

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Efeito do peso adulto e produção de leite de vacas de corte sobre a eficiência energética-ambiental-econômica do sistema de cria

Tiago Zanett Albertini

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2010**

Tiago Zanett Albertini
Médico Veterinário

Efeito do peso adulto e produção de leite de vacas de corte sobre a eficiência energética-ambiental-econômica do sistema de cria

Orientador:
Prof. Dr. **DANTE PAZZANESE D. LANNA**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Albertini, Tiago Zanett

Efeito do peso adulto e produção de leite de vacas de corte sobre eficiência energética-ambiental-econômica do sistema de cria / Tiago Zanett Albertini . - - Piracicaba, 2010.
96 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Bovinos 2. Cria 3. Cruzamento animal 4. Gado zebu 5. Glândulas mamárias 6. Lucro
7. Modelos matemáticos I. Título

CDD 636.213
A334e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

A meu pai Paulo Roberto Albertini e a minha mãe Rosana Zanett Albertini pelo amor, apoio e ensinamentos sem os quais não teria chegado até aqui.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Dante Pazzanese Lanna pelos ensinamentos fundamentais para meu progresso científico, pelas inteligentes e dinâmicas discussões, pela amizade e inspiração.

Aos pesquisadores Dr. Sérgio Raposo de Medeiros, Dr. Roberto Augusto de Almeida Torres Júnior e Dr. Silvio Sandoval Zocchi, pelos ensinamentos, pelas conquistas, pela amizade e pelo absoluto apoio experimental.

À Dra. Liana Calegare pelo apoio e colaboração científica.

Aos pesquisadores e professores da Universidade da Califórnia Dr. James W. Oltjen, Dr. Roberto D. Sainz, Dr. Anders B. Strathe, Dr. Ermias Kebreab, Dr. James G. Fadel pela orientação durante meus estudos nos Estados Unidos e pela possibilidade de manter nossa colaboração científica.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e aos professores pela oportunidade intelectual e pela ajuda em escrever parte de minha história.

A minha irmã Juliana Zanett Albertini, minha avó Amália Albertini, meu tio avô Otávio Polizel e tia avó Nice Polizel, pelo carinho, conselhos e amizade.

Ao meu amor Susana Beatriz S. Barizon pelo apoio irrestrito nos momentos felizes e difíceis. Sua presença inspiradora foi muitas vezes a força motriz para estimular a minha criatividade.

A família LNCA - USP, em especial a querida Maria Antônia Etchegaray. Aos memoráveis amigos Luis Moraes, Amoracyr Nuñez, Nelson Nepomuceno, Michele Lopes, Andréa Souza, Rodrigo Goulart, Laudí Leite, Beatriz Hoffmann, Rafael Monteiro, Mariana Caetano, Rodrigo de

Almeida, Patrícia Pauletti, Yuri Farjalla, Carolina Galaffassi, Roberta Santin, Miriã Alvar, Gabriela Acetoze, Pedro Selegado e Ângelo Tonetto.

A família Embrapa Gado de Corte, em especial aos grandes amigos Andréa R.D.L. Souza, Fábio A. Biberg, Caroline Bertholine e Simone Reis. A equipe do Laboratório de Nutrição Animal e aos nossos amigos Campeiros que deram o suor e muitas vezes até o sangue para coletar nossos dados trabalhos.

A Professora Dra. Maria da Graça Moraes pelo apoio nas minhas idéias e na disponibilização do Laboratório de Nutrição Animal da UFMS.

Aos meus amigos, memoráveis e queridos professores de inglês Kimberly Mendes, Antônio A. Bianchi e Scarlet Huber.

À FAPESP pelo suporte financeiro ao projeto e a bolsa de estudos no país e no exterior.

À EMBRAPA Gado de Corte pelo suporte financeiro ao projeto.

A todos aqueles que não foram citados, mas que de alguma forma me apoiaram.

“Uma teoria é tanto mais impressionante quanto maior é a simplicidade das suas premissas, quanto mais coisas diferentes ela relaciona e quanto mais ampla é sua área de aplicabilidade”

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA ESTIMAR AS CURVAS DE LACTAÇÃO E AS EXIGÊNCIAS LÍQUIDAS DE VACAS DE CORTE UTILIZANDO MODELAGEM NÃO-LINEAR DE EFEITOS MISTOS	
Resumo	14
Abstract.....	15
1.1 Introdução.....	17
1.2 Material e Métodos.....	17
1.2.1 Caracterização dos animais	17
1.2.2 Dieta e manejo.....	17
1.2.3 Produção do leite	20
1.2.4 Energia e proteína líquida para a produção do leite	22
1.2.5 Análises estatísticas.....	22
1.2.5.1 Modelo geral.....	22
1.2.5.2 Repetibilidade e erro	24
1.2.5.3 Equações de lactação	25
1.2.5.4 Modelo não-linear de efeitos mistos.....	25
1.3 Resultados e Discussões.....	28
1.3.1 Variáveis corporais e ingestão.....	28
1.3.2 Técnicas para avaliar a produção do leite.....	30
1.3.3 Equações de lactação.....	34
1.3.4 Curvas de lactação e exigências líquidas utilizando a equação de Brody.....	37
1.4 Conclusões.....	46
Referências	47
2 ACESSANDO A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA-AMBIENTAL-ECONÔMICA NA PRÉ-DESMAMA, UTILIZANDO META-ANÁLISE, MODELOS MISTOS E EQUAÇÕES ESTRUTURAIS	
Resumo.....	50

Abstract	51
2.1 Introdução	52
2.2 Material e Métodos	52
2.2.1 Fonte dos dados.....	52
2.2.1.1 Conjunto de dados I	53
2.2.1.2 Conjunto de dados II.....	53
2.2.1.3 Conjunto de dados III.....	54
2.2.2 Descrição da ingestão de nutrientes	54
2.2.2.1 Energia	54
2.2.2.2 Proteína	58
2.2.3 Descrição dos gases do efeito estufa.....	59
2.2.3.1 Metano	60
2.2.3.2 Óxido nitroso	63
2.2.4 Descrição do modelo econômico	65
2.2.5 Análises estatísticas.....	70
2.2.5.1 Modelo linear e meta análise	70
2.2.5.2 Modelo não linear de efeitos mistos e as curvas de lactação	71
2.2.5.3 Modelos de equações estruturais e análise de trilha	71
2.3 Resultados e Discussões	73
2.4 Conclusões	83
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICES.....	86

RESUMO

Efeito do peso adulto e produção de leite de vacas de corte sobre a eficiência energética-ambiental-econômica do sistema de cria

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da produção do leite, das exigências líquidas de lactação e do peso de vacas de corte sobre a eficiência energética, econômica e ambiental do sistema de cria. Diversos genótipos utilizados no sistema de cria nacional foram avaliados em três experimentos tendo seus dados analisados por meta-análise. Os genótipos estudados foram Nelore (NL), Angus x Nelore (AN), Canchim x Nelore (CN), Caracu x Nelore (CR) e Simental Nelore (SN). Um experimento inicial definiu a melhor forma de avaliação da produção de leite e da forma da curva de lactação. Foram testadas as metodologias de pesagem do bezerro antes e após a mamada (PMP) e de ordenha mecânica (OM). Os resultados destes estudos permitiram primeiramente defender as seguintes questões: i) a técnica OM é melhor que PMP para predizer diferenças genéticas e ambientais na produção do leite entre vacas de corte e ii) dados obtidos pela OM e analisados pelos modelos não-lineares de efeitos mistos (NLEM) permitem a inclusão dos efeitos que afetam as curvas de lactação e as exigências das vacas. Na análise do modelo de cria, com objetivo de avaliar o efeito dos diferentes parâmetros e características produtivas, alguns métodos estatísticos foram utilizados. Estes incluíram além da modelagem das curvas de lactação por NLEM, o uso da meta-análise, assim como de modelos de equações estruturais para estudo do modelo ambiental e econômico. Nas simulações do ciclo completo de cria foi possível verificar o impacto dos parâmetros avaliados nos experimentos, incluindo o peso adulto e a produção de leite. Em função da inexistência de dados de reprodução, o modelo não assumiu nenhum efeito de genótipo ou exigências sobre as taxas reprodutivas. Os resultados demonstram que o aumento do peso adulto reduz a eficiência do sistema de produção e reduz a lucratividade da produção por unidade de peso de bezerro a desmama ($P < 0.05$). O aumento da produção de leite aumenta a eficiência e a lucratividade do setor de cria. Vacas Nelore apresentam menor demanda energética que vacas Nelore x *Bos taurus* (8 a 20% menor, $P = 0,036$). Vacas com maior potencial de produção de leite, e mais leves são também mais lucrativas e concomitantemente apresentam menores impactos ambientais (menor produção total de gases de efeito estufa).

Palavras-chave: *Bos indicus*; *Bos taurus*; Cria; Cruzamento; Lucro; Úbere

ABSTRACT

Effect of mature weight and milk production on energetic, environmental and economic efficiency of the beef cow-calf system

Our objective was to evaluate the effects of milk production, net energy requirements for lactation and mature live weight of beef cows on energetic, economic and environmental efficiency of the cow-calf system. Several genotypes were used in a model that simulates the Brazilian cow-calf system in which data from three large experiments were analyzed by meta-analyses. The genotypes were Nellore (NL), Angus x Nellore (AN), Canchim x Nellore (CN), Caracu x Nellore (CR) and Simental Nellore (SN). An initial experiment defined the best approach to measure milk production as well as the parameters of the lactating curve. Two methodologies were tested: weigh-suckle-weigh (WSW) and machine milking (MM). Our results support the following: i) MM methodology is superior than WSW to predict genetic and environmental differences in milk production among beef cows and; ii) MM data analyzed by non-linear mixed (NLMM) models allow the evaluation of how different characteristics (e.g. genotype) affect the shape of the lactation curve and the net energy and protein requirements of the cows. With the data from the experiments, a cow-calf biologic, environmental and economic model was developed. The objective was to evaluate the effect of different parameters and productive characteristics of animals on efficiencies. Several statistical methods were used: lactation curve modeling by non-linear mixed-effects models (NLME), meta-analysis and structural equation modeling to establish the model. The complete cow-calf cycle simulation demonstrated the impact of mature body weight (BW) and milk production. Due to the lack of experimental reproductive data, the model assumed no genotype or requirements effects on the reproductive rates which were maintained constant. Results show that increasing mature BW reduces the system efficiency and reduces profitability by kilogram of weaned calf. The increase in milk production increases the efficiency and profitability of the cow-calf system ($P < 0.05$). Nellore cows presented lower energetic requirements than Nellore x *Bos taurus* cows (8 to 20% lower, $P = 0.036$). Cows having greater milk production potential and lower mature body weight are more profitable and at the same time have lower environmental impacts (less greenhouse gases emission per unit of beef).

Keywords: *Bos indicus*; *Bos taurus*; Crossbreed; Life cycle assessment; Profit; Udder

1 UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA ESTIMAR AS CURVAS DE LACTAÇÃO E AS EXIGÊNCIAS LÍQUIDAS DE VACAS DE CORTE UTILIZANDO MODELAGEM NÃO-LINEAR DE EFEITOS MISTOS

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar métodos para prever a produção do leite e as exigências líquidas de lactação de vacas de corte utilizando modelos não-lineares de efeitos mistos (NLEM). Foram utilizadas 20 vacas Caracu x Nelore (CN) e 10 Nelore (NE) inseminadas com touros Red Angus e 10 Angus x Nelore (AN) acasaladas com touros Canchim. As vacas foram avaliadas desde após o parto (25 ± 11 dias) até a desmama (220 dias). A produção do leite foi estimada pelas técnicas de pesagem do bezerro antes e após a mamada (PMP) e ordenha mecânica (OM), aos 25, 52, 80, 109, 136, 164, 193 e 220 ± 11 dias de lactação. Equações não-lineares (Brody, Jenkins e Wood) foram consecutivamente ajustadas aos dados e comparadas usando critérios de informação de Akaike (AIC) e de Schwarz (BIC). Para cada equação, um NLEM foi utilizado para estimação de todos os perfis de lactação, incorporando diferentes fontes de variação (efeitos do sexo da progênie e genótipo das vacas). Ademais, os efeitos das vacas, aninhado como efeito aleatório, bem como as correlações da produção das mesmas foram considerados. O coeficiente de variação da técnica OM (29%) foi menor comparado a PMP (45%). A PMP foi responsável por reduzir a variância 1,5 vezes entre os indivíduos, que minimizou a capacidade de detectar diferenças entre as vacas. Assim, optou-se, somente por usar dados da produção do leite avaliada pela OM nos modelos NLEM. A equação de Brody proporcionou a melhor adequação ao conjunto de dados e a inclusão do processo contínuo auto-regressivo melhorou o ajuste dos dados ($P < 0,01$). As produções do leite, energia e proteína ao início da lactação foram afetadas pelo genótipo da vaca e pelo sexo da progênie ($P < 0,05$). A taxa de decaimento exponencial das curvas foi afetada somente pelo genótipo ($P < 0,05$). Vacas AN produziram 26 e 71% mais leite que CN e NE durante o experimento, respectivamente. Vacas CN produziram 35% mais leite que NE ($P < 0,01$). As exigências de energia e proteína para a produção do leite seguiram a mesma ordem. Bezerros (machos) estimularam suas mães a produzir 10,6, 10,2 e 11,3% mais leite, energia e proteína, respectivamente ($P < 0,01$). Conclui-se que a técnica OM é melhor que PMP para prever diferenças genéticas e ambientais na produção do leite entre vacas de corte. Além disso, dados obtidos pela OM e analisados pelos modelos NLEM permitem a inclusão de efeitos fixos, efeitos aleatórios e o processo auto-regressivo nas equações para melhor descrever as curvas de lactação e as exigências líquidas. Portanto, o NLEM é uma ferramenta útil para descrever diferenças nas exigências de lactação que é menor para o genótipo NE.

Palavras-chave: *Bos indicus*; *Bos taurus*; Cria; Cruzamento; Função sigmoidal; Úbere

Abstract

The objective of this study was to evaluate methods to predict milk secretion and net requirements of beef cows using a nonlinear mixed-effect modeling (NLME). Twenty Caracu x Nellore (CN) and 10 Nellore (NE) cows were inseminated to Red Angus bulls and 10 Angus x Nellore (AN) were bred to Canchim bulls. Cows were evaluated from just after birth (25 ± 11 d) to weaning (220 d). Milk yield was estimated by weighing calves before and after suckling (WSW) and by machine milking (MM) methods at 25, 52, 80, 109, 136, 164, 193, and 220 ± 11 d of lactation. Brody, Jenkins and Wood equations were consecutively fitted to the data and compared using information criteria. For each equation, a NLME model was used to estimate all lactation profiles incorporating different sources of variation (calf sex and breed of cow effects). Moreover, effects of cow as nested random effect and within-cow correlation were included. The coefficient of variation of the MM method (29%) was lower than WSW (45%). Consequently, the WSW method was responsible for reducing the variance about 1.5 times among individuals, which minimized the capacity to detect differences among cows. As a result, only milk yield MM data was used on the NLME models. The Brody equation provided the best fit to this data set and an inclusion of a continuous autoregressive process improved fit to data ($P < 0.01$). Milk, energy and protein yield at beginning of lactation were affected by cow genotype and calf sex ($P < 0.05$). The exponential decay of the lactation curves was affected only by genotype ($P < 0.05$). Angus x Nellore cows produced about 26 and 71% more milk than CN and NE during the trial, respectively. Caracu x Nellore cows produced 35% more milk than NE ($P < 0.01$). The net energy and net protein requirements for milk yield followed a similar ranking. Male calves stimulated their dams to produce 10.6, 10.2, and 11.3% more milk, energy and protein, respectively ($P < 0.01$). The MM is better than WSW technique to predict genetics or environmental differences in milk yield among beef cows. The data obtained by the MM method and analyzed by NLME models allow the inclusion of fixed effects, random effects and an autoregressive process on lactation equations to describe lactation curves and net requirements. The NLME is a useful tool to describe differences of lactation requirements that is lower to the NE genotype.

Keywords: *Bos indicus*; *Bos taurus*; Crossbred; Offspring; Sigmoidal function; Udder

1.1 Introdução

O crescimento do bezerro e a receita de produtores de cria são altamente correlacionados com a produção do leite, especialmente em um ambiente nutricional não limitante (BEAL; NOTTER, 1990; MILLER et al., 1999). Contudo é difícil acessar a produção do leite em vacas de corte, principalmente, por serem criadas exclusivamente sob regime de pastejo. Assim, uma técnica apropriada para quantificar a produção do leite é o primeiro passo para estimar com precisão e acurácia o potencial produtivo de vacas de corte. Evidências sugerem que a produção do leite estimada pela ordenha mecânica comparada com outros métodos pode apresentar menor variabilidade (MONDRAGON et al., 1983) e maior repetibilidade (BEAL; NOTTER, 1990).

O próximo passo na predição da produção do leite envolve a escolha de equações e métodos estatísticos para ajustar o conjunto de dados. Recentes evoluções em teoria estatística e o aumento do poder computacional passaram a permitir incorporar especificações ou efeitos por meio de modelos não-lineares de efeitos mistos (NLEM, PINHEIRO; BATES, 2000). Estes modelos tem sido recentemente descritos no ajuste de curvas de lactação de vacas do leite (VAL-ARREOLA et al., 2004), mas não em vacas de corte. Adicionalmente, poucos estudos têm investigado as exigências de energia líquida e proteína para produção do leite em vacas de corte no Brasil (CALEGARE et al., 2007, 2009). É importante destacar que o Brasil possui o maior rebanho comercial de cria do mundo (~ 49,7 milhões de bezerros nascidos em 2009, USDA, 2010), mas ainda não possui modelos próprios que permitam predizer as exigências nutricionais durante a lactação de vacas de corte, o que é de fato preocupante.

