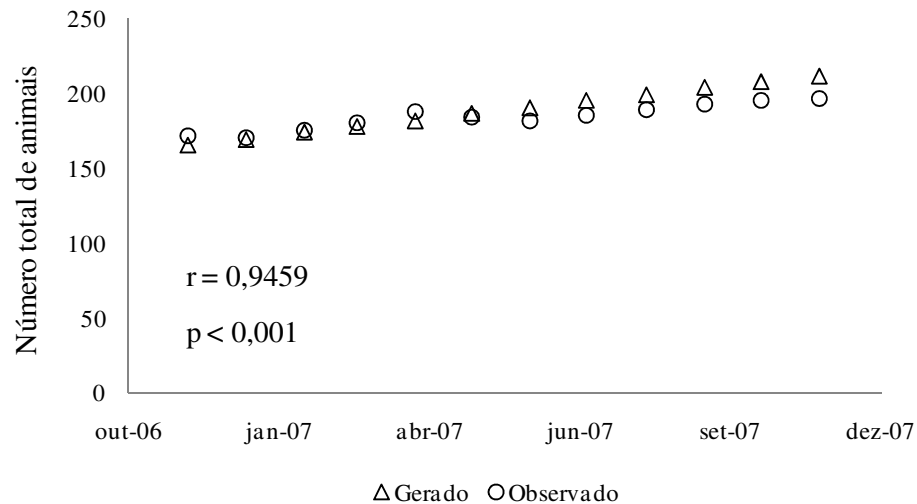


Figura 12 – Associação linear entre os valores do número total de animais, gerados pelo modelo e observados nos registros da unidade de produção utilizada, durante os meses de dezembro de 2006 até novembro de 2007.

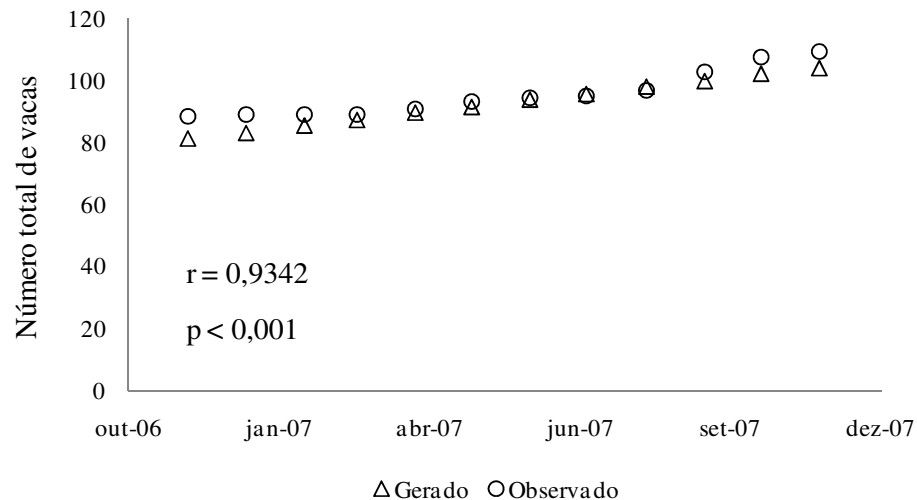


Figura 13 – Associação linear entre os valores do número total de vacas, gerados pelo modelo e observados nos registros da unidade de produção utilizada, durante os meses de dezembro de 2006 até novembro de 2007.

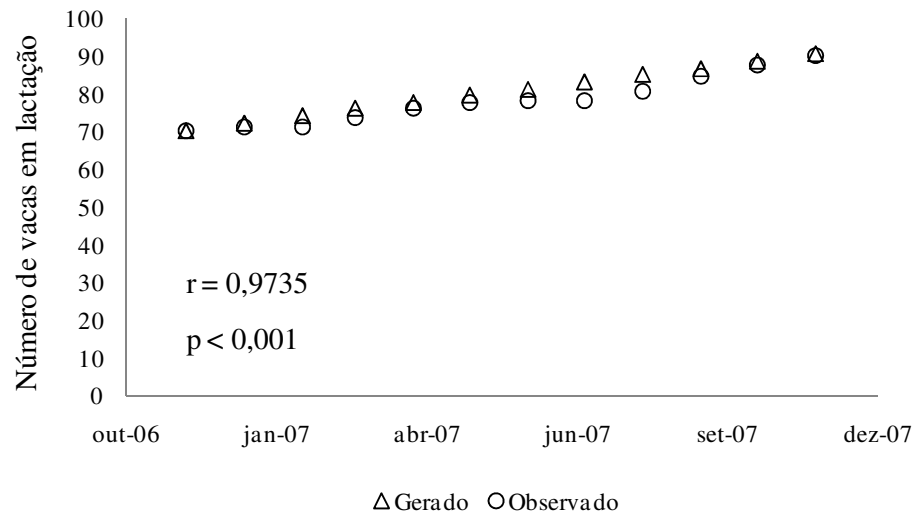


Figura 14 – Associação linear entre os valores do número de vacas em lactação, gerados pelo modelo e observados nos registros da unidade de produção utilizada, durante os meses de dezembro de 2006 até novembro de 2007.

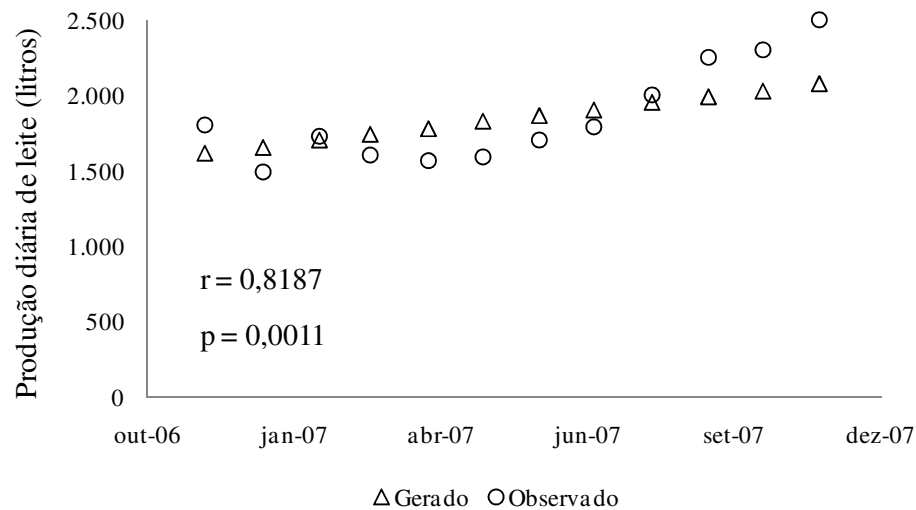


Figura 15 – Associação linear entre os valores de produção média diária de leite, gerados pelo modelo e observados nos registros da unidade de produção utilizada, durante os meses de dezembro de 2006 até novembro de 2007.

4 – Conclusões

As análises de sensibilidade demonstraram que os valores produzidos pelo modelo de simulação se comportam de acordo com o esperado, as variações da área utilizada para produção de milho para silagem, do intervalo de partos e da idade a primeira inseminação.

Existe correlação entre os valores gerados pelo modelo de simulação e os observados na prática e o grau de associação linear para as variáveis número total de animais, número total de vacas e número de vacas em lactação pode ser considerado elevado.

Para gerar valores de produção média diária de leite que se aproximem mais da realidade o efeito da utilização de somatotropina bovina deverá ser incluído no modelo de simulação.

5 – Referências Bibliográficas

ÁVILA, W.R.B. **Uso da dinâmica de sistemas como suporte à decisão em propriedades produtoras de leite: um estudo de caso.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2004. 127p. Dissertação (Mestrados em economia aplicada): Universidade Federal de Viçosa. 2004.

BARBOSA, W. do V. **Tempos pós-modernos.** In: LYOTARD, J.F. O pós-moderno. Rio de Janeiro: J. Olimpico. 1986, p. 7-18.

BERNARD, J.K., WEST, J.W., TRAMMELL, D.S., Effect of replacing corn silage with annual ryegrass silage on nutrient digestibility, intake, and milk

yield for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.85, p.2277-2282. 2002.

BROCKINGTON, N.R. **Curso de modelos de simulação**. v.1, Juiz de Fora: CNPGL (Embrapa), 1995. 238p.

DIJKSTRA, J., FRANCE, J., DHANOA, M.S. et al. A model describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.2340-2354. 1997.

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**. The Cornell University. 202 p. 2003.

GAVARIA, M.O. **Simulação computacional como ferramenta de aquisição de conhecimento**. São Carlos:Escola de Engenharia de São Carlos. 2003. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção):Universidade de São Paulo. 2003.

GOMES, S.T. **Economia da produção do leite**. 1.ed., Belo Horizonte: Itambé. 2000. 130p.

LOPEZ, S., FRANCE, J. GERRITS, W.J.J. et al. A generalized Michaelis Menten equation for the analysis of growth. **Journal Animal Science**, v. 78, p. 1816-1828. 2004.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences. 363 p., 2001.

OLIVEIRA, T.B.A., FIGUEIREDO, R.S., OLIVEIRA, M.W. et al. Índices técnicos de rentabilidade da pecuária leiteira. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 4., p.687-692. 1999.

- OLIVIERA, J.S. Manejo do silo e utilização da silagem de milho e sorgo. In Cruz, J.C., Pereira Filho, I.A., Rodrigues, J.A.S. et al. (Ed.) **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. 1.ed. Sete Lagoas: Embrap milho e sorgo. p. 473-518. 2001.
- OLIVEIRA, A.S. CUNHA, D.N.F.V. LEITE, S. et al. Identificação e quantificação de indicadores-referência de sistemas de produção de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n.2, p. 507-516. 2007.
- RENNÓ, F.P. **Avaliação bioeconômica de estratégias de alimentação em sistemas de produção de leite**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2005. 130p. Tese (Doutorado em Zootecnia): Universidade Federal de Viçosa. 2005.
- RIBAS, N.P. HARTMANN, W., MONATES, H.D. et al. Sólidos totais no leite em amostras de tanque nos estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n.6, p. 2343-2350, 2003.
- ROTZ, C.A., MERTENS, D.R., BUCKMASTER, D.R. et al. A dairy herd model for use in whole farm simulations. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.2826-2840, 1999.
- TAYLOR, C.C., ALLEN, M.S. Corn Grain Endosperm Type and Brown Midrib 3 Corn Silage: Feeding Behavior and Milk Yield of Lactating Cows. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.1425-1433. 2005.

CAPÍTULO 4

Comparação do uso de rebanhos das raças Holandesa e Jersey em sistema de produção de leite em confinamento

Resumo

Embora no Brasil, ainda não exista uma política de pagamento diferenciado pela qualidade do leite, o que vem sendo feito há mais de duas décadas em outros países, como Austrália e Nova Zelândia, alguns laticínios, interessados na aquisição de matéria-prima de melhor qualidade, já realizam pagamento diferenciado pelo teor de gordura, proteína e/ou sólidos totais. Uma das formas de aumentar o teor de sólidos do leite produzido consiste na mudança do grupo genético utilizado. Entretanto, essa mudança pode acarretar impactos, tanto na renda da atividade como nos custos de produção. Objetivou-se com esse estudo comparar, por meio de simulação, o uso de rebanhos das raças Holandesa e Jersey, em um sistema de produção de leite em confinamento, no que diz respeito aos índices de tamanho, zootécnicos e econômicos. Objetivou-se também avaliar a lucratividade da atividade, mediante a utilização diferentes sistemas de bonificação do preço pago pelo leite, pelo percentual de gordura e proteína. O modelo de simulação utilizado foi o mesmo descrito no Capítulo 3. As comparações foram realizadas, primeiramente, desconsiderando bonificações no preço do leite pelo aumento da concentração de gordura e proteína. Em seguida a lucratividade da atividade foi comparada considerando bonificações de 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 % no preço pago pelo leite da raça Jersey, para cada unidade de acréscimo no percentual de gordura do leite, acima do obtido com a raça Holandesa e bonificações de 2,0, 4,0, 6,0, 8,0 e 10,0% para cada unidade de acréscimo no percentual de proteína do leite Jersey, acima do obtido com a raça Holandesa. Por fim, a lucratividade da atividade foi comparada utilizando-se o sistema de bonificação por qualidade proposto por Gimenes e Ponchio (2006) e o sistema de bonificação adotado pela empresa A. O tempo de simulação utilizado em cada comparação foi de 10 anos e o

rebanho foi considerado estabilizado durante as simulações. Sistemas de produção de leite em confinamento são capazes de manter cerca de 35,9% mais animais da raça Jersey do que da raça Holandesa, devido ao menor consumo de volumosos por animal da raça Jersey. Embora a produção de leite por vaca Jersey corresponda a aproximadamente 69% da produção de leite por vaca Holandesa, a produção anual de leite do sistema utilizando animais da raça Jersey corresponde a 93,8% daquela obtida com animais da raça Holandesa. O acréscimo nesse percentual ocorre devido ao maior número de animais no rebanho Jersey, em comparação com o rebanho da raça Holandesa. Quando não há bonificação por percentual de gordura e proteína do leite, embora com a utilização da raça Jersey a renda bruta da atividade se aproxime daquela obtida com a raça Holandesa (99,2%), o lucro obtido com a raça Holandesa é maior devido aos menores custos de produção, principalmente os relacionados com a utilização de alimentos concentrados. Para que a atividade seja mais lucrativa com a utilização da raça Jersey é necessária bonificação de 5,0% do preço do leite, para cada unidade percentual de gordura do leite acima daquela obtida com a raça Holandesa, ou bonificação de 10,0% no preço do leite para cada unidade percentual de proteína do leite acima daquela obtida com a raça Holandesa. Com a utilização do sistema de bonificação proposto por Gimenes e Ponchio (2006) o lucro anual com a raça Jersey é maior do que o obtido com a raça Holandesa. Entretanto, com a aplicação do sistema de bonificação utilizado pela empresa A a raça Holandesa torna-se mais lucrativa que a raça Jersey.