Portanto, os propósitos deste estudo foram 1) coletar dados de produção do leite por meio de duas técnicas e compará-las, utilizando três genótipos de vacas de corte avaliadas em um sistema controlado simulando rebanhos de cria no Brasil, 2) especificar modelos NLEM incluindo estruturas de correlação e medidas repetidas de produção do leite que permitam identificar uma equação adequada para descrever a curva de lactação de vacas de corte após 25 dias pós-parto e 3) avaliar o efeito de vacas de diferentes genótipos e o efeito do sexo de sua progênie sobre a curva de lactação.

1.2 Material e Métodos

Todos os procedimentos com os animais foram conduzidos a partir dos padrões éticos de pesquisa estabelecidos pela Universidade de São Paulo e pela Embrapa Gado de Corte.

1.2.1 Caracterização dos animais

Foram avaliadas 20 vacas Caracu x Nelore (CN) e 10 Nelore (NE) inseminadas com sêmen Red Angus (RA) e 10 Angus x Nelore (AN), acasaladas com touro Canchim (CC). Os pares vaca/bezerro selecionados a partir do rebanho da Embrapa Gado de Corte (Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil) foram avaliados em dois grupos: 1º grupo (10 CN e 10 AN avaliadas entre outubro de 2005 e maio de 2006) e 2º grupo (10 CN e 10 NE estudadas entre novembro de 2006 e maio de 2007). O experimento foi conduzido em blocos incompletos casualizados. Os blocos ($n = 3$) foram formados pela combinação do ano e da data de parto: bloco 1: 7 AN e 4 CN (média da data de parto: 29/09/2005 \pm 6 dias DP); bloco 2: 3 AN e 6 CN (14/10/2005 \pm 4 dias); e bloco 3: 10 NE e 10 CN (13/10/2006 \pm 11 dias). Vacas CN estabeleceram conexão entre os blocos incompletos.

Anteriormente ao período experimental, as vacas foram mantidas em pastagem, onde foi ofertado sal mineral na taxa de $\sim 70 \text{ g}\cdot\text{vaca}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ (composição, base MS: 15,14% Na, 10,56% Ca, 8,92% P, 1,07% Mg, 6,08% S, 6.691 ppm Zn, 2.829 ppm Fe, 1.153 ppm Cu, 797 ppm Mn, 90 ppm I, 31ppm S e 24 ppm Co). Ao parto, as vacas apresentavam 62 ± 19 meses, num escore de condição corporal $4,6 \pm 0,6$ (ECC, numa escala de 1 a 9) e estavam no mínimo no segundo parto. Após 25 ± 11 dias pós-parto os pares vacas/bezerras foram aleatorizados e distribuídos em baias individuais até a desmama (220 dias pós-parto). A relação bezerras:bezerros foi 5:5 para os genótipos $\frac{1}{2}\text{RA}\frac{1}{2}\text{NE}$ e $\frac{1}{2}\text{CC}\frac{1}{4}\text{AN}\frac{1}{4}\text{NE}$, contudo, para o genótipo $\frac{1}{2}\text{RA}\frac{1}{4}\text{CN}\frac{1}{4}\text{NE}$ essa relação foi 9:11. Bezerros machos não foram castrados. Vacas não foram expostas aos touros durante a estação de reprodução e conseqüentemente, os dados reprodutivos não foram avaliados.

1.2.2 Dieta e manejo

Os pares vacas bezerro foram alocados em baias individuais (46 m^2) com área de cocho coberta e estruturada em piso de concreto com acesso irrestrito a água. A ingestão de alimento foi quantificada individualmente utilizando um sistema de cancelas eletrônicas (American Calan,

Nortwood, NH). Nesse sistema as vacas tinham acesso ao cocho por meio das cancelas automáticas, já o cocho do bezerro foi equipado com uma limitação de altura prevenindo o acesso das vacas. Os animais foram submetidos a um período de adaptação de 14 dias às baias e ao sistema de cochos antes do início do experimento.

Neste estudo, a mesma dieta das vacas foi ofertada *ad libitum* para os bezerros a partir dos 33 dias de idade. Os animais foram alimentados diariamente as 8h00 e 15h00. Ao início do experimento, a ingestão de energia metabolizável (IEM) foi estimada individualmente baseada na energia líquida para manutenção e lactação de acordo com Fox et al. (1992). Quatro dietas foram oferecidas em função da necessidade da substituição da fonte de volumoso. Na substituição da dieta que foi realizada aos 134, 194 e 203 dias após o início do experimento (1º grupo: 10 AN e 10 CN, 2005-2006) a IEM foi ajustada de acordo com as exigências individuais das vacas (Tabela 1.1). Além disso, a ingestão de MS de cada vaca foi ajustada individualmente em intervalos de 28 dias minimizando a mudança do peso em jejum (PV_j) e mantendo o ECC constante. O objetivo desse controle de ingestão foi simular um manejo recomendado de rebanhos de cria produzidos sobre condição de pastejo no Brasil.

Tabela 1.1 - Composição das dietas experimentais (base MS)

Variável	1º período ¹			2º período
	Silagem sorgo	Silagem milho	Silagem sorgo + milheto	Silagem sorgo
Composição das dietas				
Silagem de sorgo	85,01	—	—	85,34
Silagem de milho	—	80,64	—	—
Silagem sorgo + milheto	—	—	78,91	—
Milho grão	6,72	4,54	4,94	4,60
Farelo de soja	7,68	13,49	14,7	9,33
Uréia	—	0,59	0,64	—
Calcário	—	0,17	0,19	—
Suplemento ²	0,58	0,57	0,62	0,72
Composição química³				
EM ⁴ , Mcal/kg MS	2,27 ± 0,04	2,55 ± 0,01	2,26	2,18 ± 0,06
Extrato etéreo, % MS	1,96 ± 0,14	2,67 ± 0,08	1,74	2,12 ± 0,27
PB, % MS	10,5 ± 0,9	16,4 ± 0,8	14,6	9,32 ± 1,38
FDN, % MS	58,7 ± 2,8	43,1 ± 0,5	54,5	60,99 ± 2,92
Período ofertado, dias	134	59	9	216

¹Início dos períodos: 1º (16 de outubro de 2005) e 2º (16 de novembro de 2006).

²Composição: 15,14% Na, 10,56% Ca, 8,92% P, 1,07% Mg, 6,08% S, 6,691 ppm Zn, 2,829 ppm Fe, 1,153 ppm Cu, 797 ppm Mn, 90,2 ppm I, 31,5 ppm S e 24 ppm Co. Vit. A, D, E, e K foram administrados por via subcutânea (ADE Thor Tortuga®, São Paulo, Brasil).

³Média ± DP. Extrato etéreo, PB em FDN foram analisados.

⁴NDT foi estimado a partir da equação proposta por Weiss et al. (1992) utilizando o coeficiente de digestão do FDN = 0,75.

Antes de cada avaliação (entre os intervalos de 28 dias), os bezerros e as vacas foram mantidos por 3 dias em baias coletivas próximos ao curral de manejo e foram avaliados quanto a produção do leite, PV_j, ECC e medidas ultra-sonográficas. Vacas e bezerros foram pesados após 16 horas de jejum hídrico e alimentar. O ECC das vacas (escala de 1 a 9, FOX et al., 1992) foi avaliada por dois técnicos treinados, que foram mantidos durante todo o experimento. A espessura da gordura subcutânea (EGS) foi avaliada entre a 12ª e 13ª costelas sobre o músculo *longissimus dorsi* no lado direito de cada vaca, na primeira e última avaliação do PV_j. As

avaliações ultra-sonográficas foram realizadas usando um equipamento de ultra-som de tempo real (Aloka SSD-500V, Aloka, Wallingford, USA) com uma sonda linear de 170 mm e 3,5 MHz. Para esses três dias de manejo de coleta, a ingestão foi considerada como a média obtida no período prévio (~ 28 dias) enquanto os animais estavam nas baias individuais.

A IEM de cada vaca no final deste estudo foi ajustada para mudança zero no PV_j (MEI_c) calculada pela IEM observada menos a EM retida dos tecidos (ER) ou mais a energia mobilizada (MOB). A ER foi estimada considerando 5,2 Mcal/kg de ganho ou perda de peso vazio (PV_z , FOX et al., 1992). O PV_z foi considerado 85,1% do PV_j (NRC, 1996). A eficiência energética adotada foi 62% para a ER (D. P. D. Lanna, Universidade de São Paulo, Brasil, comunicação pessoal) e 82% para a MOB (MOE et al., 1971; eq. 1.1).

$$IEM_c = IEM - \left\{ \left[(PV_{j_{\text{ganho}}} \times 0,851) \times 5,2 \right] \div 0,62 \right\} + \left\{ \left[(PV_{j_{\text{perdido}}} \times 0,851) \times 5,2 \right] \div 0,82 \right\}. \quad (1.1)$$

As dietas e sobras dos pares foram quantificadas diariamente. Semanalmente a dieta e as sobras foram amostradas e ao final de cada mês foram compostas para cada vaca e bezerro. Estas amostras individualmente preparadas foram analisadas quanto a MS, PB, NFDN, NFDA, cinzas e extrato etéreo (AOAC, 1990), FDN, FDA e lignina (via ácido sulfúrico, VAN SOEST et al., 1991). A EM da dieta e sobras foi calculada em função da concentração de NDT que foi estimada de acordo com Weiss et al. (1992) utilizando 0,75 como a taxa de degradação da FDN potencialmente digestível. A ingestão de nutrientes foi calculada como a diferença entre o conteúdo de nutrientes na dieta e sobras.

1.2.3 Produção do leite

Aos 25, 52, 80, 109, 136, 164, 193 e 220 ± 11 dias pós-parto as vacas foram avaliadas quanto a produção do leite utilizando as técnicas de pesagem do bezerro antes e após a mamada (PMP, CUNDIFF et al., 1974) e ordenha mecânica (OM). Cada determinação de produção do leite foi conduzida durante 3 dias. No primeiro dia, os bezerros foram separados de suas mães as 8h00. As vacas e bezerros foram aproximados as 16h00 e a mamada foi permitida sobre observação constante, até a saciedade do bezerro, quando os pares foram separados. Na manhã do segundo dia, os bezerros foram pesados, permitidos mamar as 8h00 e foram pesados novamente

para quantificar o leite produzido no intervalo de 16 horas. Este procedimento foi repetido as 16h00, o que proporcionou quantificar a produção no intervalo de 8 horas. Nos momentos de mamada, que nunca excederam 30 minutos, as vacas e bezerros foram pareados em grupos de 3 a 4 animais. A produção diária do leite (kg/d, PMP) foi determinada como a soma da produção do leite nos intervalos de 16 e 8 horas. Os bezerros não receberam dieta sólida no primeiro e segundo dias de manejo de produção do leite. No terceiro dia a dieta sólida foi ofertada. Foi disponibilizada água para os bezerros durante todo o período de manejo, exceto durante as os momentos de pesagem (PMP).

A ordenha mecânica foi realizada as 8h00 do terceiro dia para quantificar a produção no intervalo de 16 horas. Este procedimento foi repetido as 16h00 (intervalo de 8 horas) mantendo a mesma seqüência das vacas ordenhadas as 8h00. Esta estratégia foi utilizada para reduzir a variância da produção no intervalo de avaliação. Na primeira e segunda OM, cada vaca foi avaliada em tronco de contenção e seu bezerro foi posicionado a frente para estimular a secreção endógena de ocitocina. Adicionalmente, foram administradas 20 UI (i.v.) de ocitocina (Ocitocina Forte UCB[®], Jaboticabal, Brasil) imediatamente antes do início da ordenha mecânica. O conjunto de ordenha foi removido quando o fluxo do leite de cada quarto cessou. A produção do leite foi quantificada imediatamente após a coleta. A produção diária foi calculada pela adição da produção das duas ordenhas. Contudo, foi necessário ajustar a produção do leite para o intervalo de 24 horas (eq. 1.2), como segue:

$$PL_{24}, \text{ kg/d} = 24 \times \left(\frac{PL_{16} + PL_8}{TEV} \right). \quad (1.2)$$

onde PL_{24} é a produção do leite estimada pela OM para o intervalo de 24 horas, kg/d; PL_{16} e PL_8 é a produção do leite quantificada pela OM nos intervalos de 16 e 8 horas, respectivamente, kg; e TEV é o tempo de espera da vaca entre a segunda PMP e a segunda OM, h.

A produção do leite não foi coletada pela OM no primeiro ponto de quantificação do primeiro grupo de vacas. A produção do leite de uma vaca NE avaliada pela OM no último ponto de quantificação foi anormalmente baixa e não foi considerada na análise em função de sua

influência sobre os parâmetros da curva de lactação. Portanto, um total de 1.238 quantificações de produção do leite obtidas pelas técnicas PMP e OM foram analisadas.

1.2.4 Energia e proteína líquida para a produção do leite

As amostras de leite foram analisadas individualmente em cada ordenha mecânica (as 8h00 e 16h00). As amostras do leite foram analisadas quanto aos teores de gordura, proteína e lactose por espectrofotometria infravermelha (Bentley Instruments Inc., Chaska, MN). A energia secretada no leite foi estimada utilizando os valores de combustão de 9,29, 5,47 e 3,95 Mcal/kg de gordura, proteína e lactose, respectivamente (NRC, 2001). O volume e a composição do leite do leite avaliado nos intervalos de 16 e 8 horas foram compostos individualmente por vaca. Conseqüentemente, a energia líquida (E_l , Mcal/d; eq. 1.3) e proteína líquida (P_l , g/d; eq. 1.4) para a produção do leite foi ajustada para o intervalo de 24 horas, assim:

$$E_{124} = 24 \times \frac{(PL_{16} \times E_{116}) + (PL_8 \times E_{18})}{TEV}; \text{ e} \quad (1.3)$$

$$P_{124} = 24 \times \frac{[(PL_{16} \times \text{proteína}_{16} \%) + (PL_8 \times \text{proteína}_8 \%)] \times 1000}{TEV}, \quad (1.4)$$

onde E_{124} é a energia líquida para produção do leite estimada pela técnica da OM no intervalo de 24 horas, Mcal/d; P_{124} é a proteína líquida para a produção do leite estimada pela OM no intervalo de 24 horas, g/d; E_{116} e E_{18} é a energia líquida para produção do leite nos intervalos de 16 e 8 horas, respectivamente, calculado em função da função (Mcal/kg) = $0,0929 \times \text{gordura}\% + 0,0547 \times \text{proteína}\% + 0,0395 \times \text{lactose}\%$; e proteína_{16} e proteína_8 é a concentração de proteína do leite nos intervalos de 16 e 8 horas, respectivamente.

1.2.5 Análises estatísticas

1.2.5.1 Modelo geral

As variáveis de condição corporal das vacas (PV_j , ECC, EGS e suas mudanças), energia ingerida e produção do leite observada foram analisadas como blocos incompletos casualizados.

No modelo resultante, o efeito do ano do experimento (2005-2006 e 2006-2007) e a data de parto foram implementadas dentro do efeito de bloco. O modelo linear de efeitos mistos (LEM; eq. 1.5) considerado foi:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + G_j + S_k + (\beta + b_i) \times l_{ijkl} + e_{ijkl}, \quad (1.5)$$

onde Y_{ijkl} é a resposta do bloco i , do genótipo da vaca j , em que o sexo de sua progênie é k , do par vaca/bezerro l ; μ é média da população; B_i ($B_i \sim N(0, \sigma_B^2)$) é o efeito aleatório do bloco definido pela combinação do ano do experimento e pela data de parto, onde $i = 1, 2, 3$; G_j é o genótipo da vaca e foi considerado como efeito fixo, onde $j = \text{Angus x Nelore, Caracu x Nelore e Nelore}$; S_k é o efeito fixo referente ao sexo da progênie; β é o coeficiente de regressão da variável de acordo com a idade do bezerro à desmama; b_i ($b_i \sim N(0, \sigma_b^2)$) é o efeito aleatório da inclinação de cada bloco; l_{ijkl} é a observação da idade do bezerro do bloco i , do genótipo j , do sexo k , do par vaca/bezerro l e e_{ijkl} é o erro do modelo, onde $e_{ijkl} \sim \text{NID}(0; \sigma^2)$.

Os resultados foram analisados com o procedimento MIXED do software SAS (SAS, Inst. Inc., Cary, NC). O componente de estrutura de covariância padrão (TYPE=VC) foi usado para especificar o efeito aleatório da inclinação de cada bloco e o coeficiente da variável de acordo com a idade do bezerro a desmama. Após ANOVA, foram estimados as médias de quadrados mínimos e os respectivos erros padrão (EP). O teste de Tukey foi utilizado para comparar as diferenças médias entre os genótipos.

Os resíduos Studentizados foram testados para normalidade utilizando o procedimento CAPABILITY do SAS. A EGS das vacas demonstrou uma distribuição não normal ($P < 0.01$) e estes dados foram transformados pelo método Box-Cox (PELTIER et al., 1998) utilizando o procedimento TRANSREG do SAS. O valor ótimo estimado para a transformação foi $\lambda = -1.1$, onde $EGS^\lambda = \frac{EGS^\lambda - 1}{\lambda}$. O conjunto de dados transformados foi usado no teste de hipóteses. Adicionalmente, o PV_j da vaca, ECC, EGS e a composição do leite ao início do experimento e a desmama foram comparados usando o procedimento MIXED do SAS.