1 - Introdução

O pagamento por qualidade do leite vem recebendo maior atenção no Brasil, inclusive com a recente criação do Conselho Nacional de Qualidade do Leite. Como a gordura e a proteína são os componentes de maior valor econômico do leite, o sistema de pagamento deveria remunerá-los adequadamente, o que vem sendo feito há mais de duas décadas nos países mais desenvolvidos (Madalena, 2000), como Austrália e Nova Zelândia, que estão consolidados como grandes exportadores.

Nos países onde existe o pagamento diferenciado do leite pela qualidade, um dos objetivos do melhoramento genético é a seleção de animais superiores para produção de gordura e de proteína. No Brasil, a política de pagamento diferenciado pela qualidade do leite ainda não está suficientemente difundida e o que vem ocorrendo com maior frequência é o estabelecimento de padrões mínimos a serem atendidos tanto em relação à composição, quanto em relação aos aspectos relacionados com a sanidade. Contudo, alguns laticínios, interessados na aquisição de matéria-prima de melhor padrão já realizam algum tipo de pagamento diferenciado pelo teor de gordura, proteína e/ou sólidos totais. Além disso, alguns fazendeiros, interessados em agregar valor ao seu produto, produzem algum tipo de derivado lácteo na propriedade e, com isso, têm interesse na mudança da composição do leite (Cardoso et al., 2004).

No Brasil, a maior parte dos sistemas de produção de leite em confinamento utiliza animais da raça Holandesa ou mestiços Holandês x Zebu, com alto “grau de sangue” Holandês (Krug, 2001), sendo a raça Gir a

mais utilizada no grupo Zebu. Uma das formas de aumentar o teor de sólidos do leite produzido nestes sistemas consiste na mudança do grupo genético utilizado, de Holandês para Jersey. Entretanto, essa mudança consiste em decisão que acarreta impactos complexos tanto na renda da atividade como nos custos de produção e, portanto, deve ser tomada a partir de previsões cientificamente baseadas.

Objetivou-se com esse estudo comparar, por meio de simulação, o uso de rebanhos das raças Holandesa e Jersey, em um sistema de produção de leite em confinamento, no que diz respeito aos índices de tamanho, zootécnicos e econômicos. Objetivou-se também avaliar a lucratividade da atividade, mediante a utilização diferentes sistemas de bonificação do preço pago pelo leite, pelo porcentual de gordura e proteína.

2 - Material e Métodos

2.1 - Descrição do problema

Para relacionar as principais variáveis que influenciam a renda e os custos da atividade foram elaborados dois diagramas de influências, onde foram levados em consideração os pontos abordados em seguida:

- mudanças no grupo genético, de Holandês para Jersey (*HVJ*), podem acarretar alterações complexas tanto na renda bruta total (*RBT*) quanto nos custos da atividade. Quatro variáveis são diretamente influenciadas por essa

mudança. O peso corporal médio dos animais do rebanho (*PCMA*), assim como o ganho de peso corporal médio (*GPCM*) e a produção de leite por vaca em lactação (*PLVL*) sofrem reduções. Entretanto, a concentração de sólidos do leite (*CSL*) aumenta (Figura 1).

- devido à relação de preços entre alimentos volumosos e concentrados, nas condições brasileiras, em geral, rações de mínimo custo tendem a maximizar a participação de alimentos volumosos na matéria seca total. Nessas condições, a participação de volumosos na ração geralmente é limitada pela capacidade de ingestão de fibra, que está diretamente relacionada com o peso corporal do animal. Por esse motivo, espera-se que o consumo médio de forragem por animal (*CMFA*) relacione-se positivamente com o peso corporal médio dos animais do rebanho (*PCMA*), ou seja, espera-se que aumentos no *PCMA* resultem em aumentos no *CMFA*, e vice-versa.
- a demanda total de forragem (*DemFor*) representa o somatório do consumo de forragem de todos os animais do rebanho, acrescido das perdas durante a distribuição e consumo dos alimentos, de forma que é positivamente influenciada pelo consumo médio de forragem por animal do rebanho (*CMFA*). A disponibilidade de forragem (*DispFor*) representa a quantidade de forragem produzida na propriedade, subtraída das perdas nos processos de colheita e ensilagem. Considerando o valor de *DispFor* como fixo, a relação entre a disponibilidade e a demanda por forragem (*R*) será influenciada apenas, negativamente, pela demanda de forragem (*DemFor*).

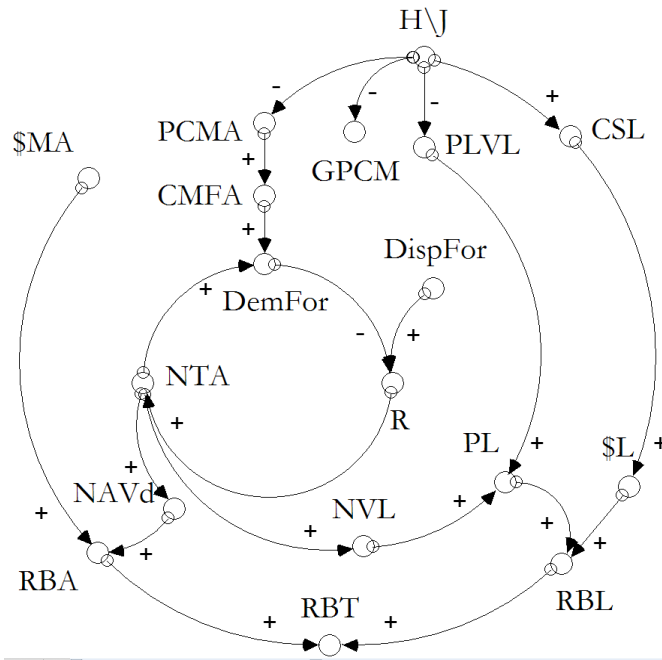


Figura 1 – Diagrama de influências relacionando as principais variáveis do problema, que exercem influência sobre o valor da renda bruta da atividade.

- assumindo-se a impossibilidade de compra de alimentos volumosos e de substituição de parte destes por alimentos concentrados, a relação entre a disponibilidade e a demanda por forragem (R) determinará o número total de animais (NTA) que pode ser mantido na propriedade, em cada condição de estrutura do rebanho. Uma vez que o número total de animais (NTA) também influencia o valor da demanda de forragem ($DemFor$), tem-se uma estrutura de *feedback loop* de controle do número de animais do rebanho.
- no modelo de simulação utilizado, a relação entre a disponibilidade e a demanda por forragem (R) tende a 1,0, pois nesse valor, $DemFor = DispFor$. Quando $R < 1$, NTA é reduzido pela venda de animais do rebanho. Quando $R > 1$, NTA é acrescido pela compra de animais no mercado.

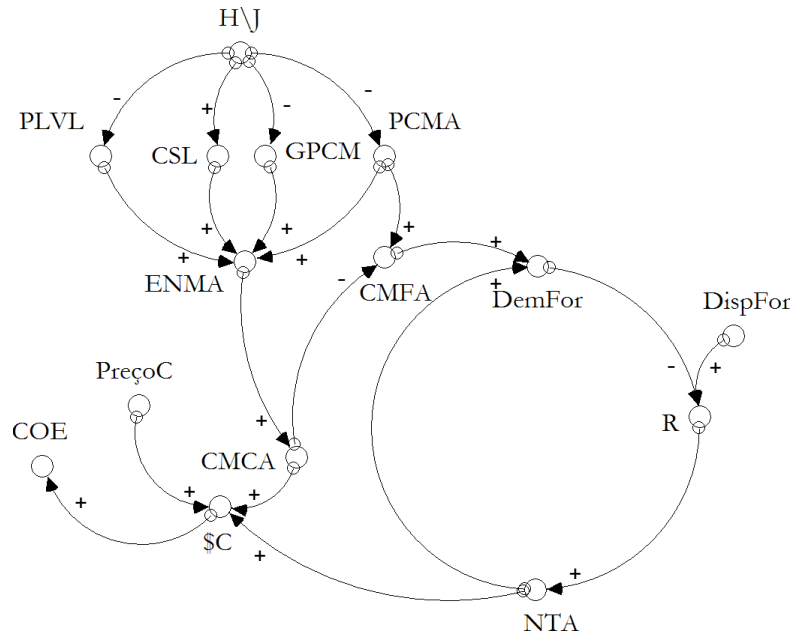


Figura 2 – Diagrama de influências relacionando as principais variáveis do problema, que exercem influência sobre o valor do custo operacional efetivo da atividade.

- fixando-se as taxas de descarte de animais do rebanho, o número de animais vendidos ($NAVd$) se relacionará diretamente com o número total de animais (NTA) e, juntamente com o preço médio dos animais ($\$MA$), determinará o valor da renda bruta com a venda de animais (RBA).
- embora a mudança do grupo genético, de Holandês para Jersey (HJ) cause redução na produção de leite por vaca em lactação ($PLVL$), a produção de leite total (PL) não seria necessariamente menor, pois como o peso corporal médio dos animais do rebanho ($PCMA$) e, conseqüentemente, o consumo médio de forragem por animal ($CMFA$) seriam menores, haveria maior número de animais no rebanho (NTA) e maior número de vacas em lactação (NVL). Além disso, a mudança de grupo genético, de Holandês para Jersey (HJ) resultaria em aumento da concentração de sólidos totais no leite (CSL)

- o que, caso haja bonificação por sólidos, influenciaria positivamente o preço pago por litro de leite ($\$L$) e a renda bruta do leite (RBL) (Figura 1).
- por outro lado, variações nos valores de produção de leite por vaca em lactação ($PLVL$), concentração de sólidos no leite (CSL), peso corporal médio dos animais ($PCMA$) e ganho de peso corporal médio ($GPCM$) influenciam positivamente as exigências nutricionais médias dos animais do rebanho ($ENMA$), que se relacionam de forma direta com o consumo médio de concentrado por animal ($CMCA$) (Figura 2). De forma geral, o consumo médio de concentrado por animal ($CMCA$) relaciona-se negativamente com a demanda de forragem ($DemFor$), devido ao efeito substitutivo do fornecimento de concentrado sobre o consumo de forragem.
 - os gastos com a utilização de alimentos concentrados ($\$C$) são diretamente influenciados pelo consumo médio de concentrado por animal ($CMCA$), pelo preço do concentrado ($PreçoC$) e pelo número de animais do rebanho (NTA), e tem grande participação no custo operacional efetivo (COE) da empresa.
 - embora a mudança do grupo genético, de Holandês para Jersey (HV) resulte, provavelmente, em diminuição do valor de exigências nutricionais médias por animal ($ENMA$) e, conseqüentemente, na redução do consumo médio de concentrado por animal ($CMCA$), os gastos com alimentos concentrados ($\$C$) poderão não seguir a mesma tendência, devido ao maior número de animais no rebanho (NTA). Isso significa que embora a mudança HV possa resultar em menor consumo de alimentos concentrados por animal, poderá haver aumento nos gastos com a utilização de alimentos concentrados ($\$C$), em função do maior número de animais no rebanho.