1.2.5.2 Repetibilidade e erro

A produção do leite das vacas avaliada durante a lactação (25, 52, 80, 109, 136, 164, 193, e 220 ± 11 dias), nos diferentes intervalos (8, 16 e 24 horas) e pelos dois métodos (PMP e OM) foi utilizada para estimar o coeficiente de repetibilidade ($\hat{\rho}$) usando um modelo linear simples e ANOVA com o PROC GLM do SAS. A produção de leite foi predita considerando os efeitos de bloco, sexo da progênie, vaca e o dia de lactação aninhado com os efeitos de genótipo e da vaca. O componente RANDOM foi usado para calcular os valores esperados dos quadrados médios para o efeito representado pela vaca. Os componentes de variância foram obtidos pela soma de quadrados do tipo III do SAS e o $\hat{\rho}$ foi calculado como segue (eq. 1.6 e 1.7):

$$\sigma_{\text{vaca}}^2 = \frac{\text{QM}_{\text{vaca}} - \text{QM}_{\text{erro}}}{k}; \quad (1.6)$$

$$\hat{\rho} = \left(\frac{\sigma_{\text{vaca}}^2}{\sigma_{\text{vaca}}^2 + \sigma_{\text{erro}}^2} \right) \times 100, \quad (1.7)$$

onde σ_{vaca}^2 é a variância esperada da produção de leite entre vacas, kg^2 ; QM_{vaca} é o quadrado médio da produção entre vacas; QM_{erro} é o quadrado médio do erro do modelo; k é o quadrado médio esperado do tipo III devido a vaca e σ_{erro}^2 é a raiz do quadrado médio do erro do modelo, kg^2 .

A opção MANOVA do procedimento GLM do SAS foi utilizada para imprimir a matriz de correlação residual e os níveis de probabilidade para o teste de significância para a correlação entre a produção de leite nos diferentes intervalos. Além disso, a partir do $\hat{\rho}$ foi possível estimar o número ótimo de avaliações de produção do leite (η_o) utilizando uma meta de determinação (R^2 , CRUZ et al., 2004; eq. 1.8).

$$\eta_o = \frac{R^2 (1 - \hat{\rho})}{(1 - R^2) \hat{\rho}}. \quad (1.8)$$

O η_o e o erro dentro de grupos (desvio padrão residual) foram apresentados graficamente. O erro da produção do leite dentre as vacas (σ , kg/d, intervalo de 24 horas) foi obtido pelo LEM para cada avaliação de produção do leite (~ 8 avaliações/vaca).

1.2.5.3 Equações de lactação

Três equações empíricas que têm sido utilizadas para descrever curvas de lactação foram avaliadas. A equação de Brody et al. (1923) é um modelo simples de 2 parâmetros, caracterizado por uma curva continuamente decrescente (eq. 1.9). Este modelo não leva em consideração o aumento da curva até um pico após o parto. Wood (1967) propôs uma equação do tipo gama, amplamente utilizada, com três parâmetros que leva em consideração o aumento até um pico (eq. 1.10). Jenkins e Ferrell (1984) introduziram uma equação gama modificada. Este modelo possui dois parâmetros, entretanto, considera a produção do leite zero ao parto (eq. 1.11). As equações de lactação foram definidas matematicamente como segue:

$$Y = ae^{-bt}; \quad (1.9)$$

$$Y = at^b e^{-ct}; \quad (1.10)$$

$$Y = \frac{t}{ae^{bt}}, \quad (1.11)$$

onde Y é a produção do leite (kg/d); t é o período de lactação (dias); e a , b , c são os parâmetros que definem a escala e a forma da curva.

Ademais, uma função linear simples baseada no modelo linear de efeitos mistos foi avaliada. Neste modelo resultante, o leite como variável dependente foi descrito pela interação de efeitos fixos (genótipo das vacas, sexo dos bezerros e período de lactação). O efeito da vaca foi incorporado ao modelo como aleatório.

1.2.5.4 Modelo não-linear de efeitos mistos

O propósito do modelo NLEM baseado nas curvas de lactação empíricas em que o modelo incorpora conceitos biológicos (efeitos dos genótipos das vacas e do sexo de seus

bezerros) e características dos dados (assíntotas e monotonicidade) resultam em um modelo semi-mecanístico de acordo com Pinheiro e Bates (2000). A produção de leite a partir da técnica PMP foi mais variável e apresentou menor repetibilidade. Portanto, somente a produção de leite estimada a partir da técnica OM foi utilizada na análise dos dados. O efeito devido à vaca foi incluído no NLEM como efeito aleatório. Análises estatísticas foram realizadas utilizando a macro NLINMIX seguindo a seqüência de análise pormenorizada por Strathe et al. (2010). No modelo NLEM correspondente Y_{ijk} é a produção do leite da i -ésima ($1 \leq i \leq n$) vaca, do j -ésimo genótipo (AN, CN e NE), em que k representa o sexo de seu bezerro na t -ésima ($1 \leq k \leq n_{ij}$) idade do bezerro ou dia pós-parto da vaca. No modelo NLEM os efeitos fixos (genótipo e sexo) foram incorporados diretamente dentro dos parâmetros. Entretanto, o efeito aleatório (vaca) foi incluído somente no parâmetro a e representou a variação de vaca para vaca. Conseqüentemente, o NLME foi (eq. 1.12):

$$Y_{ij} = f(\varphi_i, DEL_{ij}) + e_{ij}, \quad i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, n_i$$

$$\varphi_i = \begin{bmatrix} \varphi_{1i} \\ \varphi_{2i} \\ \cdot \\ \cdot \\ \varphi_{di} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{11} \cdot x_1 + \beta_{12} \cdot x_2 + \beta_{13} \cdot x_3 + \beta_{14} \cdot x_4 + \beta_{15} \cdot x_5 + \beta_{16} \cdot x_6 + b_{1i} \\ \beta_{21} \cdot x_1 + \beta_{22} \cdot x_2 + \beta_{23} \cdot x_3 + \beta_{24} \cdot x_4 + \beta_{25} \cdot x_5 + \beta_{26} \cdot x_6 + b_{2i} \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_{d1} \cdot x_1 + \beta_{d2} \cdot x_2 + \beta_{d3} \cdot x_3 + \beta_{d4} \cdot x_4 + \beta_{d5} \cdot x_5 + \beta_{d6} \cdot x_6 + b_{di} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} b_{1i} \\ b_{2i} \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{di} \end{bmatrix} \stackrel{i.i.d.}{\sim} N(0, \psi), \quad \begin{bmatrix} e_{ij1} \\ e_{ij2} \\ \cdot \\ \cdot \\ e_{ijn_{ij}} \end{bmatrix} \stackrel{i.i.d.}{\sim} N(0, \Lambda_{ij}). \quad (1.12)$$

Na eq. 1.12 a função f é uma equação não-linear dos dias em lactação (DEL_{ij}), uma reconhecida variável contínua; φ_i é o vetor de parâmetros (parâmetros a , b e c) e e_{ij} é o erro do modelo. d refere-se ao número de parâmetros em uma dada equação de lactação. O efeito aleatório vaca (b_i) é assumido independente do erro dentro de vaca (e_{ij}). O β é representado

pelos efeitos fixos dos parâmetros da curva devido ao genótipo, sexo e sua interação. Os efeitos fixos devido ao genótipo (AN, CN e NE) e sexo da progênie são introduzidos por meio de 6 variáveis “dummy”: $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5,$ e $x_6,$ respectivamente. A matriz de variância-covariância não estruturada ψ modela a variabilidade entre vacas nos parâmetros funcionais dos modelos de lactação (Brody, Wood e Jenkins). Além disso, é uma matriz dimensional $d \times d$ quando todos os parâmetros são incluídos com o efeito aleatório da vaca. Isto faz sentido biológico, pois assume que os efeitos aleatórios individuais são correlacionados, já que a vaca com alta produção do leite ao parto tende a ser a vaca que apresenta maior produção do leite a desmama. Em outras palavras, esta característica tem considerável repetibilidade. O termo $\Lambda_{ij} = I_{ij}$ foi inicialmente assumido, onde os erros dentro de vaca (e_{ij}) são independentes, idênticos, e $N(0, \sigma^2 I_{ij})$ são vetores aleatórios (I_{ij} , uma matriz identidade).

As observações individuais das vacas foram desigualmente espaçadas no tempo. Um processo auto-regressivo contínuo de primeira ordem foi ajustado aos erros dentro de vaca, que possuiu a propriedade de adequar as observações espaçadas desigualmente (PINHEIRO; BATES, 2000).

O modelo de melhor desempenho foi utilizado para análise subsequente baseado nos seguintes indicadores de ajuste: critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e desvio padrão residual. Avaliações da razão de verossimilhança (LRT) foram usados para aninhar os modelos (PINHEIRO; BATES, 2000). Reduções dos modelos foram conduzidos em duas etapas. Na primeira, a parte aleatória do modelo foi reduzida seguida pela parte sistemática. Na segunda, após cada etapa o fator menos significativo foi identificado e removido do modelo. Isto foi realizado sucessivamente até o melhor modelo de lactação ser obtido. Seqüencialmente, o modelo final foi ajustado ao conjunto de dados de energia e proteína líquida e as exigências para produção do leite utilizando os modelos NLEM foram estimadas.

Os parâmetros estimados corresponderam a 95% do intervalo de confiança e foram apresentados com seus respectivos EP. O argumento de expansão no NLINMIX foi contemplado pelo EBLUP, que emprega a expansão de Taylor de primeira ordem em torno das estimativas dos efeitos fixos e os modos condicionais dos efeitos aleatórios. A produção individual total do leite, energia e proteína para produção foram avaliadas. Esta avaliação foi baseada no modelo NLEM para obter as diferenças entre os genótipos das vacas e o sexo de seus bezerros durante o período

experimental. A programação detalhada do NLEM, bem como do LRT pode verificada no Apêndice A.

1.3 Resultados e Discussões

1.3.1 Variáveis corporais e ingestão

Vacas CN ($P < 0,01$) foram mais pesadas (PV_j) que vacas NE durante o estudo. Vacas AN apresentaram menor ECC que vacas CN ($P = 0,05$). Em geral, não houve diferença para o PV_j , ECC e EGS entre o início e o final do experimento para os genótipos avaliados. Portanto, o manejo nutricional adotado foi eficiente em minimizar a variação relativa às exigências líquidas das vacas, proporcionando aos animais uma condição comparável àquela encontrada em rebanhos de cria. Ainda assim, a energia individual retida ou mobilizada foi usada para corrigir a ingestão das vacas (Tabelas 1.2 e 1.3).

Tabela 1.2 - Média de quadrados mínimos (EP) do peso em jejum, escore corporal, espessura de gordura, energia retida e consumo das vacas

Variável	Tratamento			P		
	Angus x Nelore, AN	Caracu x Nelore, CN	Nelore, NE	AN vs. CN	AN vs. NE	CN vs. NE
Variáveis corporais						
Peso em jejum, kg	456 (16,8)	475 (11,8)	410 (16,8)	0,64	0,14	< 0,01
Mudança do peso ¹ , kg	19 (15,0)	22 (14,4)	31 (15,6)	0,93	0,47	0,39
ECC ² , escala 1 a 9	4,4 (0,19)	4,8 (0,17)	4,6 (0,20)	0,05	0,62	0,47
Mudança ECC	0,2 (0,11)	0,0 (0,07)	0,0 (0,11)	0,24	0,64	0,83
EGS ³	0,65 (0,027)	0,66 (0,014)	0,70 (0,018)	0,99	0,37	0,18
Mudança EGS, mm	- 0,2 (0,51)	0,6 (0,36)	- 0,9 (0,51)	0,47	0,62	0,07
Ingestão						
IEM total ⁴ , Mcal	4.022 (154,4)	4.272 (116,1)	3.785 (164,7)	0,33	0,53	0,02
IEM _c total ⁵ , Mcal	3.894 (246,9)	4.091 (222,8)	3.484 (265,7)	0,53	0,24	< 0,01
IEM _c , Mcal/d	20,1 (1,23)	21,2 (1,10)	18,1 (1,33)	0,45	0,29	< 0,01
IEM _c , kcal·kg ^{-0.75} ·d ⁻¹	207,9 (14,22)	207,6 (13,64)	193,6 (14,78)	0,99	0,32	0,11

Níveis de significância pelo teste de Tukey foram utilizados para identificar diferenças entre as médias.

¹Diferença entre as avaliações realizadas ao início do experimento (25 ± 11 dias) e a desmama (220 dias).

²ECC = escore de condição corporal.

³EGS = espessura de gordura subcutânea. EGS foi transformada utilizando o método Box-Cox.

⁴Ingestão de energia metabolizável observada.

⁵Ingestão de energia metabolizável corrigida a partir da energia retida nos tecidos.

Tabela 1.3 - Média de quadrados mínimos da comparação entre o peso em jejum, escore corporal e espessura de gordura inicial e final das vacas

Variável/genótipo	Período experimental ¹		EP	P
	Inicial	Final		
Peso em jejum, kg				
Angus x Nelore	438	470	17,5	0,08
Caracu x Nelore	466	481	14,6	0,46
Nelore	409	414	8,6	0,70
ECC ² , escala 1 a 9				
Angus x Nellore	4,6	4,7	0,32	0,50
Caracu x Nellore	4,8	4,7	0,26	0,73
Nellore	4,1	4,2	0,07	0,48
EGS ³ , mm				
Angus x Nellore	3,5	3,3	1,08	0,76
Caracu x Nellore	3,1	3,6	0,27	0,14
Nellore	3,6	4,4	0,45	0,23

Níveis de significância pelo teste de *t* foram utilizados para identificar diferenças entre as médias.

¹Diferença entre as avaliações realizadas ao início do experimento (25 ± 11 dias) e a desmama (220 dias).

²ECC = escore de condição corporal.

³EGS = espessura de gordura subcutânea.

1.3.2 Técnicas para avaliar a produção do leite

A produção de leite estimada pela técnica PMP apresentou um coeficiente de variação aproximadamente 54% maior que a OM para todos os intervalos de tempo estudados (Tabela 1.4). O erro associado ao procedimento de pesagem do bezerro foi o principal fator que influenciou a variabilidade na produção de leite obtida pela PMP. Neidhardt et al. (1979) identificou que a incidência de defecação, urina e chuva são outros fatores que afetam a predição da produção de leite por este método ($P < 0,01$). A alta variabilidade dos valores obtidos pela PMP refletiram na repetibilidade da produção de leite que foi aproximadamente duas vezes menor que a OM, em concordância com os resultados obtidos por Beal et al. (1990). A baixa repetibilidade da produção de leite obtida pela PMP reflete a falta de regularidade entre as avaliações. A PMP foi responsável por reduzir a variância entre os indivíduos em torno de 1,5

vezes, que minimizou a capacidade de detectar diferenças genótípicas e ambientais permanentes entre vacas e tratamentos.

O intervalo, o número e os momentos de avaliação da produção de leite na lactação são variáveis que podem ser manipuladas para minimizar o trabalho e o custo desta estimativa. Neste contexto, a OM no intervalo de 16 horas melhorou a repetibilidade da produção do leite em 561% comparado com o intervalo de 8 horas. Contudo, foi verificado somente 21% de melhoria quando o intervalo de 24 horas foi comparado com 16 horas. A produção de leite avaliada no intervalo de 16 horas foi altamente associada com o intervalo de 24 horas ($r = 0,92$; $P < 0,001$; técnica OM), sugerindo que o intervalo de 16 horas pode ser suficiente para detectar diferenças na produção de leite entre as vacas.

Tabela 1.4 - Médias (\pm DP), coeficiente de variação e repetibilidade para a produção do leite estimada pelas técnicas de pesagem do bezerro antes e após a mamada e ordenha mecânica

Método	Produção do leite observada, kg/intervalo	Coeficiente de variação, %	Repetibilidade, %
Pesagem-mamada-pesagem			
8 horas	1,31 \pm 1,12	85	2,3
16 horas	3,58 \pm 1,72	48	16,5
24 horas	4,89 \pm 2,23	45	24,5
Ordenha mecânica			
8 horas	1,32 \pm 0,53	40	5,1
16 horas	3,88 \pm 1,20	31	33,7
24 horas	5,20 \pm 1,54	29	40,8

A repetibilidade avaliada no intervalo de 24 horas foi utilizada para determinar o número ótimo de avaliações durante a lactação para obter a discriminação fenotípica entre as vacas. Utilizando uma eficiência de 80% (R^2), vacas avaliadas pela PMP e OM precisariam ser avaliadas durante a lactação 12 e 6 vezes durante a lactação, respectivamente (Figura 1.1).

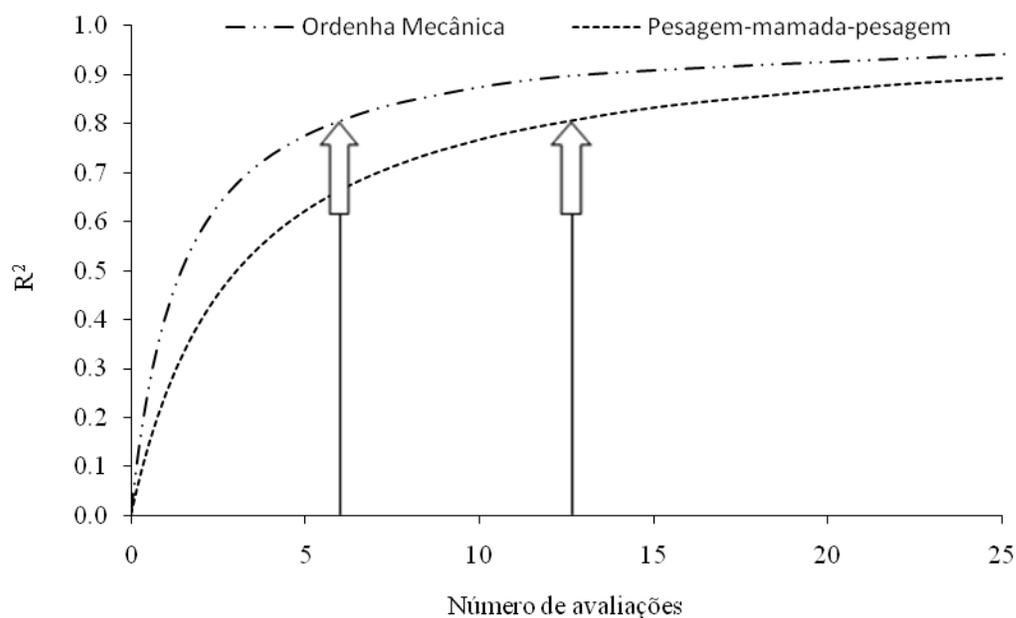


Figura 1.1 - Relação entre o coeficiente de determinação (R^2) e o número de avaliações de produção do leite requerido pelas técnicas de ordenha mecânica e pesagem do bezerro antes e após a mamada. Cabeças das setas indicam o número de avaliações necessárias para atingir uma eficiência de 80% (R^2)

O erro (DP residual) da PMP foi maior que a OM em todas as avaliações durante a lactação. Em ambos os métodos, o erro foi alto próximo ao parto e decresceu até aproximadamente 80 ± 11 dias de lactação. Este decréscimo foi de 0,51 e 0,23 kg leite/d para PMP e OM, respectivamente, quando comparado como erro nas avaliações próximas ao parto (Figura 1.2).

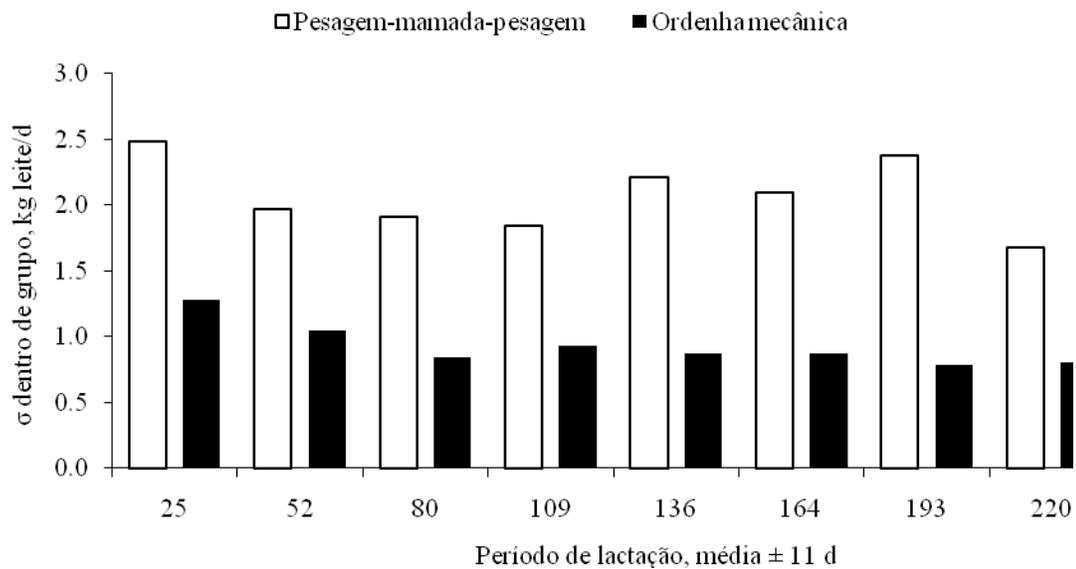


Figura 1.2 - Erro (σ) dentro de grupo estimado pelo modelo linear de efeitos mistos quanto a produção do leite observada (intervalo de 24 horas) estimado pela pesagem do bezerro antes e após a mamada e ordenha mecânica

Portanto, a baixa repetibilidade da PMP e o elevado erro em todas as avaliações deixam claro a limitada capacidade desta técnica de identificar diferenças genótípicas e ambientais da produção de leite entre vacas de corte de genótipos distintos. Além disso, na técnica PMP as diferenças de peso antes e após a mamada podem se aproximar do próprio erro da balança. Também é praticamente impossível quantificar ou controlar as variações de peso associadas com a incidência de defecação, urina e chuva. Adicionalmente, durante a técnica PMP, as vacas podem amamentar mais de um bezerro e inflacionar o erro.

No entanto, a PMP apresenta um baixo custo, além de ser prática em condições de fazenda, o que pode explicar sua elevada utilização revelada por revisão de literatura prévia, em que aproximadamente dois terços dos estudos que avaliaram a produção de leite em vacas de corte usaram tal técnica. Para o atual estudo, as vantagens em acurácia, precisão e repetibilidade da técnica OM sobre a PMP foram determinantes para definir que todas as análises subsequentes fossem realizadas com os dados obtidos pela OM.

1.3.3 Equações de lactação

Diferentes equações de lactação foram ajustadas aos dados de produção do leite estimados pela técnica OM. A revisão de literatura conduzida por López (2008) demonstra que existem várias equações que podem interessar neste tipo de estimativa. Dentre as equações existentes foram selecionadas para o atual estudo aquelas que têm sido utilizadas para descrever a lactação em vacas de corte (HOHENBOKEN et al., 1992; CABUCI et al., 2000; FOX et al., 2000). Entre estas a equação de Jenkins e Ferrell (1984) é a mais utilizada e atualmente recomendada pelo NRC (1996).

A inclusão do processo contínuo auto-regressivo (e.g. Δ_{10}) melhorou o ajuste de todas as equações ($P < 0,01$) devido à autocorrelação dos erros dentro de vaca. Os resultados dos ajustes de cada modelo aos dados de produção do leite foram demonstrados de acordo com os genótipos das vacas e do sexo de seus bezerras. Em geral, a produção do leite foi continuamente decrescente (Figura 1.3).

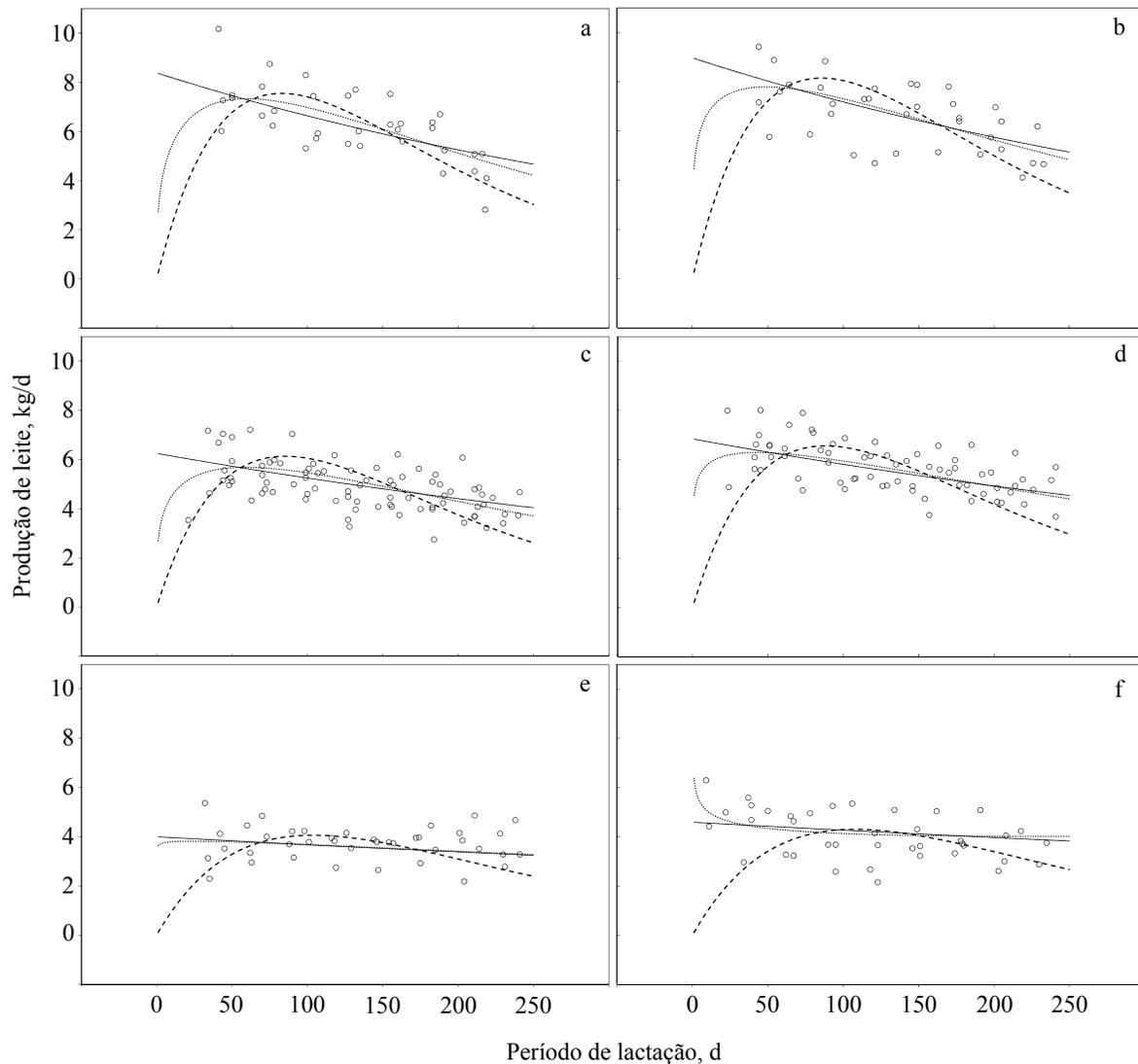


Figura 1.3 - Curvas de lactação de vacas de corte agrupadas de acordo com genótipo e o sexo de seus bezerros. Os pontos (círculos) representam os valores observados. As linhas foram obtidas pelo ajuste das equações candidatas: Brody (sólida), Jenkins (tracejada) e Wood (pontilhada). Genótipo das vacas: Angus x Nelore (a, b), Caracu x Nelore (c, d) e Nelore (e, f). Sexo da progênie: fêmea (a, c, e) e macho (b, d, f)

A equação de Brody apresentou os melhores (ou menores) indicadores de ajuste (Tabela 1.5). Entretanto, o erro residual (DP) entre os modelos de Brody e Wood foi similar. Esta similaridade pode ser explicada pelo ajuste geral do modelo de Wood ao conjunto de dados continuamente decrescente. A simples função linear apresentou considerável ajuste aos dados. Em contraste, a função gama simplificada de Jenkins não produziu a curva de decaimento exponencial. Esta falta de ajuste também foi verificada por Landete-Castillejos e Gallego (2000)

estudando curvas de lactação em cervos de calda vermelha (*Cervus elaphus*). Em contraste aos modelos de Brody e Wood, o modelo de Jenkins prediz a produção do leite no dia 1 pós-parto próximo a zero e este comportamento biologicamente inconsistente afetou o ajuste deste último.

Tabela 1.5 - Modelos ajustados aos dados de produção do leite de vacas de corte baseados nos indicadores de ajuste incluindo o critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e desvio padrão residual (DPR)

Modelo	gl ¹	AIC	BIC	DPR, kg
Brody	11	642,0	660,5	0,617
Wood	15	647,2	672,5	0,618
Jenkins	11	647,0	863,9	1,265
Função linear	19	685,2	694,1	0,635

¹Graus de liberdade do modelo, que é igual ao número de parâmetros.

Curvas de lactação continuamente decrescentes não podem ser consideradas como artefatos matemáticos, pois: i) elas aparecem quando a avaliação da produção do leite são simplesmente médias (MONDRAGON et al., 1983; BEAL et al., 1990); ii) elas aparecem na produção do leite avaliada individualmente, como demonstrado em cervos por Landete-Castillejos e Gallego (2000), bem como em vacas de corte como apresentado no presente estudo. A perda líquida de DNA mamário (diferença entre síntese e degradação) também parece apresentar uma fase declínio linear a partir do parto (CAPUCO et al., 2001). Adicionalmente, extensa revisão conduzida pelo NRC (1996) indica que o pico de lactação em vacas amamentando bezerros ocorre aproximadamente aos 59 dias de lactação. Em nossos dados, nenhum aumento de produção de leite foi observado aos 60 dias, reforçando a natureza do declínio gradual da produção de leite do parto até a desmama nos genótipos avaliados.

1.3.4 Curvas de lactação e exigências líquidas utilizando a equação de Brody

Os resultados apresentados neste tópico são baseados na equação de Brody ajustada aos dados de lactação do atual estudo. Significâncias dos efeitos nos parâmetros do modelo de Brody foram realizadas a partir da avaliação da razão de verossimilhança (LRT). O modelo com o maior número de parâmetros (equação N° 1, Tabela 1.6) considerou os efeitos fixos do genótipo da vaca, sexo da progênie e suas interações, mais o efeito aleatório de vaca sobre o parâmetro a . Entretanto, o parâmetro b somente incorporou os efeitos fixos de genótipo, sexo e suas interações. A equação N° 1 foi similar ao modelo aditivo (N° 2, $P = 0,136$). Uma redução sequencial do modelo aditivo foi conduzida. A equação N° 5 apresentou o melhor desempenho, com o menor valor do indicador de ajuste (BIC = 657).

Tabela 1.6 - Estatística de ajuste para as diferentes estruturas de modelo baseadas nas avaliações da razão de verossimilhança, critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação Bayesiano (BIC) para os modelos reduzidos de Brody

Estrutura do modelo ¹	No.	gl ²	AIC	BIC	-2LogL ³	Teste	P
a : genotype x sex + c_{li} ; b : genotype x sex	1	15	642,4	667,7	612,4		
a : genotype + sex + c_{li} ; b : genotype + sex	2	11	642,0	660,5	620,0	2 vs. 1	0,136
a : genotype + c_{li} ; b : genotype	3	9	644,0	659,2	626,0	3 vs. 2	0,047
a : sex + c_{li} ; b : sex	4	7	689,2	701,1	675,2	4 vs. 2	< 0,001
a : genotype + sex + c_{li} ; b : genotype	5	10	640,2	657,1	620,2	5 vs. 2	0,752

¹ a é o valor teórico da produção de leite ao parto; b é a taxa de decaimento exponencial e c_{li} é o efeito aleatório da vaca sobre o parâmetro a , em que $c_{li} \sim N(0, \sigma_a^2)$.

²Graus de liberdade do modelo, que é igual ao número de parâmetros.

³- 2LogL representa - 2 log da verossimilhança.

Um objetivo deste estudo foi modelar e descrever os padrões de lactação (secreção do leite, energia e proteína) para os diferentes efeitos representados pelos genótipos das vacas e o sexo de seus bezerros. De acordo com Strathe et al. (2010) é essencial ter uma quantificação adequada da fonte de variação. No atual estudo esta fonte de variação foi representada por cada vaca. Portanto, é importante o entendimento de que o parâmetro a (σ_a) na equação de Brody varia individualmente. Ademais, é recomendado que a variação entre vacas seja separada da

variação dentro de vaca (σ). Segundo Pinheiro e Bates (2000) a falha na inclusão adequada desta informação no processo de modelagem pode incluir erros nos parâmetros.

O efeito fixo sistemático representado pelo genótipo da vaca e do sexo de seu bezerro nos parâmetros médios que afetaram a forma das curvas de lactação populacionais também foram investigadas. Os dados de lactação considerados foram produção de leite, energia e proteína. As duas últimas variáveis foram usadas para então estimar as exigências líquidas de lactação.

A produção estimada do leite ao parto (parâmetro a) foi afetada pelo genótipo da vaca. Vacas AN demonstraram os maiores valores deste parâmetro, seguidas pelas vacas CN e NE ($P < 0,001$). O parâmetro a também foi afetado pelo sexo dos bezerros (macho, $P = 0,013$). A taxa de decaimento exponencial das curvas de lactação (parâmetro b) foi afetada somente pelo genótipo da vaca ($P < 0,05$). Vacas AN demonstraram a taxa de decaimento mais severa, que foi reduzindo em intensidade entre as vacas CN, e subseqüentemente entre as vacas NE (Tabelas 1.7 até 1.9).