2.2 - O modelo de simulação

O modelo de simulação utilizado está descrito no Capítulo 3. Serão descritas, a seguir, apenas as alterações pertinentes a realização das comparações entre os rebanhos.

2.2.1 - Desempenho dos animais

Algumas comparações entre vacas das raças Holandesa e Jersey, sob as mesmas condições de manejo e alimentação, demonstraram que, em média, a produção de leite de vacas Jersey corresponderam a 69,03% da produção de leite de vacas Holandesas (Tabela 1). As produções mínima e máxima percentuais das vacas da raça Jersey em relação às vacas da raça Holandesas corresponderam aos valores de 64,31 e 74,41, respectivamente.

Tabela 1 – Resultados de pesquisas comparando a produção média diária de leite de vacas das raças Holandesa e Jersey, sob condições semelhantes de manejo e alimentação

Autor	Número de animais	Produção de leite (L/dia)		PP (%)
		Raças		
		Holandesa	Jersey	
Janovick et al. (2006)	42	35,6	25,7	72,19
White et al. (2002)	108	28,1	20,2	72,01
White et al. (2001)	37	36,7	23,6	64,31
Bitman et al. (1996)	16	32,5	20,8	64,70
Beaulieu e Palmquist (1995)	16	36,1	24,0	66,48
West et al. (1990)	32	25,4	18,9	74,41
Blake et al. (1986)	68	26,9	18,6	69,14
Mínimo		25,4	18,6	64,31
Máximo		36,7	25,7	74,41
Média		31,6	21,7	69,03

PP = produção percentual das vacas da raça Jersey em relação as da raça Holandesa

Para a realização das simulações, assumiu-se a produção diária de leite das vacas da raça Jersey como 69% da produção diária de leite das vacas da raça Holandesa. Assumindo que não há diferenças no formato da curva de lactação entre as raças Holandesa e Jersey, a produção de leite das vacas Jersey foi simulada a partir da redução do valor do parâmetro a do modelo de Dijkstra et al. (1997).

Tabela 2 – Parâmetros do modelo de Dijkstra et al. (1997), para simulação das curvas de lactação de vacas das raças Holandesa e Jersey, e respectivas produções simuladas de leite em 305 dias de lactação (*PL305*)

<i>GG</i>	<i>OL</i>	Parâmetros				<i>PL305</i> (litros)
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	
Holandês	1 ^a	19,00	0,0137	0,0196	0,00281	6.812
	2 ^a	23,00	0,0150	0,0195	0,00380	7.597
	3 ^a ou maior	26,00	0,0165	0,0248	0,00370	8.227
Jersey	1 ^a	13,11	0,0137	0,0196	0,00281	4.700
	2 ^a	15,87	0,0150	0,0195	0,00380	5.242
	3 ^a ou maior	17,94	0,0165	0,0248	0,00370	5.676

GG = grupo genético; *OL* = ordem de lactação

Os parâmetros adotados juntamente com as produções de leite simuladas em 305 dias de lactação encontram-se na Tabela 2. As curvas de lactação simuladas das vacas das raças Holandesa e Jersey, nas respectivas ordens de lactação estão apresentadas na Figura 3.

Para simular os percentuais de gordura e proteína no leite das vacas das raças Holandesa e Jersey foram utilizados os modelos descritos no CNCPS 5.0, com os respectivos parâmetros recomendados, a exceção dos parâmetros de escala dos modelos aplicados a raça Jersey, os quais foram ajustados para que as porcentagens simuladas de gordura e proteína do leite se situassem próximas as obtidas por Bailey et al (2005). As curvas simuladas

dos percentuais de gordura e proteína durante a lactação, para as raças Holandesa e Jersey encontram-se na Figura 4.

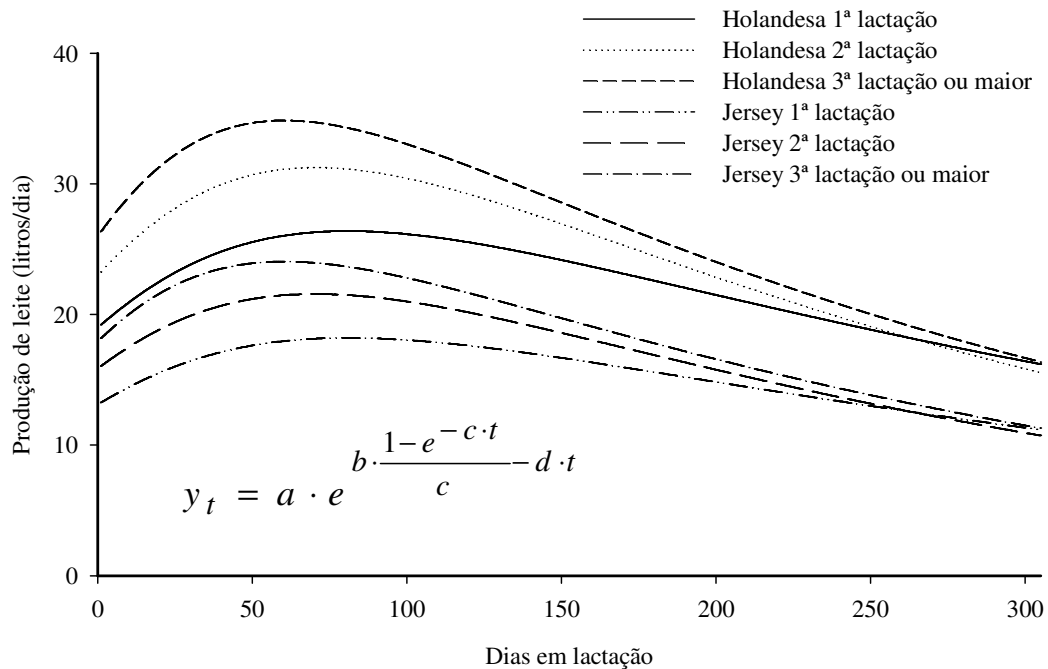


Figura 3 – Curvas de produção diária de leite simuladas para vacas das raças Holandesa e Jersey, em 1ª, 2ª e 3ª ou maior ordens de lactação.

Para simular o peso corporal dos animais em crescimento, para os dois grupos genéticos, foi utilizado o modelo de Lopez et al. (2004) cujos parâmetros a e b foram obtidos na literatura. O parâmetro a (correspondente ao peso ao nascimento) foi considerado como 43 e 28, respectivamente, para as raças Holandesa e Jersey, tal como descrito no NRC (2001). O valor do parâmetro b (correspondente ao peso à maturidade) foi considerado como 682 e 454, respectivamente, para as raças Holandesa e Jersey, segundo o NRC (2001). O parâmetro k (correspondente à idade, em dias, em que os animais atingem 50% do peso a maturidade) foi considerado como 505, o que corresponde a cerca de 16,5 meses. O parâmetro c , que corresponde ao

formato sigmóide da curva, foi assumido como 1,45. As curvas de crescimento simuladas, para os animais das raças Holandesa e Jersey encontram-se na Figura 5.

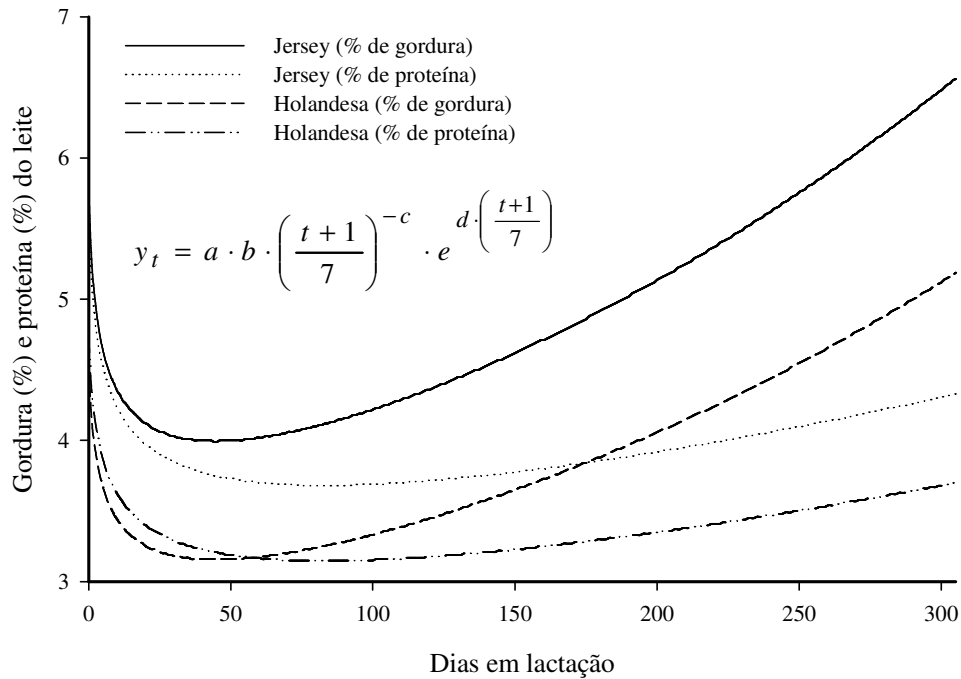


Figura 4 – Curvas simuladas dos percentuais de gordura e proteína durante a lactação, para as raças Holandesa e Jersey.

O ganho de peso corporal das novilhas em gestação foi obtido pela diferença entre o peso a primeira inseminação e o peso ao primeiro parto. O peso corporal ao primeiro parto foi assumido como 80% do peso corporal à maturidade, acrescido do peso provável do bezerro ao nascimento. O peso corporal ao segundo parto ou maior foi assumido como o peso corporal à maturidade, acrescido do peso provável do bezerro ao nascimento.

O peso corporal e a variação de peso corporal durante a lactação foram simulados com a utilização do modelo de Rotz et al. (1999) e os valores

dos parâmetros recomendados pelos autores, para vacas em primeira ordem e segunda ordem de lactação ou maior (Figura 6).

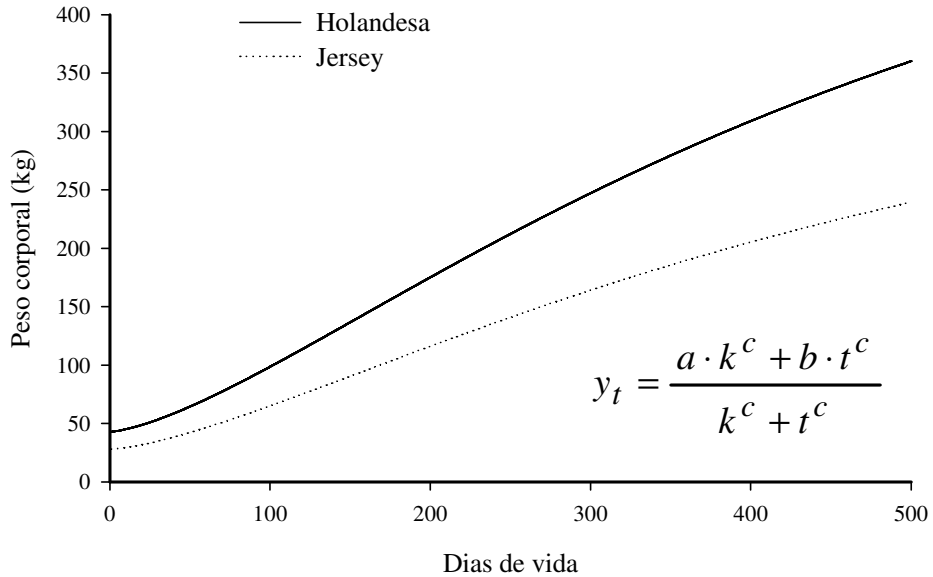


Figura 5 – Curvas de crescimento simuladas para bezerras e novilhas das raças Holandesa e Jersey.