Tabela 1.7 - Parâmetros estimados para o modelo final de Brody para a produção do leite com intervalo de confiança de 95%

Item ¹	Estimativa (EP)	<i>P</i>	Menor	Maior
Solução para os efeitos fixos				
Parâmetro <i>a</i> , kg/d				
Angus x Nelore (intercepto)	8,33 (0,382)	< 0,001	7,58	9,09
Caracu x Nelore	- 2,13 (0,430)	< 0,001	- 2,98	- 1,28
Nelore	- 4,38 (0,475)	< 0,001	-5,32	- 3,44
Sexo da progênie (macho)	0,68 (0,272)	0,013	0,15	1,22
Parâmetro <i>b</i> , d ⁻¹				
Angus x Nelore (intercepto)	0,0023 (0,00023)	< 0,001	0,0018	0,0028
Caracu x Nelore	- 0,0006 (0,00029)	0,0322	- 0,0012	- 0,0001
Nelore	- 0,0015 (0,00039)	< 0,001	- 0,0023	- 0,0008
Solução para o efeito aleatório				
Parâmetro <i>a</i> (intercepto): σ_a , kg/d	0,78	..	..	..
Estrutura de correlação				
Auto-regressiva contínua	0,97	..	..	..
Erro dentro de grupo (DP)				
Sigma: σ , kg/d	0,62	..	..	..

¹*a* e *b* são os parâmetros que definem a escala e a forma da curva.

Tabela 1.8 - Parâmetros estimados para o modelo final de Brody para energia líquida exigida para a produção do leite com intervalo de confiança de 95%

Item ¹	Estimativa (EP)	Menor	Maior
Solução para os efeitos fixos			
Parâmetro a , Mcal/d			
Angus x Nelore (intercepto)	7,02 (0,326)	6,37	7,66
Caracu x Nelore	- 1,74 (0,365)	-2,46	- 1,02
Nelore	- 3,90 (0,401)	- 4,69	- 3,11
Sexo da progênie (macho)	0,54 (0,228)	0,09	0,99
Parâmetro b , d ⁻¹			
Angus x Nelore (intercepto)	0,0020 (0,00023)	0,0016	0,0025
Caracu x Nelore	- 0,0010 (0,00029)	- 0,0015	- 0,0004
Nelore	- 0,0024 (0,00038)	- 0,0032	- 0,0016
Solução para o efeito aleatório			
Parâmetro a (intercepto): σ_a , Mcal/d	0,66	..	..
Estrutura de correlação			
Auto-regressiva contínua	0,89	..	..
Erro dentro de grupo (DP)			
Sigma: σ , Mcal/d	0,58	..	..

¹ a e b são os parâmetros que definem a escala e a forma da curva.

Tabela 1.9 - Parâmetros estimados para o modelo final de Brody para proteína líquida exigida para a produção do leite com intervalo de confiança de 95%

Item ¹	Estimativa (EP)	Menor	Maior
Solução para os efeitos fixos			
Parâmetro a , g/d			
Angus x Nelore (intercepto)	241,95 (11,666)	218,95	264,95
Caracu x Nelore	- 56,87 (13,202)	- 82,89	- 30,84
Nelore	- 138,22 (14,342)	- 166,51	- 109,93
Sexo da progênie (macho)	19,99 (7,559)	5,09	34,90
Parâmetro b , d ⁻¹			
Angus x Nelore (intercepto)	0,0015 (0,00026)	0,0011	0,0020
Caracu x Nelore	- 0,0009 (0,00032)	- 0,0015	- 0,0002
Nelore	- 0,0024 (0,00044)	- 0,0033	- 0,0015
Solução para os efeitos aleatórios			
Parâmetro a (intercepto): σ_a , g/d	21,09	..	..
Estrutura de correlação			
Auto-regressiva contínua	0,94	..	..
Erro dentro de grupo (DP)			
Sigma: σ , g/d	22,62	..	..

¹ a e b são os parâmetros que definem a escala e a forma da curva.

O modelo final de Brody considerando os efeitos previamente comentados foi usado para modelar as curvas. Desta maneira, o genótipo das vacas e o sexo de seus bezerros foram responsáveis por mudar a produção total do leite, assim como, a secreção de energia e proteína durante a lactação. A curva de lactação das vacas NE apresentou um decréscimo em uma menor taxa quando comparada com as vacas cruzadas (Figura 1.4).

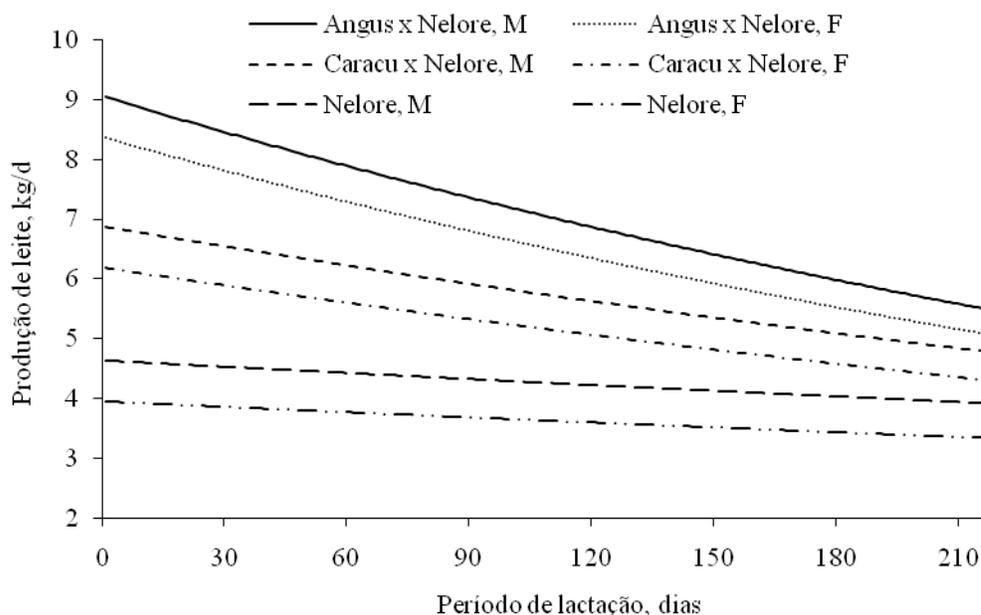


Figura 1.4 - Curvas de lactação (produção do leite, kg/d) de vacas de corte agrupadas de acordo com o genótipo e o sexo de seus bezerros (M = macho, F = fêmea) estimadas a partir das equações do modelo final de Brody, sendo: Angus x Nelore, M $[y = 9.015\exp(-0.00228 \times d)]$, F $[y = 8.333\exp(-0.00228 \times d)]$; Caracu x Nelore, M $[y = 6.882\exp(-0.00169 \times d)]$, F $[y = 6.203\exp(-0.00169 \times d)]$; e Nelore, M $[y = 4.635\exp(-0.00078 \times d)]$, F $[y = 3.953\exp(-0.00078 \times d)]$

As concentrações de energia e proteína no leite foram menores no início da lactação (40 ± 11 dias de lactação) quando comparados aos valores na desmama (222 dias, $P < 0.01$). A concentração de energia do leite aos 40 e 222 dias de lactação variou para vacas AN, CN e NE de 0,82 a 0,92, 0,89 a 1,01 e 0,87 a 0,98 Mcal/kg, respectivamente. O teor de proteína do leite na mesma ordem variou de 2,93 a 3,33, 3,26 a 3,71 e 3,12 a 3,97%. A concentração de energia e proteína a desmama foi maior ($P < 0,05$) para vacas CN e NE quando comparadas a vacas AN, entretanto, CN e NE não diferiram entre si ($P > 0,10$).

Como comentado, a produção de leite de vacas Nelore apresentou um suave decréscimo. Este decréscimo associado com o aumento da concentração de energia e proteína aumentou a secreção desses componentes ao longo da lactação (Figuras 1.5 e 1.6). Este comportamento das exigências líquidas de vacas Nelore pode impactar sobre a fisiologia energética e hormonal, resultando em melhorias relacionadas à adaptação em ambientes limitantes. Contudo, é necessário demonstrar se estes dados são relevantes em melhorar a eficiência reprodutiva deste

genótipo. Também pode ser interessante estudar como estas mudanças na composição do leite podem beneficiar o desempenho e a imunidade dos bezerros.

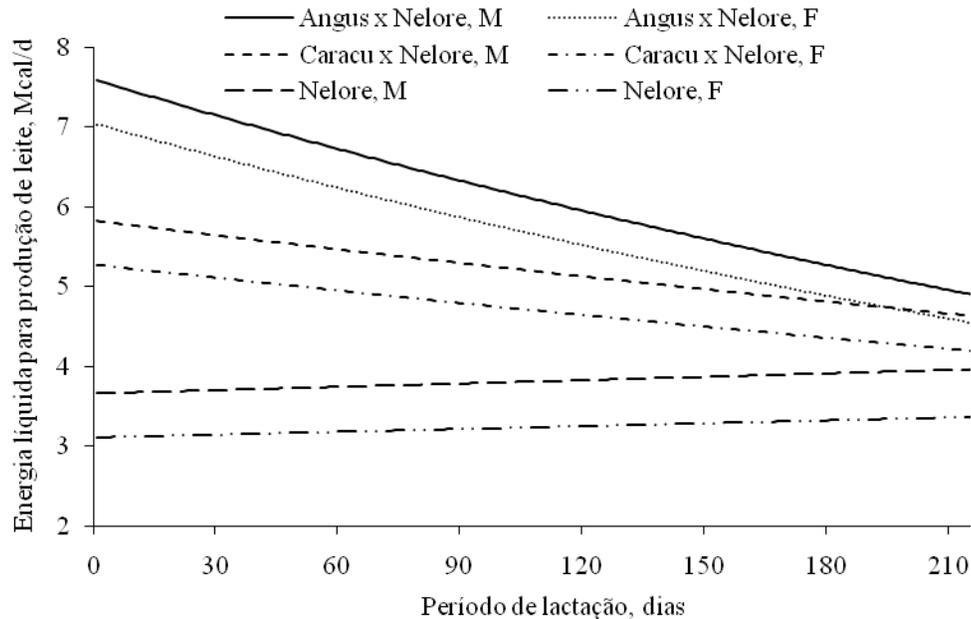


Figura 1.5 - Curvas de lactação (energia líquida para produção do leite, Mcal/d) de vacas de corte agrupadas de acordo com o genótipo e o sexo de seus bezerros (M = macho, F = fêmea) estimadas a partir das equações do modelo final de Brody, sendo: Angus x Nelore, M $[y = 7.563\exp(-0.00200 \times d)]$, F $[y = 7.018\exp(-0.00200 \times d)]$; Caracu x Nelore, M $[y = 5.824\exp(-0.00106 \times d)]$, F $[y = 5.279\exp(-0.00106 \times d)]$; e Nelore, M $[y = 3.658\exp(0.00037 \times d)]$, F $[y = 3.113\exp(0.00037 \times d)]$

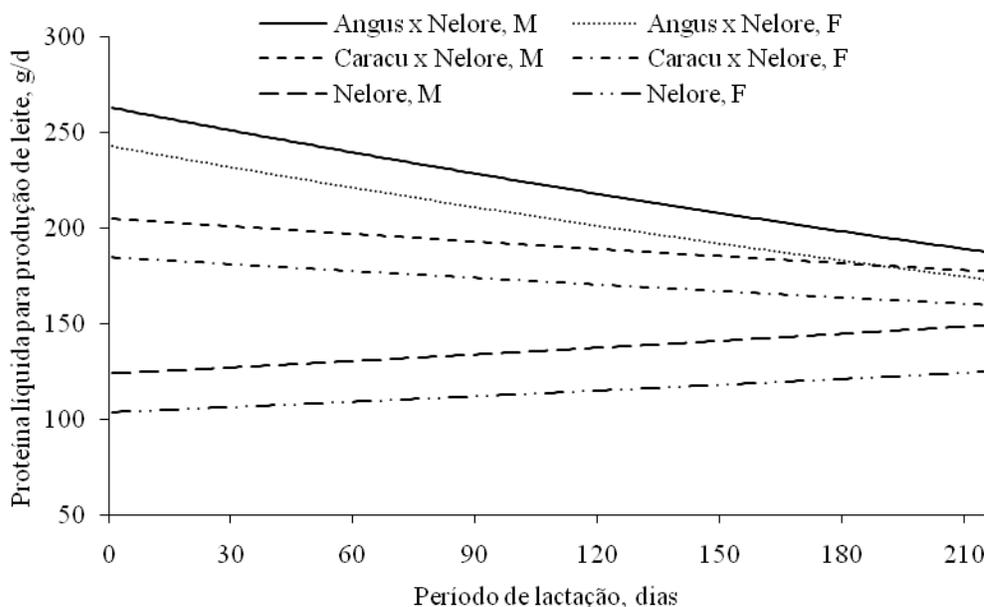


Figura 1.6 - Curvas de lactação (proteína líquida para produção do leite, g/d) de vacas de corte agrupadas de acordo com o genótipo e o sexo de seus bezerros (M = macho, F = fêmea) estimadas a partir das equações do modelo final de Brody, sendo: Angus x Nelore, M $[y = 261.949 \exp(-0.00155 \times d)]$, F $[y = 243.950 \exp(-0.00155 \times d)]$; Caracu x Nelore, M $[y = 204.082 \exp(-0.00068 \times d)]$, F $[y = 185.083 \exp(-0.00068 \times d)]$; e Nelore, M $[y = 123.729 \exp(0.00086 \times d)]$, F $[y = 103.730 \exp(0.00086 \times d)]$

A solução para o parâmetro de efeito aleatório estimado empiricamente pelo BLUP para cada vaca foi incluído no modelo populacional final para avaliar as diferenças entre os genótipos e o sexo dos bezerros durante o experimento. Neste período a produção do leite de vacas AN, CN e NE foi 1.297 (42,7, EP), 1.028 (30,9), 760 (44,4) kg ($P < 0,01$), respectivamente. Na mesma ordem, a secreção de energia foi 1.099 (52,2), 951 (43,3) e 727 (57,2) Mcal ($P < 0,05$), sendo que a secreção de proteína foi 40,5 (1,54), 34,8 (1,23) e 25,2 (1,68) kg ($P < 0,01$). Estes resultados são consistentes com as investigações prévias que indicam que animais de origem zebuína apresentam menor potencial de produção do leite comparada genótipos provenientes de cruzamentos *Bos taurus* vs. *Bos indicus* (CALEGARE et al., 2007, 2009). Outro ponto que pode explicar essa diferença é o alto nível de heterose em cruzamentos. Cundiff et al. (1974) e Daley et

al. (1987) documentaram o efeito da heterose sobre produção do leite, proteína e sólidos não gordurosos ($P < 0,01$).

Vacas que amamentaram bezerros machos produziram 10,6% (1.080 vs. 976 kg) mais leite, 10,2% (971 vs. 881 Mcal) energia e 11,3% (35,3 vs. 31,7 kg, $P < 0,05$) proteína. Nas condições nutricionais impostas por este experimento, não foi verificado efeito do sexo da progênie sobre a IEM, ECC ou EGS ($P > 0,10$) de suas mães. O maior estímulo induzido pelo sexo da progênie pode ser comparado com os resultados de Bar-Pelled et al. (1995).

Estes autores avaliaram o efeito da frequência da mamada do bezerro e da ordenha que nitidamente promoveram um aumento da produção do leite das vacas ($P < 0,05$). Conforme Capuco et al. (2003) os efeitos da frequência na produção de leite podem ser explicados pela melhoria na proliferação das células da glândula mamária ($P < 0,05$). Muito embora um mecanismo de causa e efeito não possa ser estabelecido, os resultados de Bar-Pelled et al. (1995) revelam que o estímulo do bezerro eleva significativamente os níveis dos hormônios de crescimento, IGF-I, prolactina e ocitocina, que podem atuar tanto na lactogênese quanto na galactopoiese.

1.4 Conclusões

A técnica da ordenha mecânica foi mais acurada, precisa e apresentou maior repetibilidade quando comparada a técnica da pesagem pré e pós mamada. A OM potencializou a capacidade de se detectar as diferenças genóticas e ambientais entre as vacas. Esta técnica facilita o manejo e reduz custos para avaliação da produção de leite se adotada em intervalos de 16 horas, aproximadamente aos 80 dias pós-parto em 6 pontos de coleta durante a lactação.

Os modelos NLEM permitem a inclusão da vaca como efeito aleatório, dos efeitos fixos devido ao genótipo da matriz e do sexo de sua progênie, além do processo auto-regressivo nas equações de lactação. Utilizando esta técnica de modelagem, a equação de Brody proporcionou o melhor ajuste aos dados. O modelo semi-mecanístico não-linear resultante é eficiente em descrever os padrões das curvas de lactação e exigências líquidas para a produção de vacas *Bos indicus* e seus cruzamentos.

A produção de leite e as exigências de energia e proteína na lactação foram menores para a raça Nelore, intermediária para Caracu x Nelore e maior para Angus x Nelore. Interessantemente, vacas Nelore apresentaram secreção láctea quase constante durante a lactação. Para todos os genótipos, bezerros machos aumentaram em ~ 10% a produção de leite e as exigências líquidas de energia e proteína.

Referências

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15th ed. Washington D.C., 1990. 1141 p.

BAR-PELED, U.; MALTZ, E.; BRUCKENTAL, I.; FOLMAN, Y.; KALI, Y.; GACITUA, H.; LEHRER, A. R. Relationship between frequent milking or suckling in early lactation and milk production of high producing dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 78, p. 2726-2736, 1995.

BEAL, W.E.; NOTTER, D.R. Techniques for estimation of milk yield in beef cows and relationships of milk yield to calf weight gain and postpartum reproduction. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 38, p. 937-943, 1990.

BENTLEY INSTRUMENTS. **Bentley 2000**: operator's manual. Chaska, 1995. 77p.

BRODY, S.A.; 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**, New York, v. 5, p. 441-444, 1923.