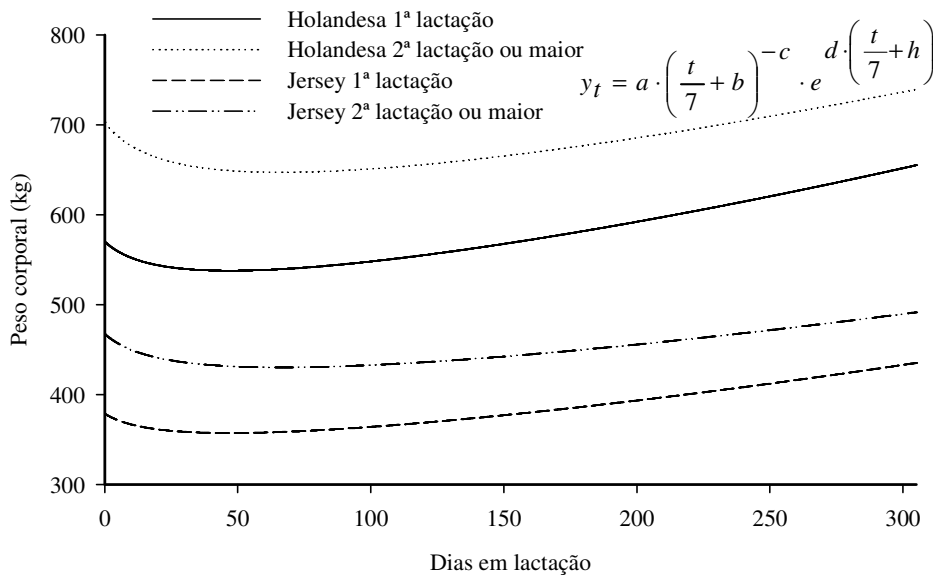


Figura 6 – Curvas de peso corporal simuladas para vacas das raças Holandesa e Jersey, em primeira lactação e segunda lactação ou maior.

2.2.2 – Alimentação dos animais

Os alimentos utilizados foram os descritos no Capítulo 3 e as rações foram formuladas também como descrito no Capítulo 3.

2.2.2 – Componentes econômicos

Os componentes de custo de produção foram calculados como descrito no Capítulo 3. O conjunto de benfeitorias e máquinas foi considerado o mesmo para rebanhos da raça Holandesa e Jersey tal como em Elbehri et al. (1993) e Bailey et al. (2005). O inventário de benfeitorias e de máquinas foi obtido nos registros da propriedade utilizada no Capítulo 3 e está sumarizado na Tabela 2 desse Capítulo. Os valores residuais das benfeitorias e das máquinas, utilizados para cálculo da depreciação dos bens, foram assumidos como 5,0 e 10,0% dos valores atuais, respectivamente.

Devido ao caráter variável de alguns componentes de custo de produção, foram estabelecidos índices de proporcionalidade destes custos, tal como realizado no Capítulo 3, relacionando-os com o número de vacas em lactação ou com o número total de animais. Entretanto, para alguns destes componentes, foi utilizado um fator de correção para raça Jersey, devido ao menor peso e a menor produção de leite destes animais. Sendo assim, por exemplo, como o volume aplicado por dose, para a maior parte dos medicamentos, é baseado no peso dos animais, o gasto com medicamentos por animal da raça Jersey foi considerado como 67% do gasto com medicamentos por animal da raça Holandesa, visto que, em média, o peso

corporal dos animais da raça Jersey corresponde a 67% do peso corporal de animais da raça Holandesa.

O mesmo raciocínio foi aplicado para os gastos com a mão-de-obra do ordenhador. Considerando que o número de dias homem do ordenhador (*dh*) por vaca em lactação é proporcional ao tempo de permanência médio por vaca na sala de ordenha, e que o tempo de permanência por vaca está relacionado com a produção de leite por vaca em lactação, o gasto com a mão-de-obra do ordenhador, por vaca Jersey em lactação, foi considerado como 69% do gasto por vaca Holandesa em lactação.

2.3 – Comparações entre os rebanhos

Primeiramente foram comparados indicadores de tamanho, zootécnicos e econômicos, considerando a situação onde não há bonificação por gordura ou proteína no leite. Em seguida a lucratividade da atividade foi comparada considerando bonificações de 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, e 5,0% no preço pago pelo leite, para cada unidade de acréscimo no percentual de gordura do leite do rebanho Jersey, acima do percentual de gordura no leite produzido pelo rebanho da raça Holandesa. A lucratividade da atividade também foi comparada considerando-se bonificações de 2,0, 4,0, 6,0, 8,0 e 10,0% no preço pago pelo leite, para cada unidade de acréscimo no percentual de proteína no leite produzido pelo rebanho Jersey, acima do percentual de proteína no leite produzido pelo rebanho da raça Holandesa. Por fim, a lucratividade da atividade foi comparada utilizando-se o sistema de bonificação por qualidade proposto por Gimenes e Ponchio (2006), e o

sistema de bonificações usado por uma importante empresa de laticínios que denominamos empresa A. Os valores das bonificações propostas por Gimenes e Ponchio (2006) e pela empresa A foram corrigidos pelo IGP-DI de dezembro de 2007.

O tempo de simulação utilizado em cada comparação foi de 10 anos e o rebanho foi considerado estabilizado durante as simulações.

3 – Resultados e Discussão

O desempenho e as rações formuladas para os animais das raças Holandesa e Jersey encontram-se nas Tabelas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

Tabela 3 – Dados de desempenho e rações formuladas para animais da raça Holandesa, do 1º ao 16º mês de vida

idade meses	Desempenho			Ração ¹							
	PC kg	GPM kg	Leite L	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1	48,4	0,349	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-
2	62,6	0,582	4,0	-	0,338	0,179	0,109	-	-	0,020	0,645
3	82,0	0,690	-	0,50	1,352	0,083	0,526	-	-	0,039	2,000
4	103,9	0,745	-	2,50	1,139	0,350	0,460	-	-	0,051	2,000
5	127,0	0,769	-	5,78	0,380	-	0,476	0,293	-	0,067	1,216
6	150,5	0,772	-	7,02	0,392	-	0,582	0,265	-	0,061	1,300
7	173,9	0,761	-	8,30	0,436	-	0,749	0,129	-	0,055	1,369
8	196,8	0,740	-	9,61	0,387	-	0,837	0,095	-	0,050	1,369
9	218,9	0,713	-	10,93	0,339	-	0,945	0,016	-	0,046	1,346
10	240,2	0,683	-	12,15	0,092	0,427	0,851	-	-	0,043	1,414
11	260,6	0,650	-	13,37	-	0,736	0,644	-	0,010	0,041	1,431
12	279,9	0,616	-	14,61	-	0,842	0,465	-	0,025	0,039	1,372
13	298,2	0,583	-	15,83	-	0,894	0,308	-	0,040	0,038	1,279
14	315,4	0,550	-	17,02	-	0,900	0,169	-	0,054	0,036	1,158
15	331,7	0,519	-	18,18	-	0,869	0,050	-	0,067	0,034	1,019
16	347,1	0,489	-	19,31	-	0,719	0,004	-	0,076	0,031	0,830

PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Devido à diferença de peso corporal entre as raças foi considerado o fornecimento de 4,0 litros de leite por dia para as bezerras da raça Holandesa e 3,0 litros para as da raça Jersey, tal como recomendado por Campos e Lizieire (2005) para o aleitamento de animais de raças grandes e de raças pequenas.

O maior consumo de silagem de milho e de alimentos concentrados para bezerras e novilhas da raça holandesa, em relação às da raça Jersey, reflete o maior peso corporal e o maior ganho de peso das primeiras (Tabelas 3 e 4).

Tabela 4 – Dados de desempenho e rações formuladas para animais da raça Jersey, do 1º ao 16º mês de vida

idade meses	Desempenho			Ração ¹							
	PC kg	GPM kg	Leite L	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1	31,6	0,233	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-
2	41,1	0,388	3,0	-	-	0,124	0,181	-	-	0,017	0,321
3	54,0	0,460	-	0,30	0,017	1,537	-	-	-	0,038	1,591
4	68,6	0,497	-	1,50	0,040	1,475	-	-	-	0,044	1,559
5	84,0	0,513	-	3,80	0,312	-	0,346	0,194	-	0,044	0,896
6	99,7	0,515	-	4,62	0,328	-	0,419	0,177	-	0,040	0,964
7	115,3	0,507	-	5,48	0,346	-	0,513	0,118	-	0,036	1,012
8	130,5	0,493	-	6,34	0,363	-	0,620	0,028	-	0,033	1,043
9	145,3	0,475	-	7,22	0,320	-	0,674	0,007	-	0,030	1,031
10	159,5	0,455	-	8,02	0,142	0,340	0,594	-	-	0,029	1,104
11	173,0	0,433	-	8,81	-	0,685	0,449	-	0,003	0,027	1,165
12	185,9	0,411	-	9,63	-	0,774	0,328	-	0,017	0,026	1,145
13	198,1	0,389	-	10,43	-	0,831	0,219	-	0,024	0,025	1,098
14	209,6	0,367	-	11,22	-	0,855	0,122	-	0,033	0,024	1,034
15	220,5	0,346	-	11,98	-	0,854	0,037	-	0,041	0,022	0,955
16	230,7	0,326	-	12,74	-	0,753	0,017	-	0,050	0,058	0,877

PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; U = uréia; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Com relação às novilhas em gestação (Tabelas 5 e 6) e as vacas em período de descanso (Tabelas 9 e 10) o maior fornecimento de alimentos

concentrados para as da raça Holandesa foi função, além do maior ganho de peso, do maior peso do concepto.

Tabela 5 – Dados de desempenho e rações formuladas para novilhas da raça Holandesa, em gestação

<i>MG</i>	Desempenho					Ração ¹				
	<i>PC</i> kg	<i>GPM</i> kg	<i>SM</i> kg	<i>FM</i> kg	<i>FT</i> kg	<i>FS</i> kg	<i>GM</i> kg	<i>U</i> kg	<i>MM</i> kg	<i>C</i> kg
1	354,5	0,884	21,40	-	1,140	0,435	-	0,054	0,049	1,678
2	381,4	0,884	23,01	-	1,369	0,268	-	0,069	0,049	1,756
3	408,4	0,884	24,64	-	1,578	0,110	-	0,084	0,050	1,821
4	435,3	0,884	26,36	-	1,317	0,257	-	0,084	0,046	1,704
5	462,3	0,884	28,15	0,486	0,725	0,156	-	0,116	0,053	1,536
6	489,3	0,884	29,94	0,921	0,163	0,080	-	0,144	0,056	1,364
7	516,2	0,884	29,38	0,727	-	1,564	-	0,043	0,058	2,393
8	543,2	0,884	30,28	-	0,546	1,900	0,054	0,001	0,070	2,570
9	570,1	0,884	29,85	0,414	-	2,311	-	-	0,087	2,816

MG = mês de gestação; *PC* = peso corporal médio; *GPM* = ganho médio diário de peso corporal; *SM* = silagem de milho; *FM* = fubá de milho; *FT* = farelo de trigo; *FS* = farelo de soja; *U* = uréia; *MM* = mistura mineral; *C* = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Tabela 6 – Dados de desempenho e rações formuladas para novilhas da raça Jersey, em gestação

<i>MG</i>	Desempenho					Ração ¹				
	<i>PC</i> kg	<i>GPM</i> kg	<i>SM</i> kg	<i>FM</i> kg	<i>FT</i> kg	<i>FS</i> kg	<i>GM</i> kg	<i>U</i> kg	<i>MM</i> kg	<i>C</i> kg
1	236,0	0,587	14,17	-	0,941	0,332	-	0,032	0,032	1,337
2	253,9	0,587	15,24	-	1,097	0,227	-	0,048	0,033	1,406
3	271,8	0,587	16,32	-	1,247	0,124	-	0,051	0,032	1,454
4	289,7	0,587	17,40	-	1,378	0,028	-	0,060	0,032	1,499
5	307,6	0,587	18,79	-	0,978	-	-	0,112	0,038	1,128
6	325,5	0,587	19,88	0,871	0,096	0,024	-	0,105	0,033	1,129
7	343,4	0,587	20,75	-	0,728	0,950	-	0,023	0,046	1,747
8	361,3	0,587	20,85	-	0,532	1,243	0,008	0,006	0,060	1,849
9	379,2	0,587	20,89	0,151	0,107	1,582	0,004	-	0,075	1,921

MG = mês de gestação; *PC* = peso corporal médio; *GPM* = ganho médio diário de peso corporal; *SM* = silagem de milho; *FM* = fubá de milho; *FT* = farelo de trigo; *FS* = farelo de soja; *U* = uréia; *MM* = mistura mineral; *C* = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

A menor relação leite concentrado (*L/C*) para as vacas da raça Jersey, em relação as vacas da raça holandesa, foi devido a maior concentração de

proteína, energia e minerais no leite desses animais, o que significou maiores exigências de nutrientes por litro de leite produzido (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 – Dados de desempenho e rações formuladas para vacas da raça Holandesa, em lactação

ML	Desempenho					Ração ¹						
	PL L	G %	P %	PC kg	VPC kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	MM kg	L/C L/kg
1ª ordem de lactação												
1	21,8	3,32	3,49	545,8	-0,302	22,61	3,873	-	2,836	0,459	0,353	2,895
2	25,2	3,16	3,21	540,7	-0,038	28,58	2,423	2,545	2,439	0,585	0,369	3,016
3	26,4	3,22	3,15	543,4	0,214	31,72	4,107	0,414	3,733	0,291	0,356	2,962
4	26,0	3,36	3,16	551,7	0,339	32,65	4,682	-	4,113	0,160	0,348	2,798
5	24,9	3,55	3,20	563,0	0,418	33,42	4,668	-	4,183	0,097	0,334	2,681
6	23,4	3,76	3,26	576,4	0,477	34,55	4,376	-	4,177	0,057	0,313	2,621
7	21,8	4,01	3,34	591,5	0,525	35,01	3,926	0,444	3,974	0,064	0,301	2,499
8	20,1	4,29	3,42	607,9	0,567	34,80	3,407	1,291	3,613	0,105	0,297	2,311
9	18,6	4,60	3,52	625,5	0,605	34,37	2,866	2,295	3,198	0,160	0,297	2,107
10	17,1	4,94	3,63	644,2	0,641	33,77	2,322	3,421	2,745	0,223	0,301	1,898
2ª ordem de lactação												
1	26,4	3,32	3,49	669,3	-0,849	26,05	3,463	-	2,659	0,984	0,463	3,489
2	30,4	3,16	3,21	652,5	-0,271	39,37	1,950	1,083	3,229	0,757	0,410	4,090
3	31,2	3,22	3,15	649,3	0,062	39,84	3,820	-	4,231	0,421	0,399	3,520
4	30,2	3,36	3,16	653,6	0,221	39,78	4,250	-	4,399	0,339	0,392	3,215
5	28,1	3,55	3,20	661,7	0,318	40,53	3,990	-	4,383	0,279	0,364	3,119
6	25,7	3,76	3,26	672,2	0,386	41,85	3,385	-	4,040	0,422	0,362	3,132
7	23,3	4,01	3,34	684,6	0,438	43,08	2,729	-	4,150	0,204	0,296	3,152
8	20,9	4,29	3,42	698,4	0,481	44,58	2,027	-	4,018	0,165	0,263	3,230
9	18,7	4,60	3,52	713,4	0,519	43,81	1,285	1,166	3,476	0,212	0,258	2,929
10	16,8	4,94	3,63	729,5	0,553	41,89	0,541	2,935	2,734	0,298	0,268	2,473
3ª ordem de lactação ou maior												
1	30,2	3,32	3,49	669,3	-0,849	22,61	5,572	-	3,038	1,085	0,538	2,956
2	34,4	3,16	3,21	652,5	-0,271	39,09	3,680	0,524	3,925	0,727	0,460	3,696
3	34,6	3,22	3,15	649,3	0,062	38,57	5,397	-	4,676	0,388	0,450	3,167
4	32,7	3,36	3,16	653,6	0,221	38,79	5,481	-	4,746	0,304	0,430	2,979
5	30,0	3,55	3,20	661,7	0,318	39,79	4,909	-	4,646	0,254	0,392	2,939
6	27,2	3,76	3,26	672,2	0,386	41,12	4,124	-	4,488	0,221	0,351	2,957
7	24,5	4,01	3,34	684,6	0,438	42,64	3,270	-	4,298	0,231	0,321	3,011
8	21,9	4,29	3,42	698,4	0,481	44,17	2,524	-	4,170	0,157	0,278	3,078
9	19,7	4,60	3,52	713,4	0,519	43,74	1,739	1,018	3,667	0,196	0,268	2,854
10	17,6	4,94	3,63	729,5	0,553	41,82	0,965	2,796	2,913	0,285	0,278	2,433

ML = mês de lactação; PL = produção média diária de leite; G = teor médio de gordura do leite; P = teor médio de proteína do leite; PC = peso corporal médio; VPC = variação média diária de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; MM = mistura mineral; L/C = relação entre a produção de leite e o fornecimento de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Tabela 8 – Dados de desempenho e rações formuladas para vacas da raça Jersey, em lactação

ML	Desempenho					Ração ¹						
	PL L	G %	P %	PC kg	VPC kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	MM kg	L/C L/kg
1ª ordem de lactação												
1	15,0	4,21	4,08	362,3	-0,230	19,99	2,414	-	2,303	0,370	0,216	2,832
2	17,4	3,99	3,75	358,5	-0,030	22,57	2,477	0,858	2,483	0,308	0,232	2,737
3	18,2	4,08	3,68	360,2	0,140	24,88	3,317	0,045	3,186	0,130	0,228	2,634
4	18,0	4,25	3,70	365,7	0,220	25,08	3,705	-	3,372	0,050	0,229	2,442
5	17,2	4,49	3,74	373,2	0,280	25,67	3,698	-	3,428	-	0,220	2,337
6	16,1	4,76	3,81	382,1	0,320	26,59	3,418	-	3,390	-	0,205	2,301
7	15,0	5,08	3,9	392,1	0,350	27,47	3,056	0,099	3,292	-	0,190	2,263
8	13,9	5,43	4,01	403,0	0,380	27,31	2,651	0,751	3,036	0,002	0,187	2,098
9	12,8	5,82	4,12	414,6	0,400	26,98	2,179	1,549	2,680	0,054	0,186	1,928
10	11,8	6,25	4,24	427,0	0,430	26,51	1,761	2,424	2,319	0,109	0,189	1,737
2ª ordem de lactação												
1	18,2	4,21	4,08	444,9	-0,605	22,72	2,235	-	2,232	0,757	0,288	3,306
2	21,0	3,99	3,75	433,2	-0,180	30,88	1,769	0,4948	2,846	0,510	0,257	3,567
3	21,6	4,08	3,68	431,1	0,041	30,57	3,176	-	3,514	0,246	0,259	2,995
4	20,8	4,25	3,7	433,9	0,147	30,56	3,456	-	3,632	0,184	0,255	2,765
5	19,4	4,49	3,74	439,3	0,211	31,18	3,206	-	3,605	0,133	0,237	2,701
6	17,7	4,76	3,81	446,3	0,256	32,15	2,694	-	3,498	0,114	0,212	2,722
7	16,1	5,08	3,90	454,5	0,291	33,26	2,118	-	3,371	0,100	0,186	2,779
8	14,4	5,43	4,01	463,6	0,320	34,47	1,524	-	3,241	0,087	0,169	2,874
9	12,9	5,82	4,12	473,6	0,345	34,42	0,922	0,651	2,885	0,116	0,162	2,730
10	11,6	6,25	4,24	484,3	0,367	32,92	0,315	2,045	2,274	0,195	0,162	2,316
3ª ordem de lactação ou maior												
1	20,9	4,21	4,08	444,9	-0,605	20,66	3,791	-	2,601	0,797	0,337	2,773
2	23,8	3,99	3,75	433,2	-0,180	30,66	3,079	0,0456	3,467	0,464	0,477	3,154
3	23,8	4,08	3,68	431,1	0,041	29,45	4,557	-	3,929	0,174	0,297	2,662
4	22,5	4,25	3,7	433,9	0,147	29,69	4,530	-	3,954	0,122	0,284	2,534
5	20,7	4,49	3,74	439,3	0,211	30,53	4,006	-	3,850	0,088	0,258	2,523
6	18,7	4,76	3,81	446,3	0,256	31,65	3,300	-	3,688	0,082	0,229	2,568
7	16,9	5,08	3,9	454,5	0,291	32,86	2,608	-	3,529	0,076	0,200	2,631
8	15,1	5,43	4,01	463,6	0,320	34,11	1,948	-	3,380	0,068	0,175	2,718
9	13,6	5,82	4,12	473,6	0,345	34,36	1,310	0,521	3,060	0,090	0,166	2,637
10	12,2	6,25	4,24	484,3	0,367	32,86	0,676	1,924	2,437	0,173	0,167	2,260

ML = mês de lactação; PL = produção média diária de leite; G = teor médio de gordura do leite; P = teor médio de proteína do leite; PC = peso corporal médio; VPC = variação média diária de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; MM = mistura mineral; L/C = relação entre a produção de leite e o fornecimento de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Em geral, durante a formulação das rações, a ingestão de silagem de milho foi limitada pela capacidade de ingestão de fibra, que está relacionada com o peso dos animais. Embora tenha sido considerado que vacas da raça

Jersey possuem maior capacidade de ingestão de fibra por unidade de peso corporal (Rotz et al., 1999), foi observado maior fornecimento de silagem de milho para vacas da raça Holandesa em todas as rações formuladas, devido a diferença de peso corporal entre os animais.

Tabela 9 – Dados de desempenho e rações formuladas para vacas da raça Holandesa, em período de descanso

MS	MG	Desempenho					Ração ¹				
		PC kg	GPM kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1º período de descanso											
1	7	663,53	0,800	35,18	-	1,154	1,230	-	0,059	0,062	2,444
2	8	687,53	0,800	34,05	-	0,845	1,897	-	0,012	0,074	2,754
3	9	711,53	0,800	33,84	0,0136	0,887	1,998	0,102	-	0,091	3,000
2º período de descanso ou maior											
1	7	745,7	0,650	37,55	-	0,2516	1,370	-	0,077	0,064	1,698
2	8	763,7	0,650	38,15	-	0,484	1,063	0,166	0,084	0,074	1,797
3	9	781,7	0,650	38,03	-	1,114	0,480	0,426	0,107	0,097	2,128

MS = mês do período de descanso; MG = mês de gestação; PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Tabela 10 – Dados de desempenho e rações formuladas para vacas da raça Jersey, em período de descanso

MS	MG	Desempenho					Ração ¹				
		PC kg	GPM kg	SM kg	FM kg	FT kg	FS kg	GM kg	U kg	MM kg	C kg
1º período de descanso											
1	7	440,9	0,500	25,30	0,134	0,090	0,830	-	0,067	0,046	1,121
2	8	455,9	0,500	23,94	-	0,355	1,173	-	0,023	0,060	1,551
3	9	470,9	0,500	19,48	-	1,997	0,872	0,108	0,002	0,090	2,979
2º período de descanso ou maior											
1	7	495,0	0,350	25,87	-	-	0,770	-	0,061	0,040	0,831
2	8	505,5	0,350	25,58	-	0,197	0,633	0,131	0,063	0,059	1,024
3	9	516,0	0,350	25,11	-	0,775	0,175	0,328	0,079	0,082	1,357

MS = mês do período de descanso; MG = mês de gestação; PC = peso corporal médio; GPM = ganho médio diário de peso corporal; SM = silagem de milho; FM = fubá de milho; FT = farelo de trigo; FS = farelo de soja; GM = glúten de milho; MM = mistura mineral; C = quantidade total de concentrado.

¹Todos os alimentos estão na base da matéria natural.

Os Indicadores de tamanho, zootécnicos e econômicos do sistema de produção, utilizando rebanhos das raças Holandesa e Jersey encontram-se na Tabela 11. O sistema de produção foi capaz de manter maior número de animais da raça Jersey do que da raça Holandesa. Como o modelo de simulação regula o número de animais no sistema por meio da relação entre a demanda e a disponibilidade de alimentos volumosos e a disponibilidade de alimentos volumosos foi considerada a mesma para as duas raças, a diferença no número de animais se deveu ao menor consumo de silagem por animal da raça Jersey em relação ao consumo de silagem por animal da raça Holandesa.