CABUCI, J.A.; EUCLYDES, R.F.; VERNEQUE, R.S.; TEODORO, R.L.; LOPES, P.S.; SILVA, M.A. Curva de lactação na raça Guzerá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, p. 1332-1339, 2000.

CALEGARE, L.; ALENCAR, M.M.; PACKER, I.U.; LANNA, D.P.D. Energy requirements and cow/calf efficiency of Nellore and Continental and British *Bos taurus* x Nellore crosses. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 85, p. 2413-2422, 2007.

CALEGARE, L.; ALENCAR, M.M.; PACKER, I.U.; FERRELL, C.L.; LANNA, D.P.D. Cow/calf pre-weaning efficiency of Nellore and *Bos taurus* x *Bos indicus* crosses. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 87, p. 740-747, 2009.

CAPUCO, A.V.; WOOD, D.L.; BALDWIN, R.; MCLEOD, K.; PAAPE, M.J. Mammary cell number, proliferation, and apoptosis during a bovine lactation: relation to milk production and effect of bST. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 84, p. 2177-2187, 2001.

CAPUCO, A.V.; ELLIS, S.E.; HALE, S.A.; LONG, E.; ERDMAN, R.A.; ZHAO, X.; PAAPE, M.J. Lactation persistence: insights from mammary cell proliferation studies. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 81, p. 18-31, 2003.

CUNDIFF, L.V.; GREGORY, K.E.; SCHWULST, F.J.; KOCH, R.M. Effects of heterosis on maternal performance and milk production in Hereford, Angus and Shorthorn cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 38, p. 728-745, 1974.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3rd ed. Viçosa: Editora UFV, 2004. v. 1. p. 449 – 473.

DALEY, D.R.; MCCUSKEY, A.; BAILEY, C.M. Composition and yield of milk from beef-type *Bos taurus* and *Bos indicus* x *Bos taurus* dams. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 64, p. 373-384, 1987.

FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; RUSSELL, J.B.; VAN SOEST, P.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 70, p. 3578-3596, 1992.

FOX, D. G.; TYLUTKI, T. P.; AMBURGH VAN, M. E.; CHASE, L. E.; PELL, A. N.; OVERTON, T.R.; TEDESCHI, L.O.; RASMUSSEN, C.N.; DURBAL, V.M. **Cornell net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion: model documentation** v. 4.0 Ithaca: Cornell University, 2000.

HOHENBOKEN, W.D.; DUDLEY, A.; MODDY, D.E. A comparison among equations to characterize lactation curves in beef cows. **Animal Production**, Nebraska, v. 55, p. 23-28, 1992.

JENKINS, T.G.; FERRELL, C.L. A note of lactation curves of crossbred cows. **Animal Production**, Nebraska, v. 39, p. 479-482, 1984.

LANDETE-CASTILLEJOS, T.; GALLEGO, L. Thechnical note: the ability of mathematical models to describe the shape of lactation curves. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 78, p. 3010-3013, 2000.

MILLER, S.P.; WILTON, J.W.; PFEIFFER, W.C. Effects of milk yield on biological efficiency and profit of beef production from birth to slaughter. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 77, p. 344-352, 1999.

MOE, P.W.; TYRRELL, H.F.; FLATT, W.P. Energetics of body tissue mobilization. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 54, p. 548-553, 1971.

MONDRAGON, I.; WILTON, J.W.; ALLEN, O.B.; SONG, H. Stage of lactation effects, repeatabilities and influences on weaning weights of yield and composition of milk in beef cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 63, p. 751-761, 1983.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 1996. p. 3 -53.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2001. p. 19-215,

NEIDHARDT, R.; PLASSE, D.; WENIGER, J.H.; VERDE, O.; BELTRAN, J.; BENAVIDES, A. Milk yield of Brahman cows in a tropical beef production system. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 48, p. 1-6, 1979.

LÓPEZ, S. Non-linear functions in animal nutrition. In: FRANCE, J ;KEBREAB, E. (Ed.) **Mathematical modeling in animal nutrition**. Wallingford: CAB International, 2008.chap. 3 p. 47-88.

LITTELL, R.A.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D.; SCHABENBERGER, E. **SAS for mixed models**. 2nd ed. New York: SAS Institute ., 2006. 813 p.

PELTIER, M.R.; WILCOX, C.J.; SHARP, D.C. Technical note: application of the Box-Cox data transformation to animal science experiments. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 76, p. 847-849, 1998.

PINHEIRO, J.C.; BATES, D.M. **Mixed-Effects Models in S and S-PLUS**. NewYork: Springer-Verlag, 2000. 523 p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: guide of personal computers**. Version 9.2. Cary, 2008.

STRATHE, A.B.; DANFAER, A.; SØRENSEN, H.; KEBREAB, E. A multilevel nonlinear mixed effects approach to model growth in pigs. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 88, p. 638-649, 2010.

USDA: United States Department of Agriculture. Livestock and poultry: world markets and trade. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2010.

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**, Lancaster, v. 80, p. 3789-3799, 2004.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B. A. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 74. p. 3583-3597, 1991.

WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; PIERRE, N.R.St. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 39, p. 95-110, 1992.

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

2 ACESSANDO A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA-AMBIENTAL-ECONÔMICA NA PRÉ-DESMAMA, UTILIZANDO META-ANÁLISE, MODELOS MISTOS E EQUAÇÕES ESTRUTURAIS

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar as eficiências energética, ambiental e econômica do setor de cria. Foram utilizados meta-análise, modelos lineares e não-lineares de efeitos mistos (NLEM). Foram avaliadas as influências do peso adulto e da produtividade de leite da matriz sobre a lucratividade no sistema de cria e sobre as emissões dos gases relacionados ao efeito estufa (GEE). Foram utilizados dados de três estudos que avaliaram vacas de diferentes genótipos: Nelore (NL), Angus x Nelore (AN), Canchim x Nelore (CN), Caracu x Nelore (CR) e Simental Nelore (SN). A energia metabolizável ingerida (EMI, Mcal) pelo par vaca-bezerro NL foi 8 a 20% menor que os demais genótipos ($P = 0,036$). As exigências para lactação (EM_l , $\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-0.75}\cdot\text{d}^{-1}$) foram maiores para vacas SN, AN e CR, intermediária para vacas CN e menores para vacas NL ($P = 0,013$). O total de CO_2 equivalente (CO_2 eq, kg) emitido pelo par NL foi aproximadamente 6 a 12% menor que os genótipos cruzados ($P = 0,005$). A margem econômica líquida a desmama [benefício bruto - (custos fixos + custos variáveis)] foi usada como um indicador de lucratividade. Quando a margem líquida foi calculada utilizando o benefício bruto proporcional (kg bezerro a desmama x preço/kg), pares AN e SN foram mais lucrativos que o par NL ($P = 0,001$). Contudo, quando a margem líquida foi estimada usando o benefício bruto absoluto (preço/unidade bezerro), o par NL foi mais lucrativo que os genótipos cruzados ($P = 0,046$). O par NL emitiu 2,3 a 3,5 mais kg CO_2 eq/kg ganho bezerro, quando comparado com as emissões dos genótipos cruzados ($P = 0,019$). Os pares AN e SN foram economicamente mais eficientes (margem líquida proporcional/ganho bezerro) que o par NL ($P = 0,007$). Os efeitos direto do maior peso da vaca e indireto da produção de leite (pelo maior ganho do bezerro) aumentaram as emissões de CO_2 eq do sistema ($P < 0,05$). O peso da vaca afetou negativamente e diretamente a lucratividade do sistema ($P < 0,05$). Por outro lado, a produção de leite afetou positivamente e indiretamente (pelo ganho do bezerro, $P < 0,05$) a lucratividade. Baseado no MEE múltiplo-grupo, bezerras machos foram responsáveis por aumentar a lucratividade quando comparado com as fêmeas ($P < 0,049$). Animais de maior eficiência econômica foram simultaneamente menores emissores de GEE ($P = 0,023$). Vacas que apresentavam maior eficiência econômica no modelo eram mais leves e apresentavam maior produção de leite ($P < 0,01$). Conclui-se que vacas Nelore apresentam menor demanda energética que vacas Nelore x *Bos taurus*. Vacas com maior potencial de produção de leite, neste estudo representado por vacas Angus x Nelore e Simental x Nelore, são mais lucrativas considerando o benefício bruto proporcional. Entretanto, vacas mais produtivas são geralmente mais pesadas e esta característica afeta diretamente as emissões do GEE e negativamente a lucratividade do sistema de cria.

Palavras-chave: *Bos indicus*; *Bos taurus*; Ciclo de produção; Cruzamento; Lucro; Poluição

Abstract

The first objective of this study was to evaluate the differences in terms of energetic environmental economic factors among *Bos indicus* x *Bos taurus* beef cow crosses using meta-analysis, linear and non-linear mixed effects modeling (NLME). The second purpose was to understand and evaluate the influence of adult cow BW and milk yield on greenhouse gases (GHG) emissions as well as profitability. Data from three studies evaluating different cow genotypes [Nellore (NL), Angus x Nellore (AN), Canchim x Nellore (CN), Caracu x Nellore (CR) and Simmental Nellore (SN)] were used. Cows were individually evaluated during lactation from partum (23 ± 11 d) to weaning (203 ± 17 d). Energy requirements during days open and gestation were estimated to each animal by a deterministic model. Total estimated ME intake (MEI, Mcal) by cow-calf NL pair was about 8 to 20% lower than Nellore x *Bos taurus* genotypes ($P = 0.036$). The ME requirement for lactation ($ME_l, \text{kcal} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$) were the greatest to SN, AN, and CR cows, intermediary to CN cows and lower to NL cows ($P = 0.013$). The energy secretion of milk (Mcal/d) followed a similar rank ($P = 0.079$). Total estimated CO₂ equivalent (CO₂ eq, kg) emitted by NL pair was about 6 to 12% lower than crossbred genotypes ($P = 0.005$). The economic net margin estimated at weaning [gross benefit – (variable + fixed cost)] was used as a profit indicator of the cow-calf system. When net margin was calculated using proportional gross benefit (kg calf BW at weaning x price/kg), Angus x Nellore and SN pairs were more profitable than NL pair ($P = 0.001$). However, when net margin was estimated using the absolute gross benefit (price/calf unit), NL pair was more profitable than crossbred pairs ($P = 0.046$). Nellore pair emitted from 2.3 to 3.5 more CO₂ eq/kg calf gain compared with estimated emissions of crossbred genotypes ($P = 0.019$). AN pair and SN pair were more economically efficient (proportional net margin/kg calf gain) than NL ($P = 0.007$). According to general STEM analysis, the direct and positive effect of cow BW and the indirect effect of milk yield (intermediated by calf gain) increased the CO₂ eq emissions on cow-calf system ($P < 0.05$). The cow BW affected negatively and directly the cow-calf system profitability ($P < 0.05$). On the other hand, milk yield affected positively and indirectly the profitability ($P < 0.05$). The multiple-group STEM, showed that male calf was more profitable than female ($P = 0.049$). Interestingly, the groups selected from economic efficiency (pair net margin/kg calf gain) presented the greatest capacity to improve the profitability ($P < 0.001$) reducing simultaneously the GHG emissions ($P = 0.023$). Furthermore, cows selected by economic efficiency index were lighter and produced more milk ($P < 0.01$). In conclusion, Nellore cows, under non limiting-nutritional environment, presented lower energetic demands when compared to crossbred genotypes. In this energetic scenario, cows with greatest milk yield potential (Angus x Nellore and Simmental x Nellore) are more profitable considering the proportional gross benefit.

Keywords: *Bos indicus*; *Bos taurus*; Crossbred; Life cycle assessment; Pollution; Profit

2.1 Introdução

O Brasil possui um rebanho bovino de aproximadamente 180 milhões de cabeças, dos quais 50 milhões são fêmeas de cria (USDA, 2010). Além disso, sabe-se que no Brasil, aproximadamente 80% do rebanho de cria tem na sua composição influência genética zebuína, extremamente adaptada às condições tropicais. Contudo, a superioridade de animais cruzados (*Bos taurus x Bos indicus*) em relação ao zebu tem sido demonstrada para atributos como taxa de crescimento em diversos ambientes do Brasil Central. Isso é devido à heterose resultante desses cruzamentos e à complementariedade para determinadas características em relação às raças puras. Dependendo do sistema, dos custos e das raças escolhidas, isso pode representar grande vantagem para a pecuária nacional.

Além da representatividade econômica, o setor de cria tem grande impacto ambiental. Esse último representado pelos efeitos sobre a utilização de pastagens, emissão de carbono e metano além da produção de esterco. Estas razões enfatizam a importância de se conhecer e melhorar a eficiência durante o período de aleitamento.

Existem poucos estudos que avaliaram o impacto da produção de leite e outras características produtivas sobre a eficiência econômica e sobre a produção de gases relacionados ao efeito estufa, sendo este o objetivo central do atual estudo.

2.2 Material e Métodos

Todos os procedimentos com os animais foram conduzidos a partir dos padrões éticos de pesquisa estabelecidos pela Universidade de São Paulo e pela Embrapa.

2.2.1 Fonte dos dados

Foram utilizados dois bancos de dados completos provenientes de estudos publicados sobre exigências energéticas e eficiências dos pares vaca-bezerro. Dados do primeiro capítulo dessa tese foram concatenados e formaram o terceiro conjunto de dados. É importante destacar que todos os pares vaca-bezerro avaliados por nossa equipe foram selecionados a partir do

rebanho experimental da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Sudeste (conjunto de dados I e II) e Gado de Corte (conjunto de dados III).

2.2.1.1 Conjunto de dados I

O primeiro conjunto foi originado do experimento conduzido por Calegare et al. (2007). Para o atual estudo foram considerados os dados observados de 38 vacas de corte adultas, lactantes e não gestantes [9 Nelore (NL), 10 Canchim x Nelore (CN), 10 Angus x Nelore (AN) e 9 Simental x Nelore]. As vacas cruzadas e NL foram acasaladas com touro Canchim (5/8 Charolês 3/8 Zebu) e Nelore, respectivamente. As vacas foram individualmente alimentadas com dieta peletizada contendo 2,2 Mcal/kg MS e 16,1% PB desde próximo ao parto até a desmama (25 até 180 dias). A ingestão de MS (IMS) de cada vaca foi ajustada individualmente em intervalos de 14 dias, minimizando a mudança do peso e escore de condição corporal (ECC). A mesma dieta das vacas foi ofertada individualmente *ad libitum* para os bezerros a partir dos 40 dias de idade. A produção do leite foi avaliada aos 52, 66, 94 e 122 e 178 dias pós-parto utilizando a técnica de pesagem do bezerro antes e após a mamada (PMP). Aos 80 e 150 dias pós-parto amostras de leite foram coletadas por ordenha manual e analisadas quanto aos teores de gordura, proteína e lactose. Aos 188 ± 17 dias de idade, os bezerros foram abatidos e a composição corporal foi estimada utilizando a secção entre a 9-10-11^a costela para obter a energia retida.

2.2.1.2 Conjunto de dados II

Este segundo conjunto de dados foi gerado a partir do estudo conduzido por Calegare et al. (2009). Foram avaliadas 40 vacas, sendo: 10 vacas NL acasaladas com touro Nelore e 10 vacas NL foram inseminadas com Aberdeen Angus. Dez vacas AN e 10 vacas SN foram acasaladas com touro Canchim. As vacas foram alimentadas com dieta total contendo 2,2 Mcal/kg MS e 11,3% PB desde próximo ao parto até a desmama (17 até 190 dias). A IMS de cada vaca foi ajustada individualmente em intervalos de 14 dias. Já o consumo dos bezerros foi *ad libitum* a partir dos 38 dias de idade com silagem de milho (2,2 Mcal/kg MS e 7,8% PB). A produção do leite foi avaliada aos 42, 98, 126 e 180 dias pós-parto utilizando a técnica PMP. Amostras do leite destinadas foram coletadas por ordenha manual aos 60 e 150 dias pós-parto. Os bezerros foram abatidos aos 190 ± 11 dias a secção das costelas foi amostrada e analisada para

estimativa da composição corporal. Detalhes completos destes dois primeiros estudos quanto as estimativas de exigência e eficiências dos pares vaca-bezerro podem ser consultados em Calegare et al. (2007; 2009).

2.2.1.3 Conjunto de dados III

Como descrito no primeiro capítulo dessa tese este terceiro conjunto de dados contemplou 20 vacas Caracu x Nelore (CR) e NL inseminadas com touros Red Angus e 10 vacas AN acasaladas com touros Canchim. As vacas foram avaliadas individualmente desde após o parto (25 ± 11 dias) até a desmama (220 dias). Neste período foram alimentadas com dieta total contendo 2,2 Mcal/kg MS e 10,9% PB. Contudo, a IMS foi corrigida a cada 28 dias, minimizando a mudança do peso e ECC. A mesma dieta das vacas foi ofertada individualmente *ad libitum* para os bezerros a partir dos 33 dias de idade. A produção do leite foi avaliada por ordenha mecânica (OM), aos 25, 52, 80, 109, 136, 164, 193 e 220 ± 11 dias de lactação. Nestes pontos de coleta o leite também foi amostrado para determinação de sua composição. Neste estudo os bezerros não foram abatidos e retornaram para as áreas de produção após a desmama.

É válido reiterar que os bezerros machos não foram castrados nos estudos previamente descritos. As vacas não foram expostas aos touros durante a estação de reprodução e conseqüentemente, os dados reprodutivos não foram avaliados.