O modelo de simulação proposto por Elbehri et al. (1993) segue a mesma lógica, embora de um ponto de vista diferente. Os autores fixaram o número de animais do rebanho e observaram que para manter o mesmo número de animais das raças Holandesa e Jersey, sistemas de produção que utilizam a raça Holandesa teriam que destinar de 33,3 a 37,8% a mais de terras para cultivo de alimentos volumosos. O valor obtido de 35,9% a mais de bezerras e novilhas (*BN*), vacas em lactação (*VL*), total de vacas (*TV*) e total de animais no rebanho (*TA*) situou-se dentro dos limites observados por Elbehri et al. (1993) o que demonstra que, mesmo partindo de pontos de vista diferentes, os dois modelos encontraram resultados semelhantes.

Como as taxas de descarte e a estrutura do rebanho foram consideradas as mesmas para as duas raças e o número de animais da raça Jersey foi maior, o número de bezerras e novilhas descartadas (*BND*) e vacas descartadas (*VD*) foi maior quando o sistema utilizou a raça Jersey.

Tabela 11 – Indicadores de tamanho, zootécnicos e econômicos do sistema de produção, utilizando rebanhos das raças Holandesa e Jersey

	un.	Racas		J/H
		Holandesa	Jersey	
Indicadores de tamanho				
Bezerras e novilhas (BN)	n°	97,09	131,99	1,359
Vacas em lactação (VL)	n°	81,53	110,82	1,359
Total de vacas (TV)	n°	99,78	135,64	1,359
Total de animais (TA)	n°	196,88	267,63	1,359
Bezerras e novilhas descartadas (BND)	n°/ano	21,66	29,44	1,359
Vacas descartadas (VD)	n°/ano	24,82	33,73	1,359
Produção de leite (PL)	L/ano	749.041,7	702.442,7	0,938
Produção de gordura do leite (PGL)	kg/ano	27.816,1	33.018,8	1,187
Produção de proteína do leite (PPL)	kg/ano	24.797,0	27.201,4	1,097
Utilização de concentrado com bezerras e novilhas ¹	kg/ano	49.405,2	51.232,4	1,037
Utilização de concentrado com vacas em lactação ¹	kg/ano	257.492,7	272.796,7	1,059
Utilização de concentrado com vacas ¹	kg/ano	272.481,5	285.593,3	1,048
Utilização total de concentrado ¹	kg/ano	321.886,7	336.825,7	1,046
Mão-de-obra (MO)	dh/ano	1.240,3	1.189,3	0,959
Indicadores zootécnicos				
Produção de leite por vaca em lactação	L/dia	25,189	17,402	0,691
Produção de gordura do leite por vaca em lactação	kg/dia	0,9366	0,8180	0,873
Produção de proteína do leite por vaca em lactação	kg/dia	0,8342	0,6740	0,808
Produção de leite por total de vacas	L/dia	20,579	14,219	0,691
Relação leite concentrado (L/C) ²	L/kg ¹	2,909	2,575	0,885
Produtividade do concentrado ³	L/kg	2,326	2,085	0,896
Fornecimento de concentrado por bezerra e novilha ¹	kg/dia	1,390	1,060	0,763
Fornecimento de concentrado por vaca em lactação ¹	kg/dia	8,650	6,740	0,779
Fornecimento de concentrado por vaca ¹	kg/dia	7,480	5,770	0,771
Fornecimento de concentrado por animal ¹	kg/dia	4,480	3,450	0,770
Relação vacas em lactação total de vacas	VL/TV	0,8171	0,8171	1,000
Relação vacas em lactação total de animais	VL/TA	0,4141	0,4141	1,000
Taxa de descarte de bezerras e novilhas	BND/BN	0,2230	0,2230	1,000
Taxa de descarte de vacas	VD/TV	0,2487	0,2487	1,000
Produtividade anual da mão-de-obra	L/dh	603,92	590,64	0,978
Produtividade anual da terra	L/ha	11.349,12	10.643,07	0,938
Indicadores econômicos				
Renda bruta do leite (RBL)	R\$/ano	531.542,1	497.725,8	0,936
Renda bruta total (RBT)	R\$/ano	612.665,4	608.001,6	0,992
(RBL/RBT) x 100	%	86,761	81,861	0,944
Custo operacional efetivo (COE)	R\$/ano	412.030,5	422.628,2	1,026
Custo operacional total (COT)	R\$/ano	488.071,3	498.668,9	1,022
Custo total (CT)	R\$/ano	556.204,5	575.394,0	1,035
COE médio do leite (COEm)	R\$/L	0,4772	0,4925	1,032
COT médio do leite (COTm)	R\$/L	0,5653	0,5812	1,028
CT médio do leite (CTm)	R\$/L	0,6442	0,6706	1,041
Margem bruta (MB)	R\$/ano	200.634,8	185.373,4	0,924
Margem líquida (ML)	R\$/ano	124.594,1	109.332,7	0,878
Lucro	R\$/ano	56.460,9	32.607,6	0,578
Remuneração do capital ⁴	%/ano	18,7820	14,2170	0,757
Remuneração do capital ⁵	%/ano	14,8780	11,5940	0,779

dh = dias homem; un = unidade; J/H = relação entre os valores obtidos para rebanhos Jersey e Holandês;

¹ Matéria natural;

² Concentrado utilizado para vacas em lactação;

³ Concentrado utilizado para todo rebanho;

⁴ Sem remuneração do fator terra;

⁵ Com remuneração do fator terra.

Apesar da produção de leite por vaca Jersey em lactação ter correspondido a cerca de 69% da produção de leite por vaca Holandesa em lactação, com a utilização do rebanho Jersey a produção anual de leite no sistema foi 93,8% da produção obtida com a utilização do rebanho da raça Holandesa. Esse aumento de porcentual se deveu ao maior número de vacas Jersey em lactação, em comparação com o número de vacas Holandesas em lactação, o que foi função das diferenças no tamanho dos rebanhos.

Ainda que a produção anual de leite tenha sido menor com o uso de animais da raça Jersey, as produções anuais de gordura (*PGL*) e proteína (*PPL*) do leite foram, respectivamente, 18,7 e 9,7% maiores. Isso se deveu, principalmente, ao maior número de vacas em lactação da raça Jersey, visto que as produções de gordura do leite (*PGL/VL*) e de proteína do leite (*PPL/VL*) por vaca Jersey em lactação corresponderam a 87,3 e 80,8% da produção de gordura do leite e de proteína do leite por vaca Holandesa em lactação.

Os teores de gordura e proteína do leite produzido com a raça Jersey foram, respectivamente, de 4,70 e 3,87%, iguais aos observados por Bailey et al (2005). Os teores de gordura e proteína do leite produzido com a raça Holandesa foram de 3,72 e 3,31%, respectivamente. Esses resultados foram próximos aos valores médios de 3,69% de gordura e 3,24 % de proteína observados por Ribas et al. (2004), que analisaram 257.540 amostras de leite retiradas de tanques de expansão de propriedades que utilizam animais da raça Holandesa, nos estados do Paraná, São Paulo e Santa Catarina.

Embora, em todas as categorias, o fornecimento de concentrado por animal tenha sido menor para a raça Jersey, a utilização anual de concentrado foi menor para o rebanho Holandês, devido à diferença no

número de animais. Como a quantidade diária de concentrado fornecida por vaca Jersey em lactação correspondeu a 77,9% da quantidade fornecida por vaca Holandesa em lactação e a produção de leite por vacas Jersey correspondeu a cerca de 69% da produção de leite por vaca Holandesa em lactação, a relação leite concentrado (*L/C*) e a produtividade do concentrado foram maiores para o rebanho Holandês. Isso se deveu a maior exigência nutricional das vacas Jersey por litro de leite produzido, consequência do maior percentual de sólidos no leite.

Com relação à utilização da mão-de-obra, a aplicação dos índices de proporcionalidade em relação ao número de vacas em lactação e do fator de correção para raça Jersey resultou em valores próximos para os dois rebanhos, apesar do maior número de animais da raça Jersey. Elbehri et al. (1993) consideraram a utilização da mão-de-obra como proporcional ao número de vacas do rebanho, independentemente da raça utilizada. É possível que este procedimento seja inadequado, uma vez que a produção de leite por vaca Jersey é menor que a produção de leite por vaca Holandesa e em razão disso cada vaca Jersey, em média, deverá permanecer menos tempo no local de ordenha, demandando menor tempo da mão-de-obra do ordenhador, por vaca em lactação. Além disso, como o consumo de alimentos é menor para os animais da raça Jersey, o tempo e esforço usados para a alimentação de cada animal deverá ser menor.

A produtividade da mão-de-obra e a produtividade da terra foram menores para o rebanho Jersey, em virtude da menor produção anual de leite quando o sistema utilizou animais dessa raça.

Como na primeira simulação não foi considerado nenhum tipo de bonificação pelos percentuais de gordura e proteína do leite, a renda bruta do leite (*RBL*) foi maior quando o sistema utilizou animais da raça Holandesa. Entretanto, a renda bruta total foi praticamente igual para as duas raças. Isso se deveu ao maior número de animais vendidos no rebanho Jersey, pois como as taxas de descarte foram iguais entre as raças, maior número de animais no rebanho Jersey resultou em maior número de animais vendidos. Com isso, a participação da renda do leite na renda bruta da atividade foi menor para o rebanho Jersey. Em virtude do valor dos animais de cada raça ser influenciado por uma série de fatores, como oferta e demanda, genética, capacidade de negociação por parte do proprietário, etc, o preço de venda dos animais foi considerado igual entre as raças.

O custo operacional efetivo anual (*COE*) foi maior com o rebanho Jersey o que foi, principalmente, resultado da maior utilização de alimentos concentrados. A diferença do *COE* anual entre as duas raças foi de R\$ 10.598,00, que correspondeu a 2,6% a mais de custos para a raça Jersey. A diferença se manteve no mesmo valor (R\$ 10.598,00) quando a comparação foi feita para o custo operacional total. Isso é explicado, pois a mão-de-obra familiar e a depreciação de benfeitorias e máquinas foram consideradas as mesmas para as duas raças. A diferença entre o custo total da atividade com a utilização da raça Holandesa e da raça Jersey aumentou para R\$ 19.189,50. A maior diferença do custo total, em relação ao custo operacional efetivo e ao custo operacional total ocorreu em virtude do maior valor da remuneração do capital imobilizado em animais da raça Jersey, consequência

direta do maior número de animais dessa raça, em relação aos da raça Holandesa.

A margem bruta e a margem líquida da atividade com a utilização da raça Jersey corresponderam, respectivamente, a 92,4% e 87,8% da obtidas com o rebanho da raça Holandesa. O lucro do sistema quando da utilização do rebanho da raça Jersey foi menor (57,8%) do que o obtido com a raça Holandesa, o que indica que, quando não há bonificação pela concentração de gordura e ou proteína do leite o uso de rebanhos da raça Holandesa será mais lucrativo que o de rebanhos da raça Jersey.

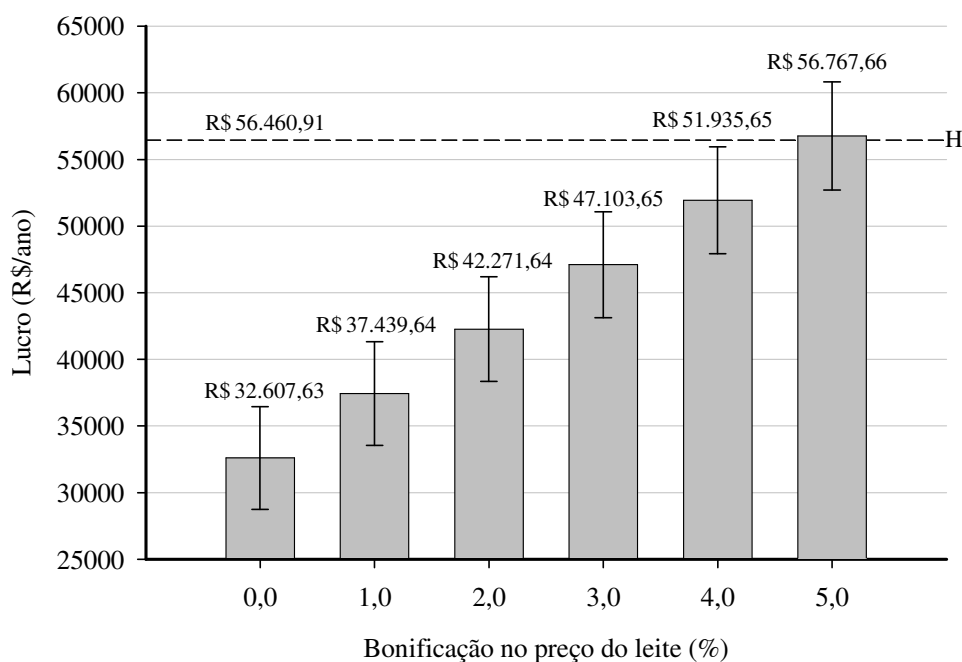


Figura 7 – Lucro anual da atividade com a utilização da raça Jersey, considerando bonificações de 0,0, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 % no preço pago pelo leite, para cada unidade de acréscimo no percentual de gordura do leite, acima do percentual obtido com a raça Holandesa.

-----H = lucro anual da atividade com a utilização da raça Holandesa.

Com a bonificação de 5,0% no preço do leite, para cada unidade percentual de gordura acima da produzida com a raça Holandesa a lucratividade anual da atividade com a utilização da raça Jersey superou a lucratividade com a raça Holandesa em R\$ 306,75 (Figura 7). O mesmo aconteceu com a bonificação de 10,0% no preço do leite, para cada unidade percentual de proteína acima da produzida com a raça Holandesa, na qual a lucratividade anual com a raça Jersey superou a obtida com a raça Holandesa em R\$ 3.580,69 (Figura 8). Isso demonstra que bonificações dessa ordem são necessárias para que, neste caso, o produtor seja incentivado a investir na mudança do grupo genético utilizado, de Holandês para Jersey.

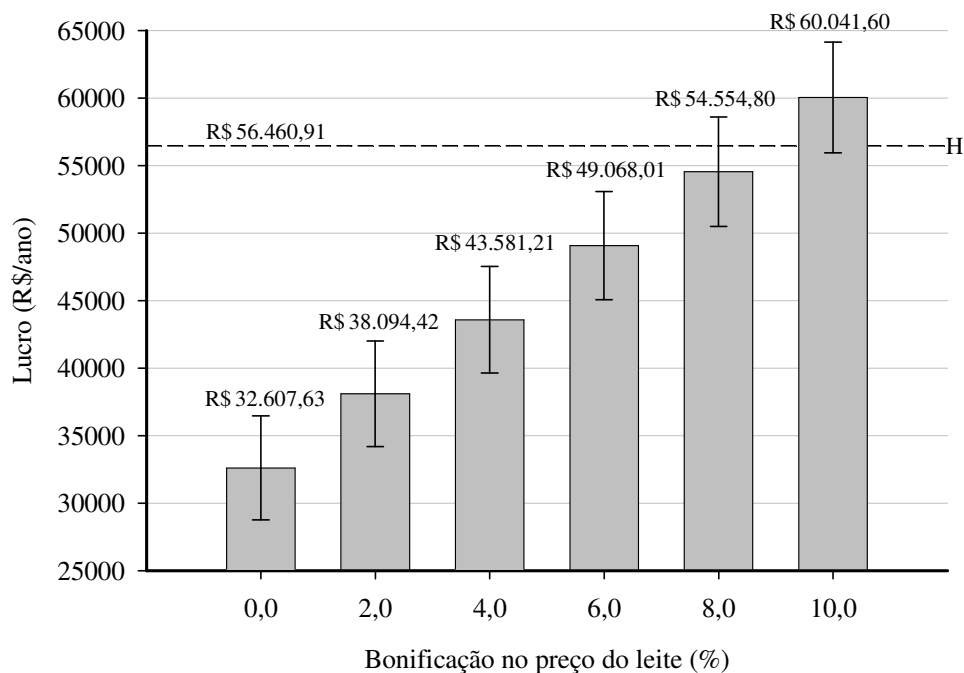


Figura 8 – Lucro anual da atividade com a utilização da raça Jersey, considerando bonificações de 0,0, 2,0, 4,0, 6,0, 8,0 e 10,0% no preço pago pelo leite, para cada unidade de acréscimo no percentual de proteína do leite, acima do percentual obtido com a raça Holandesa.

-----H = lucro anual da atividade com a utilização da raça Holandesa.

Gimenes e Ponchio (2006) propuseram um sistema de bonificação que remunera o produtor, simultaneamente, por acréscimos no teor de gordura e proteína do leite (Tabela 12). Esse sistema foi baseado nos ganhos industriais e, conseqüentemente, nos retornos econômicos advindos de maiores concentrações de gordura e proteína no leite, em relação às concentrações presentes no leite considerado padrão para a indústria.

A aplicação do sistema do sistema de Gimenes e Ponchio (2006) resultou em maior lucratividade anual para o rebanho da raça Jersey (R\$ 91.302,08) em relação ao da raça Holandesa (R\$ 70.787,39), como pode ser observado na Figura 9. Como esse sistema é baseado nos retornos econômicos para os laticínios, advindos do rendimento industrial na fabricação de derivados lácteos, é possível que sua aplicação traga benefícios tanto para a indústria como para o produtor.

Tabela 12 – Sistema de bonificação por gordura e proteína proposto por Gimenes e Ponchio¹

Gordura (%)	Acréscimo R\$/litro ²	Proteína (%)	Acréscimo R\$/litro ¹
3,41 - 3,60	0,00000	3,11 - 3,20	0,00000
3,61 - 3,80	0,00707	3,21 - 3,30	0,00642
3,81 - 4,00	0,01414	3,31 - 3,40	0,01295
4,01 - 4,20	0,02122	3,41 - 3,50	0,01937
4,21 - 4,40	0,02829	3,51 - 3,60	0,02970
4,41 - 4,60	0,03536	3,61 - 3,70	0,03231
> 4,60	0,04232	3,71 - 3,80	0,03873
		> 3,80	0,04526

Adaptado de Gimenes e Ponchio (2006)

¹Gimenes e Ponchio (2006)

²Valores corrigidos pelo IGP-DI de dezembro de 2007.

O sistema de bonificação por gordura e proteína utilizado pela empresa A encontra-se na Tabela 13. Esse sistema, em comparação com o proposto por Gimenes e Ponchio (2006), possui maior número de faixas de bonificação e inicia a bonificação a partir de níveis mais baixos, tanto para gordura quanto para proteína. Entretanto, o sistema proposto por Gimenes e Ponchio (2006) remunera por proteína até o nível de 3,80%, enquanto o sistema utilizado pela empresa A remunera por proteína até o nível de 3,40%.

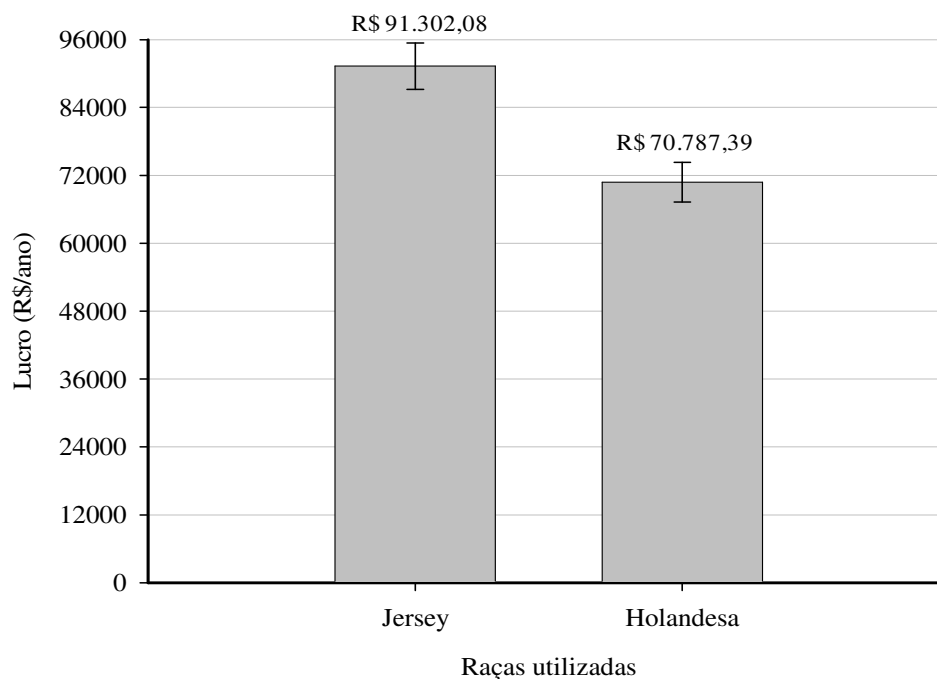


Figura 9 – Lucro anual da atividade com a utilização das raças Holandesa e Jersey, considerando a aplicação do sistema de bonificações por gordura e proteína proposto por Gimenes e Ponchio¹.
¹Gimenes e Ponchio (2006).

Tabela 13 – Sistema de bonificação por gordura e proteína utilizado pela empresa A¹

Gordura (%)	Acréscimo R\$/litro ¹	Proteína (%)	Acréscimo R\$/litro ¹
≤3,20	0,00000	≤3,00	0,00000
3,30	0,00511	3,03	0,00234
3,40	0,01010	3,06	0,00479
3,50	0,01521	3,09	0,00713
3,60	0,01829	3,12	0,00957
3,70	0,02127	3,15	0,01202
3,80	0,02436	3,18	0,01436
3,90	0,02733	3,20	0,01595
4,00	0,03042	3,22	0,01755
4,10	0,03244	3,24	0,01914
4,20	0,03446	3,26	0,02074
4,30	0,03648	3,28	0,02234
4,40	0,03850	3,30	0,02393
4,50	0,04052	3,32	0,02553
≥4,60	0,04254	3,34	0,02712
		3,36	0,02872
		3,37	0,02957
		3,38	0,03031
		3,39	0,03116
		≥3,40	0,03191

¹Valores corrigidos pelo IGP-DI de dezembro de 2007.

A aplicação do sistema de bonificação usado pela empresa A, ao contrário do que ocorreu com a aplicação do sistema proposto por Gimenes e Ponchio (2006), resultou em maior lucro anual para a raça Holandesa (R\$ 92.156,78) em relação a raça Jersey (R\$ 85.502,97) (Figura 10). Isso ocorreu devido ao sistema de bonificação da empresa A remunerar acréscimos no percentual de proteína do leite apenas até 3,40% o que não bonificou adequadamente o leite produzido pela raça Jersey, que apresentou cerca de 3,87% de proteína.

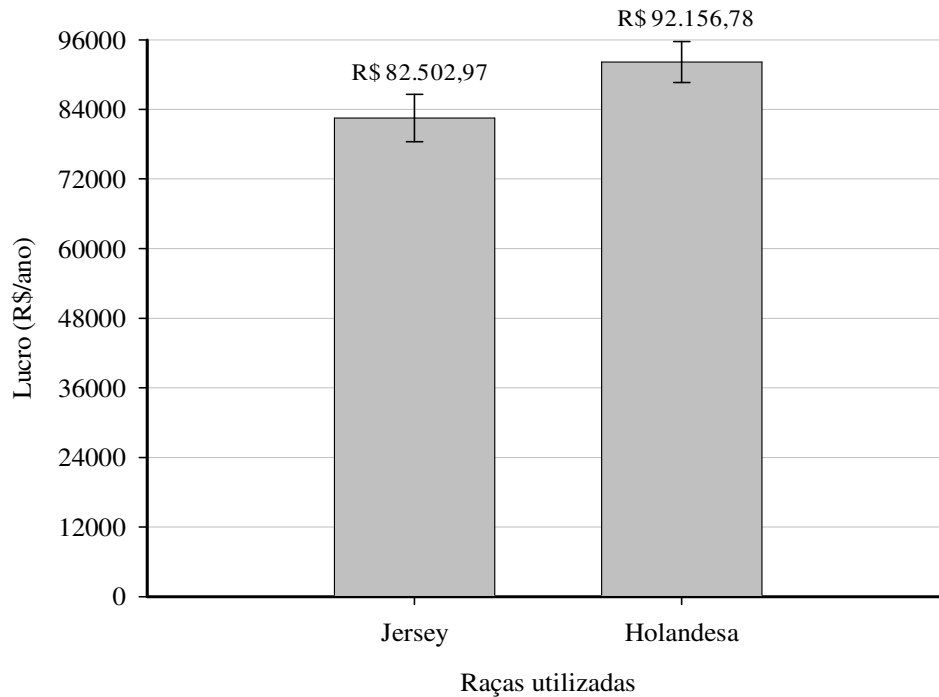


Figura 10 – Lucro anual da atividade com a utilização das raças Holandesa e Jersey, considerando a aplicação do sistema de bonificações por gordura e proteína, utilizado pela empresa A.