2.2.2 Descrição da ingestão de nutrientes

2.2.2.1 Energia

A energia total ingerida pela vaca de corte adulta produzir um bezerro (somada aqui as demandas da própria progênie) foram estimadas. Estas estimativas foram norteadas pelos dados individuais observados ($n = 117$ pares vaca-bezerro) previamente descritos. Tais dados individuais contemplados nas equações que seguem foram: o peso da vaca, os genótipos, o peso do bezerro ao nascimento, o período de gestação, a ingestão energética da vaca e do bezerro durante a lactação e a mobilização ou deposição de tecido das vacas durante a lactação.

Além disso, foi modelada a energia ingerida pelas vacas quando as mesmas se encontravam nas áreas de pastagem. Logo, a ingestão de energia metabolizável (IEM, Mcal) para cada par vaca-bezerro foi calculada levando em consideração o período de serviço (parto até a

concepção), gestação e lactação, assumindo que as demandas nestas fases representassem todas as entradas de nutrientes para produzir um bezerro até a desmama.

A IEM de cada vaca durante o período de serviço (IEM_{pserv} , Mcal; eq. 2.1 até 2.11) foi estimada, como segue:

$$IEM_{pserv} = (IEM_m + IEM_{pastejo}) \times \text{período de serviço}; \quad (2.1)$$

$$IEM_m = (EL_m \div K_m); \quad (2.2)$$

$$EL_m = (0.077 \times PV_z^{0.75}) \times EG; \quad (2.3)$$

$$PV_z^{0.75} = PV_j \times 0.851; \quad (2.4)$$

$$EG = \text{se Nelore } (EL_m \times 0,90), \text{ se Cruzada } (EL_m \times 0,95); \quad (2.5)$$

$$K_m = EL_{m \text{ pasto}} \div EM_{\text{pasto}}; \quad (2.6)$$

$$EM_{\text{pasto}} = [(NDT \div 100) \times 4.409] \times 0.82; \quad (2.7)$$

$$EL_{m \text{ pasto}} = 1,37 \times EM_{\text{pasto}} - 0,138 \times EM_{\text{pasto}}^2 + 0,0105 \times EM_{\text{pasto}}^3 - 1,12; \quad (2.8)$$

$$IEM_{\text{pastejo}} = \left\langle \left\{ [C \times IMS(0,9 - D)] + (0,0026 \times H) \right\} \times PV_j \right\rangle \div K_m; \quad (2.9)$$

$$IMS = IEM_m \div EM_{\text{pasto}}; \quad (2.10)$$

$$H = [V(CS \div SD)] \div (0,057 \times DP + 0.16); \quad (2.11)$$

em que:

IEM_m = IEM para manutenção, Mcal/d;

IEM_{pastejo} = IEM para atividade de pastejo, Mcal/d;

Período de serviço = 92 dias (nº dias entre os meses: outubro, novembro e dezembro);

EL_m = energia líquida para manutenção da vaca, Mcal/d;

PV_z = peso vazio da vaca médio individual avaliado durante a lactação, kg;

PV_j = peso em jejum da vaca (hídrico e alimentar de 16 horas) médio individual avaliado durante a lactação, kg;

EG = efeito do genótipo da vaca sobre a EL_m ;

K_m = eficiência do uso da energia metabolizável;

$EL_{m \text{ pasto}}$ = energia líquida para manutenção do pasto, Mcal/kg MS;

EM_{pasto} = energia metabolizável do pasto, Mcal/kg MS;

NDT = nutrientes digestíveis totais, %;

C = é a taxa relativa de ingestão de MS, kg/h;

IMS = ingestão de matéria seca, kg/d;

D = digestibilidade do pasto em base de MS e expresso em unidade decimal;

H = distância horizontal equivalente percorrida, km;

V = nível de inclinação do terreno, valores variam de 1 a 2 (V usado = 1);

CS = capacidade de suporte da pastagem, animais/ha (CS usada = 1);

CE = CS na entrada dos animais nas áreas de pastejo, animais/ha (CE usada = 5); e

DP = disponibilidade de forragem (cortado ao nível do solo menos material morto), t MS/ha.

A IEM da vaca durante a gestação (IEM_{gest} , Mcal; eq. 2.12 até 2.14) foi seqüencialmente estimada, onde:

$$IEM_{\text{gest}} = \left[(IEM_m + IEM_{\text{pastejo}}) \times \text{período gestação} \right] + IEM_y; \quad (2.12)$$

$$IEM_y = EL_y \div 0,13; \quad (2.13)$$

$$EL_y = PV_{\text{bez nasc}} (1,811) \exp(0,03233 - 0,0000275t)t; \quad (2.14)$$

em que:

Período de gestação = n° dias variáveis para cada vaca. Para o período de gestação não informado no banco de dados ($n = 49$) foi assumida o período médio do genótipo pertencente ao mesmo grupo contemporâneo;

IEM_y = IEM para a produção do concepto, Mcal;

EL_y = Energia líquida para a produção do concepto, Mcal;

$PV_{bez\ nasc}$ = Peso do bezerro ao nascimento observado, kg; e

t = dias de gestação.

As equações componentes utilizadas na predição da IEM_{pserv} e IEM_{gest} seguiram as recomendações adotadas pelo NRC (1996), exceto a $IEM_{pastejo}$ (CSIRO, 2007). Foi assumido que a digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) do pasto foi igual ao NDT (NRC, 1996), devido a boa correlação entre essas duas variáveis. O pasto utilizado nas estimativas da IEM das vacas (durante o período de serviço e gestação) foi a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, que é uma gramínea amplamente utilizada pelo rebanho de cria. Foi utilizada a DIVMO $57,9 \pm 3,88\%$ desta gramínea, que foi avaliada por pastejo simulado, obtida a partir de um grande conjunto de dados avaliados pela Embrapa Gado de Corte ao longo de 9 anos de estudo (EUCLIDES e MEDEIROS, 2003; GENRO et al., 2004). A disponibilidade média da pastagem nestes estudos, desconsiderando o material morto foi de 1,25 t MS/ha, sendo então também utilizado no atual modelo.

A IEM individual observada das vacas avaliadas durante o período de lactação foi ajustada para a mobilização e deposição tecidual (IEM_c , Mcal). A ER foi estimada considerando 5,2 Mcal/kg de ganho ou perda de peso vazio ($PV_{z\ ganho\ ou\ perdido}$, FOX et al., 1992). A eficiência energética adotada foi 62% para a energia retida (D. P. D. Lanna, Universidade de São Paulo, Brasil, comunicação pessoal) e 82% para a energia mobilizada (MOE et al., 1971; eq. 2.15).

$$IEM_c = IEM_{obs} - \left\{ \left[(PV_{z\ ganho} \times 5,2) \div 0,62 \right] \right\} + \left\{ \left[(PV_{z\ perdido} \times 5,2) \div 0,82 \right] \right\}. \quad (2.15)$$

Como as vacas entraram no sistema de avaliação de consumo individual apenas aos 23 ± 11 dias de lactação foi necessário estimar a energia das vacas neste período. Foi assumido que a energia proveniente da dieta sólida neste período como sendo zero para o bezerro. Portanto, a IEM das vacas na lactação (IEM_{lac} , Mcal; eq. 2.16) foi calculada como segue:

$$IEM_{lac} = IEM_{obs lac} + \left[(EM_{m exp} \times PV_j^{0.75}) \times del \right]; \quad (2.16)$$

em que:

$IEM_{obs lac}$ = IEM total observada durante a lactação, Mcal;

$EM_{m exp}$ = energia metabolizável de manutenção estimada durante o período experimental, $kcal \cdot kg^{-0.75} \cdot d^{-1}$, e

del = dias em lactação ao início do experimento.

A IEM individual de dieta sólida do bezerro (observada do nascimento a desmama, IEM_{bez} , Mcal) foi somada a IEM total de sua mãe e assim foi possível estimar IEM total de cada par vaca-bezerro (IEM_{Tpar} , Mcal; eq. 2.17), como segue:

$$IEM_{Tpar} = IEM_{pserv} + IEM_{gest} + IEM_{lac} + IEM_{bez} \quad (2.17)$$

2.2.2.2 Proteína

Combinando parte das equações utilizadas para descrever a IEM foi possível com mais algumas implementações estimar a ingestão de proteína bruta (IPB, kg) dos pares vaca-bezerro. Esta modelagem protéica foi considerada necessária para estimar as emissões de óxido nitroso que será posteriormente descrito.

A IPB das vacas durante o período de serviço (IPB_{pserv} , kg; eq. 2.18), gestação (IPB_{gest} , kg; eq. 2.19), lactação das vacas ($IPB_{lacvaca}$, kg; eq. 2.20), assim como de seus bezerros [IPB_{bez} , kg (dieta sólida); eq. 2.21], foram estimadas como segue:

$$IPB_{pserv} = (IEM_{pserv} \div EM_{pasto}) \times PB_{pasto} \% ; \quad (2.18)$$

$$IPB_{gest} = (IEM_{gest} \div EM_{pasto}) \times PB_{pasto} \% ; \quad (2.19)$$

$$IPB_{lacvaca} = (IEM_{lacvaca} \div EM_{dieta}) \times PB_{dieta} \% ; \quad (2.20)$$

$$IPB_{bez} = (IEM_{bez} \div EM_{dieta}) \times PB_{dieta} \% ; \quad (2.21)$$

em que:

PB_{pasto} = proteína bruta do pasto, % (em base de MS);

EM_{dieta} = energia metabolizável das dietas experimentais, Mcal/kg MS; e

PB_{dieta} = proteína bruta das dietas experimentais, %.

O mesmo banco de dados de composição do pasto (EUCLIDES e MEDEIROS, 2003; GENRO et al., 2004) foi utilizado para determinar a IP dos pares (durante o período de serviço e gestação). O valor de proteína bruta das amostras de pastejo simulado de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu foi $9,7 \pm 2,50\%$ PB (em base de MS). O teor protéico das dietas experimentais foi $\sim 11,7\%$ PB.

A IPB individual de dieta sólida do bezerro (IPB_{bez} , kg) foi somada a IPB total de sua mãe. Consecutivamente a IPB total de cada par vaca-bezerro (IPB_{Tpar} , kg; eq. 2.22), foi estimada:

$$IPB_{\text{Tpar}} = IPB_{\text{pserv}} + IPB_{\text{gest}} + IPB_{\text{lacvaca}} + IPB_{\text{bez}} \quad (2.22)$$

2.2.3 Descrição dos gases do efeito estufa

Para estimar as emissões gases do efeito estufa (GEE) no sistema de cria, foi assumida a contribuição da vaca durante o período de serviço, gestação e do par vaca-bezerro durante a lactação. Esta premissa foi assumida, pois estudos recentes demonstram que dentro do ciclo completo de produção de gado de corte, o sistema de cria contribui com aproximadamente 80% das emissões dos GEE de todo o ciclo (BEAUCHEMIN et al., 2010). O detalhamento técnico a partir o banco de dados do atual estudo permitiu avaliar o impacto das características da vaca de corte sobre o contexto ambiental e econômico como será apresentado nos próximos parágrafos.

No modelo ambiental, foram inicialmente consideradas para cada vaca e bezerro as seguintes fontes de GEE: i) emissões de metano (CH_4 , kg) proveniente da fermentação entérica; ii) emissões de CH_4 a partir dos sólidos voláteis das fezes e iii) emissões de óxido nitroso (N_2O , kg) a partir dos processos de nitrificação e denitrificação nas fezes e urina.

2.2.3.1 Metano

As emissões de CH₄ a partir da fermentação entérica foram estimadas para a vaca durante o período de serviço (CH₄_{fe-pserv}, kg; eq. 2.23 e 2.24), gestação (CH₄_{fe-gest}, kg; eq. 2.25 e 2.26), para o par vaca-bezerro durante a lactação (CH₄_{fe-lacpar}, kg; eq. 2.27 e 2.28) e para o par vaca-bezerro durante todo o período (CH₄_{Tfe}, kg; eq. 2.29) como segue:

$$\text{CH}_{4\text{ fe-pserv}} = \left[(8,25 + 0,07 \times \text{IEM}_{\text{d pserv}}) \div 55,49 \right] \times \text{período serviço}; \quad (2.23)$$

$$\text{IEM}_{\text{d pserv}} = (\text{IEM}_{\text{pserv}} \div \text{período serviço}) \times 4,184; \quad (2.24)$$

$$\text{CH}_{4\text{ fe-gest}} = \left[(8,25 + 0,07 \times \text{IEM}_{\text{d gest}}) \div 55,49 \right] \times \text{período gestação}; \quad (2.25)$$

$$\text{IEM}_{\text{d gest}} = (\text{IEM}_{\text{gest}} \div \text{período gestação}) \times 4,184; \quad (2.26)$$

$$\text{CH}_{4\text{ fe-lacpar}} = \left\{ \left[(\text{CH}_{4\text{ fe-lacpar L/d}} \times 39,54) \div 1000 \right] \div 55,49 \right\} \times \text{período lactação}; \quad (2.27)$$

$$\text{CH}_{4\text{ fe-lacpar L/d}} = 59,4 \times \text{FDNIng}_{\text{par}} + 64,6; \quad (2.28)$$

$$\text{CH}_{4\text{ Tfe}} = \text{CH}_{4\text{ fe-pserv}} + \text{CH}_{4\text{ fe-gest}} + \text{CH}_{4\text{ fe-lacpar}}; \quad (2.29)$$

em que:

$\text{IEM}_{\text{d pserv}}$ = IEM da vaca no período de serviço, MJ/d;

55,49 = representa o fator de conversão do CH₄ de MJ/d para kg/d;

4,184 = fator de conversão de Mcal para MJ;

$\text{IEM}_{\text{d gest}}$ = IEM da vaca na gestação, MJ/d;

$\text{CH}_{4\text{ fe-lacpar L/d}}$ = $\text{CH}_{4\text{ fe-lacpar}}$ em litros/dia;

$\text{FDNIng}_{\text{par}}$ = ingestão de fibra detergente neutra pela vaca e sua progênie, kg/d; e

Período de lactação = n^o dias variáveis para cada vaca (dado observado).

A estimativa das emissões de CH₄ via fermentação entérica para as vacas durante o período de serviço e gestação foram baseadas na equação linear simples proposta por Mills et al. (2003). Esta equação foi desenvolvida em estudos com vacas alimentadas com dieta com alta proporção de volumosos. Como pode ser observada previamente, tal equação utiliza a IEM (MJ/d) para prever o CH₄. No caso do par-vaca bezerro na lactação a emissão do metano foi estimada de forma conjunta (vaca + bezerro) a partir da equação proposta por Estermann et al. (2004). Este foi o único estudo presente na literatura até o momento em avaliar a fermentação entérica de vacas de corte, contemplando as emissões da progênie, que embora sejam pequenas, não devem ser negligenciadas. Este estudo também avaliou as emissões de CH₄ fornecendo para os animais dieta com alta proporção de volumosos (feno e silagem de gramínea). Como pode ser observada na equação previamente descrita, a ingestão de FDN (kg/d) dos pares foi utilizada para prever a emissão de CH₄ entérico.

As emissões de CH₄ a partir dos sólidos voláteis das fezes foram previstas para a vaca durante o período de serviço (CH₄ fz-pserv, kg; eq. 2.30 até 2.32), gestação (CH₄ fz-gest, kg; eq. 2.33 até 2.35), lactação da vaca (CH₄ fz-lacvaca, kg; eq. 2.36 até 2.39) e de sua progênie (CH₄ fz-bez, kg; eq. 2.40 até 2.43). O CH₄ total proveniente das fezes de cada par vaca-bezerro (CH₄ Tfz, kg; eq. 2.44) também foi estimada. Tais predições foram baseadas na ingestão de energia bruta (IEB) e na digestibilidade da dieta (D) como proposto pelo IPCC (2006a), em que:

$$CH_{4\text{ fz-pserv}} = \left\langle SV_{\text{pserv}} \times \left\{ (B_{0(T)} \times 0,67) \times \left[(FCM_{(S,k)} \div 100) \times MS_{(T,S,k)} \right] \right\} \right\rangle \times \text{período serviço}; \quad (2.30)$$

$$SV_{\text{pserv}} = \left[IEB_{\text{d pserv}} \times (1 - D) + (0,04 \times IEB_{\text{d pserv}}) \right] \times [(1 - 0,08) \div 18,45]; \quad (2.31)$$

$$IEB_{\text{d pserv}} = \left[(IEM_{\text{d pserv}} \div 0,82) \div D \right]; \quad (2.32)$$

$$CH_{4\text{ fz-gest}} = \left\langle SV_{\text{gest}} \times \left\{ (B_{0(T)} \times 0,67) \times \left[(FCM_{(S,k)} \div 100) \times MS_{(T,S,k)} \right] \right\} \right\rangle \times \text{período gestação}; \quad (2.33)$$

$$SV_{\text{gest}} = \left[IEB_{\text{d gest}} \times (1 - D) + (0,04 \times IEB_{\text{d gest}}) \right] \times [(1 - 0,08) \div 18,45]; \quad (2.34)$$

$$IEB_{\text{d gest}} = \left[(IEM_{\text{d gest}} \div 0,82) \div D \right]; \quad (2.35)$$

$$CH_{4 \text{ fz-lacvaca}} = \left\langle SV_{\text{lacvaca}} \times \left\{ (B_{0(T)} \times 0,67) \times \left[(FCM_{(S, k)} \div 100) \times MS_{(T, S, k)} \right] \right\} \right\rangle \times \text{período lactação}; \quad (2.36)$$

$$SV_{\text{lacvaca}} = \left[IEB_{\text{d lacvaca}} \times (1 - D) + (0,04 \times IEB_{\text{d lacvaca}}) \right] \times \left[(1 - 0,08) \div 18,45 \right]; \quad (2.37)$$

$$IEB_{\text{d lacvaca}} = \left[(IEM_{\text{d lacvaca}} \div 0,82) \div D \right]; \quad (2.38)$$

$$IEM_{\text{d lacvaca}} = (IEM_{\text{lacvaca}} \div \text{período lactação}) \times 4,184; \quad (2.39)$$

$$CH_{4 \text{ fz-bez}} = \left\langle SV_{\text{bez}} \times \left\{ (B_{0(T)} \times 0,67) \times \left[(FCM_{(S, k)} \div 100) \times MS_{(T, S, k)} \right] \right\} \right\rangle \times \text{período lactação}; \quad (2.40)$$

$$SV_{\text{bez}} = \left[IEB_{\text{d bez}} \times (1 - D) + (0,04 \times IEB_{\text{d bez}}) \right] \times \left[(1 - 0,08) \div 18,45 \right]; \quad (2.41)$$

$$IEB_{\text{d bez}} = \left[(IEM_{\text{d bez}} \div 0,82) \div D \right]; \quad (2.42)$$

$$IEM_{\text{d bez}} = (IEM_{\text{bez}} \div \text{período lactação}) \times 4,184; \quad (2.43)$$

$$CH_{4 \text{ Tfz}} = CH_{4 \text{ fz-pserv}} + CH_{4 \text{ fz-gest}} + CH_{4 \text{ fz-lac}} + CH_{4 \text{ fz-bez}}; \quad (2.44)$$

em que:

SV = taxa de excreção de sólidos voláteis, kg SV/d;

$B_{0(T)}$ = capacidade máxima de produção de metano pelas fezes da categoria, $m^3 \text{ CH}_4/\text{d}$ do SV excretado. O valor de $B_{0(T)}$ utilizado foi 0,1;

$FCM_{(S, k)}$ = fator de conversão do metano para cada sistema de manejo S pelo clima da região k , %. O valor de $FCM_{(S, k)}$ adotado foi 2 (manejo: pastagem; temperatura: 26 a 28°C);

$MS_{(T, S, k)}$ = fração do impacto da categoria animal no manejo do sistema S no clima da região k . O valor $MS_{(T, S, k)}$ utilizado foi 99% (região: América Latina).