4 – Conclusões

Sistemas de produção de leite em confinamento são capazes de manter cerca de 35,9% mais animais da raça Jersey do que da raça Holandesa, devido ao menor consumo de volumosos por animal da raça Jersey.

Embora a produção de leite por vaca Jersey corresponda a aproximadamente 69% da produção de leite por vaca Holandesa, a produção anual de leite do sistema utilizando animais da raça Jersey corresponde a 93,8% daquela obtida com animais da raça Holandesa. O acréscimo nesse

porcentual ocorre devido ao maior número de animais no rebanho Jersey, em comparação com o rebanho da raça Holandesa.

Quando não há bonificação por porcentual de gordura e proteína do leite, embora com a utilização da raça Jersey a renda bruta da atividade se aproxime daquela obtida com a raça Holandesa (99,2%), o lucro obtido com a raça Holandesa é maior devido aos menores custos de produção, principalmente os relacionados com a utilização de alimentos concentrados.

Para que a atividade seja mais lucrativa com a utilização da raça Jersey é necessária bonificação de 5,0% do preço do leite, para cada unidade porcentual de gordura do leite acima daquela obtida com a raça Holandesa, ou bonificação de 10,0% no preço do leite para cada unidade porcentual de proteína do leite acima daquela obtida com a raça Holandesa.

Com a utilização do sistema de bonificação proposto por Gimenes e Ponchio (2006) o lucro anual com a raça Jersey é maior do que o obtido com a raça Holandesa. Entretanto, com a aplicação do sistema de bonificação utilizado pela empresa A a raça Holandesa torna-se mais lucrativa que a raça Jersey.

5 – Referências Bibliográficas

BAILEY, K.W., JONES, C.M., HEINRICHS, A.J. Economic return to Holstein and Jersey herds under multiple component pricing. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.2269-2280. 2005.

CAMPOS, O. F., LIZIEIRE, R. S. **Criação de bezerras em rebanhos leiteiros**. 1ª. ed. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. v. 1. 142 p.

- CARDOSO, V.L., NOGUEIRA, J.R., VERGESI FILHO, A.E. et al. Objetivos de seleção e valores econômicos de características de importância econômica para um sistema de produção de leite a pasto na Região Sudeste. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.2, p.320-327. 2004.
- DIJKSTRA, J., FRANCE, J., DHANOA. M.S. et al. A model describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.2340-2354. 1997.
- ELBEHRI, A., YONKERS, R.D., FORD, S.A. et al. The relative profitability of Jersey versus Holstein farms under alternative milk pricing systems. **Journal of Dairy Science**, v.77, p.1296-1305. 1994.
- 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**. The Cornell University. 202 p. 2003.
- GIMENES, R.M., PONCHIO, L.A. **Elaboração de sistema de pagamento de leite pela qualidade para fornecedores da empresa A**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE LEITE, 2. Goiânia. 2006. Disponível em: <http://www.terraviva.com.br/IICBQL/p026.pdf>. Acesso em: 20/07/2007.
- KRUG, E. E.B. **Sistemas de produção de leite: identificação de Benchmarking**. Porto Alegre:Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001, 256p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal). Universidade Federal do rio Grande do Sul. 2001.
- LOPEZ, S., FRANCE, J. GERRITS, W.J.J. et al. A generalized Michaelis Menten equation for the analysis of growth. **Journal Animal Science**, v. 78, p. 1816-1828. 2004.

MADALENA, F.E. Valores econômicas para seleção de proteína e gordura do leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.678-684. 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences. 363 p., 2001.

RIBAS, N.P. HARTMANN, W., MONATES, H.D. et al. Sólidos totais no leite em amostras de tanque nos estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n.6, p. 2343-2350, 2003.

ROTZ, C.A., MERTENS, D.R., BUCKMASTER, D.R. et al. A dairy herd model for use in whole farm simulations. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.2826 – 2840, 1999.

Glossário dos principais termos utilizados

Termos	Significado
<i>\$C</i>	gastos com a utilização de alimentos concentrados
<i>\$L</i>	preço pago por litro de leite
<i>\$MA</i>	preço médio dos animais
<i>1^ªIA</i>	primeira inseminação
<i>A</i>	Grupo de propriedades consideradas de nível alto de produção média de litros de leite por vaca em lactação por dia
<i>A1</i>	subgrupo formado por dados de medidas de produção diária de leite de vacas em primeira lactação, pertencentes a propriedades classificadas como de alta <i>PL</i>
<i>A2</i>	subgrupo formado por dados de medidas de produção diária de leite de vacas em segunda lactação, pertencentes a propriedades classificadas como de alta <i>PL</i>
<i>A3</i>	subgrupo formado por dados de medidas de produção diária de leite de vacas em terceira lactação, pertencentes a propriedades classificadas como de alta <i>PL</i>
<i>AGd</i>	ácidos graxos digestíveis
<i>B</i>	grupo de propriedades consideradas de nível baixo de produção média de litros de leite por vaca em lactação por dia
<i>B1</i>	subgrupo formado por dados de medidas de produção diária de leite de vacas em primeira lactação, pertencentes a propriedades classificadas como de baixa <i>PL</i>
<i>B2</i>	subgrupo formado por dados de medidas de produção diária de leite de vacas em segunda lactação, pertencentes a propriedades classificadas como de baixa <i>PL</i>
<i>B23</i>	função de lactação de Brody et al. (1923)
<i>B24</i>	função de lactação de Brody et al. (1924)
<i>B3</i>	subgrupo formado por dados de medidas de produção diária de leite de vacas em terceira lactação, pertencentes a propriedades classificadas como de baixa <i>PL</i>
<i>C%</i>	porcentual de convergência
<i>CB</i>	função de lactação de Cobby e Le Du (1978)
<i>CBI</i>	critério bayesiano de informação
<i>CMCA</i>	consumo médio de concentrado pelos animais
<i>CMFA</i>	consumo médio de forragem por animal
<i>CNFd</i>	carboidratos não fibrosos digestíveis
<i>COE</i>	custo operacional efetivo
<i>COEm</i>	custo operacional efetivo médio do leite
<i>COT</i>	custo operacional total
<i>COTm</i>	custo operacional total médio do leite
<i>CSL</i>	concentração de sólidos do leite
<i>CT</i>	custo total de produção
<i>CTm</i>	custo total médio do leite
<i>DemFor</i>	demanda por alimentos volumosos
<i>Dgt</i>	dias em gestação
<i>dh</i>	dias homem
<i>DiaP</i>	estimativa do dia do pico de lactação
<i>digPNDR</i>	digestibilidade da proteína não degradável no rumem
<i>DispFor</i>	disponibilidade de alimentos volumosos produzidos na propriedade
<i>DJ</i>	função de lactação de Dijkstra et al. (1993)
<i>ED</i>	energia digestível
<i>EE</i>	extrato etéreo
<i>ELgt</i>	exigências de energia líquida de gestação (Mcal/dia)
<i>ELI</i>	exigências de energia líquida de lactação (Mcal/dia)
<i>ELm</i>	exigências de energia líquida de manutenção (Mcal/dia)
<i>ENMA</i>	exigências nutricionais médias dos animais do rebanho
<i>FDN</i>	fibra em detergente neutro
<i>FDNd</i>	<i>FDN</i> digestível

<i>FP</i>	fator de processamento dos alimentos
<i>G%</i>	porcentagem de gordura do leite
<i>GPCM</i>	ganho de peso corporal médio
<i>HJ</i>	mudanças no grupo genético, de Holandês para Jersey
<i>HZ</i>	grupo genético caracterizado por animais oriundos de cruzamentos entre a raça Holandesa e raças de origem Zebuína
<i>IP</i>	intervalo de partos
<i>L</i>	lignina
<i>L%</i>	porcentagem de lactose do leite
<i>L/C</i>	relação entre litros de leite produzidos por vaca em lactação e consumo de concentrado por vaca em lactação
<i>M</i>	grupo de propriedades consideradas de nível médio de produção média de litros de leite por vaca em lactação por dia
<i>M1</i>	subgrupo formado por dados de medidas de produção diária de leite de vacas em primeira lactação, pertencentes a propriedades classificadas como de média <i>PL</i>
<i>M2</i>	subgrupo formado por dados de medidas de produção diária de leite de vacas em segunda lactação, pertencentes a propriedades classificadas como de média <i>PL</i>
<i>M3</i>	subgrupo formado por dados de medidas de produção diária de leite de vacas em terceira lactação, pertencentes a propriedades classificadas como de média <i>PL</i>
<i>MB</i>	margem bruta
<i>ML</i>	margem líquida
<i>MN</i>	matéria natural
<i>MS</i>	matéria seca dos alimentos
<i>MSing</i>	matéria seca ingerida pelo animal
<i>NAVd</i>	número de animais vendidos
<i>NDT</i>	nutrientes digestíveis totais
<i>NDTing</i>	<i>NDT</i> ingerido pelo animal
<i>NTA</i>	número total de animais
<i>NVL</i>	número de vacas em lactação
<i>P%</i>	porcentagem de proteína do leite
<i>PB</i>	proteína bruta
<i>PB-A</i>	fração A da proteína bruta
<i>PB-B</i>	fração B da proteína bruta
<i>PBd</i>	PB digestível
<i>PC</i>	peso corporal
<i>PCctp</i>	peso do concepto
<i>PCMA</i>	peso corporal médio dos animais do rebanho
<i>Pdesc</i>	perdas de proteína por descamações da pele
<i>PDR</i>	exigências de proteína degradável no rumem (g/dia)
<i>Pend</i>	perdas endógenas de proteína
<i>Pfez</i>	Perdas de proteína nas fezes
<i>PIDA</i>	proteína insolúvel em detergente ácido
<i>PIDN</i>	proteína insolúvel em detergente neutro
<i>PL</i>	produção média de litros de leite por vaca em lactação por dia
<i>PL</i>	produção de leite
<i>PL305</i>	estimativa da produção de leite em 305 dias de lactação
<i>PLP</i>	estimativa da produção diária de leite no pico de lactação
<i>PLVL</i>	produção de leite por vaca em lactação
<i>PMbac</i>	proteína metabolizável suprida pelas bactéria ruminais
<i>PMgt</i>	exigências de proteína metabolizável de gestação (g/dia)
<i>PMI</i>	exigências de proteína metabolizável de lactação (g/dia)
<i>PMm</i>	exigências de proteína metabolizável de manutenção (g/dia)
<i>PNDR</i>	exigências de proteína não degradável no rumem (g/dia)
<i>PO</i>	função de lactação de Pollott (2000)
<i>PPBz</i>	peso provável do bezerro
<i>PreçoC</i>	preço do concentrado
<i>Purin</i>	perdas de proteína na urina

<i>QME</i>	quadrado médio do erro
<i>QMEP</i>	quadrado médio dos erros de predição
<i>R</i>	relação entre a disponibilidade e a demanda por forragem
<i>R²</i>	coeficiente de determinação
<i>RBL</i>	renda bruta do leite
<i>RBT</i>	renda bruta total
<i>RK</i>	função de lactação de Rook et al. (1993)
<i>TA</i>	número total de animais
<i>TRC</i>	taxa de remuneração do capital investido
<i>TV</i>	número total de vacas
<i>V/C</i>	relação entre a quantidade de matéria seca de alimentos volumosos e concentrados fornecidos
<i>VL</i>	número de vacas em lactação
<i>VL/TV</i>	relação entre o número de vacas em lactação e o número total de vacas
<i>W</i>	número de células secretoras presentes na glândula mamária, segundo Brody et al. (1924).
<i>WD</i>	função de lactação de Wood (1967)
<i>WL</i>	função de lactação de Wilmink (1987)
<i>X</i>	vitalidade de células secretoras presentes na glândula mamária, segundo Brody et al. (1924).
<i>Z</i>	senescência de células secretoras presentes na glândula mamária, segundo Brody et al. (1924).