0,67 = fator de conversão do metano de m^3 para kg;

0,04 = energia urinária expressa como fração da IEB;

0,08 = concentração dos minerais nas fezes estimados como fração da IMS;

18,45 = fator de conversão;

$IEM_{d\ lacvaca}$ = IEM da vaca na lactação, MJ/d; e

$IEM_{d\ bez}$ = IEM do bezerro na lactação, MJ/d.

2.2.3.2 Óxido nitroso

As emissões de N_2O a partir do N nas fezes e urina foram estimadas durante o período de serviço ($N_2O_{p\ serv}$, kg; eq. 2.45 até 2.47), na gestação (N_2O_{gest} , kg; eq. 2.48 até 2.51), na lactação da vaca (N_2O_{lac} , kg; eq. 2.52 e 2.53), para a o bezerro (N_2O_{bez} , kg; eq. 2.54 e 2.55), bem como para o par vaca-bezerro durante todos os períodos (N_2O_{lacpar} , kg; eq. 2.56), onde:

$$N_2O_{fz-p\ serv} = \left\langle \left\{ \left[(IPB_{d\ p\ serv} - PM_m) \div 6,25 \right] \times (44 \div 28) \right\} \times 0,02 \right\rangle \times \text{período serviço}; \quad (2.45)$$

$$IPB_{d\ p\ serv} = IPB_{p\ serv} \div \text{período serviço}; \quad (2.46)$$

$$PM_m = (3,8 \times PV_j^{0,75}) \div 1000; \quad (2.47)$$

$$N_2O_{fz-gest} = \left\langle \left\{ \left[IPB_{d\ gest} - (PM_m + PM_y) \right] \div 6,25 \right\} \times (44 \div 28) \right\rangle \times 0,02 \times \text{período gestação}; \quad (2.48)$$

$$IPB_{d\ gest} = IPB_{gest} \div \text{período gestação}; \quad (2.49)$$

$$PM_{gest} = (P_y \div 0,65) \times 6,25; \quad (2.50)$$

$$P_y = PV_{bez\ nasc} (0,001669 - 0,00000211t) \exp(0,0278 - 0,0000176t)t; \quad (2.51)$$

$$N_2O_{fz-lacvaca} = \left\langle \left\{ \left[IPB_{d\ lacvaca} - (PM_m + P_{leite} + P_{ret}) \right] \div 6,25 \right\} \times (44 \div 28) \right\rangle \times 0,02 \times \text{período lactação}; \quad (2.52)$$

$$IPB_{d\ lacvaca} = IPB_{lacvaca} \div \text{período lactação}; \quad (2.53)$$

$$N_2O_{\text{fz-bez}} = \left| \left\{ \left[\text{IPB}_{\text{d bez}} - (\text{PM}_m + \text{P}_{\text{ret}}) \right] \div 6,25 \right\} \times (44 \div 28) \right\} \times 0,02 \times \text{período lactação}; \quad (2.54)$$

$$\text{IPB}_{\text{d bez}} = \text{IPB}_{\text{bez dieta sólida + leite}} \div \text{período lactação}; \quad (2.55)$$

$$N_2O_{\text{Tfz}} = N_2O_{\text{fz-pserv}} + N_2O_{\text{fz-gest}} + N_2O_{\text{fz-lacvaca}} + N_2O_{\text{fz-bez}} \quad (2.56)$$

em que:

$\text{IPB}_{\text{d pserv}}$ = IPB no período de serviço, kg/d;

PM_m = exigência de proteína metabolizável, kg/d;

$\text{IPB}_{\text{d gest}}$ = IPB na gestação, kg/d;

$44 \div 28$ = fator de conversão do N_2O -N para estimar as emissões de N_2O ;

0,02 = fator de emissão do N_2O ;

$\text{IPB}_{\text{d gest}}$ = IBP na gestação, kg/d;

PM_{gest} = exigência de proteína metabolizável de gestação, kg/d;

P_y = Proteína líquida para a produção do conceito, kg N;

$\text{IPB}_{\text{d lacvaca}}$ = IBP na lactação, kg/d;

P_{leite} = proteína secretada no leite, kg/d;

P_{ret} = proteína retida no corpo, kg/d; e

$\text{IPB}_{\text{d bez}}$ = ingestão de dieta sólida e leite na lactação, kg/d.

As exigências de proteína metabolizável para manutenção e gestação anteriormente descritas foram baseadas nas equações propostas pelo NRC (1996). A proteína secretada no leite e retida no corpo das matrizes e das progênes foram calculadas utilizando os dados observados presente nos banco de dados do atual estudo. O fator de conversão do N_2O -N para estimar as emissões de N_2O , vem como o fator de emissão do N_2O para animais em condições de pastejo se baseiam nas predições do IPCC (2006b).

Por fim, os gases emitidos pelo par vaca-bezerro foram expressos em CO₂ equivalente (CO₂ eq_{Tpar}, kg; eq. 2.57) levando em consideração o potencial de aquecimento global num horizonte de 100 anos (FOSTER et al., 2007), como segue:

$$\text{CO}_2 \text{ eq}_{\text{Tpar}} = [(\text{CH}_{4\text{Tfe}} + \text{CH}_{4\text{Tfz}}) \times 25] + (\text{N}_2\text{O}_{\text{Tfz}} \times 298). \quad (2.57)$$

2.2.4 Descrição do modelo econômico

O modelo econômico foi estruturado com o pressuposto básico de concatenar as informações obtidas nos experimentos que avaliaram individualmente os pares vaca-bezerro na fase de lactação com outras informações técnicas e econômicas relacionadas ao sistema real de produção. Portanto, um sistema mais realístico foi desenvolvido no sentido de integrar e ter a plasticidade identificar a variabilidade dos indivíduos também no contexto econômico.

Os componentes considerados neste modelo foram divididos em: benefícios, custos (fixos e variáveis) e as margens, variáveis essas consagradas em teoria econômica (BARNARD; NIX, 1994). No entanto, para definir tais componentes primeiramente foi necessário definir o período da análise econômica e, seqüencialmente, qual o modelo de sistema de produção que os dados experimentais passariam a representar. Para definir o período da análise econômica a avaliação prévia do ciclo pecuário foi analisada. Segundo Martins et al., (2008, Figura 2.1) 2006 marcou o fim do ciclo pecuário iniciado em 1996, e ao mesmo tempo o começo de um novo ciclo.

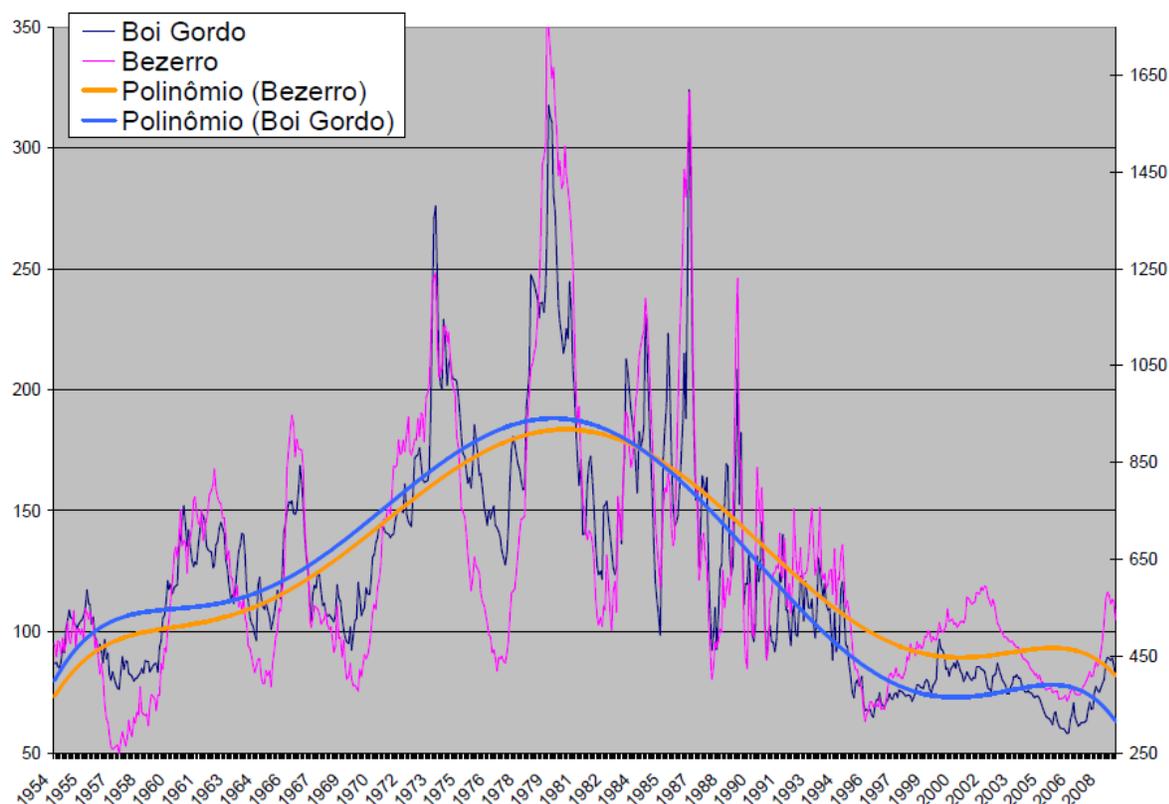


Figura 2.1 - Evolução do preço do bezerro e do boi gordo em São Paulo, 1954 a 2008

Fonte: Martins et al., (2008)

Assim, os preços de mercado de diversos itens disponíveis utilizados para compor os componentes econômicos do atual estudo foram coletados no período do ciclo pecuário compreendido entre os anos de 1996 e 2010. Especificamente os preços ou séries históricas obtidas foram: i) máquinas e equipamentos (trator, carreta agrícola, arado, caminhoneta, combustível e lubrificante); ii) sanidade animal (vacinas, vermífugos e ectoparasiticidas); iii) serviços e mão-de-obra (salário mínimo, capataz e peão); iv) nutrição animal (sal mineral); vi) preço animal (bezerro, boi gordo e vaca de cria); vii) reprodução (sêmen e touro) e viii) energia elétrica. Para aqueles itens que não foram encontrados dados históricos no mercado foram considerados os valores do ano de 2010. No entanto é válido reiterar, que a participação proporcional dos itens não encontrados foram pouco expressivos comparados aos preços históricos utilizados. As séries históricas dos itens descritos foram deflacionadas pelo Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI, FGV, 2010; eq. 2.58) para valores de 2010, como segue:

$$\text{Deflac}_{\text{item A}} = \left\{ \left[\left(\frac{\text{IGP, 2010}}{\text{IGP, 1996}} \right) \times \text{R\$}_{\text{item A}, 1996} \right] + \left[\left(\frac{\text{IGP, 2010}}{\text{IGP, 1997}} \right) \times \text{R\$}_{\text{item A}, 1997} \right] + \left[\dots + \left(\frac{\text{IGP, 2010}}{\text{IGP, 2010}} \right) \times \text{R\$}_{\text{item A}, 2010} \right] \right\} \div \Sigma \text{anos.} \quad (2.58)$$

Por conseguinte, foi considerada a estrutura de custos proposta por Costa et al. (2005), com o intuito de tornar o modelo econômico o mais próximo de uma fazenda de cria. Este sistema modal foi estruturado a partir de uma fazenda típica da região Centro-Oeste do Brasil, delineado após consulta com diversos especialistas, pesquisadores e produtores rurais. No entanto, já que análise econômica no presente trabalho não possui uma escala definida, optou-se por expressar cada item do custo de forma relativa, isto é, na forma de custo por unidade animal (UA = bovino de 450 kg). Todas as variáveis econômicas associadas a estruturas de custos utilizadas no atual estudo são detalhadas nos próximos parágrafos, sendo estratificadas em: benefício bruto, custos e margens.

O benefício bruto foi dividido em benefício proporcional (Ben_{prop} , R\$; eq. 2.59) e benefício absoluto (Ben_{abs} , R\$ eq. 2.60), como segue:

$$\text{Ben}_{\text{prop}} = \text{PV bezerro desmama} \times \text{preço kg}; \quad (2.59)$$

$$\text{Ben}_{\text{abs}} = \text{PV bezerro desmama} \times \text{preço bezerro}; \quad (2.60)$$

em que:

preço kg = R\$/kg de bezerro desmamado; e

preço bezerro = R\$/bezerro desmamado ou R\$/cabeça.

O benefício proporcional descrito anteriormente consegue criar uma variabilidade no preço de venda associado ao desempenho do bezerro que sofre grande influência materna. Contudo, quando um produtor comercializa um bezerro no momento da desmama o que impera na precificação deste animal é o valor da unidade bezerro, ou seja, o benefício absoluto. Embora

este tipo de benefício também sofra efeito maternal ele é menos sensível em termos econômicos quando comparado o benefício proporcional. Outro ponto é que bezerros mais leves quando avaliados pelo benefício proporcional recebem valores muito distintivamente mais baixos que bezerros mais pesados, uma situação que não ocorre na prática. Estas constatações levaram as apresentar os benefícios, bem como as margens econômicas em termos proporcionais e brutos.

A estrutura de custo foi representada pelo custo variável alimentar, custo variável não alimentar e custo fixo não alimentar. Contudo, entre estes custos, o de origem alimentar assume papel de destaque em função da sua representatividade econômica. Além disso, este custo está altamente associado com o modelo de ingestão de energia perfazendo uma interessante conexão entre os modelos. Assim, o custo variável alimentar foi representado pela vaca durante o período de serviço (CVA_{pserv} , R\$; eq. 2.61 até 2.63), gestação (CVA_{gest} , R\$; eq. 2.64), lactação ($CVA_{lacvaca}$, R\$; eq. 2.65) e também seu bezerro (CVA_{bez} , R\$; eq. 2.66). Com estes custos foi então possível estimar o custo variável alimentar total (CVA_T , R\$; eq. 2.67), em que:

$$CVA_{pserv} = (IEM_{pserv} \times RSE_{pasto}) + (I_{sal\ pserv} \times R\$_{sal}); \quad (2.61)$$

$$RSE_{pasto} = \text{Custo}_{pasto} \div EM_{pasto}; \quad (2.62)$$

$$\text{Custo}_{pasto} = (R\$\text{@} \times 20\%) \div [(450 \times IMS_{UA} \%) \times 30,5]; \quad (2.63)$$

$$CVA_{gest} = (IEM_{gest} \times RSE_{pasto}) + (I_{sal\ pserv} \times R\$_{sal}); \quad (2.64)$$

$$CVA_{lacvaca} = (IEM_{lacvaca} \times RSE_{pasto}) + (I_{sal\ pserv} \times R\$_{sal}); \quad (2.65)$$

$$CVA_{bez} = (IEM_{bez} \times RSE_{pasto}) + (I_{sal\ pserv} \times R\$_{sal}); \quad (2.66)$$

$$CVA_T = CVA_{pserv} + CVA_{gest} + CVA_{lacvaca} + CVA_{bez}; \quad (2.67)$$

onde:

$R\$E_{\text{pasto}}$ = preço do pasto, R\$/Mcal EM;

$I_{\text{sal p serv}}$ = ingestão de sal mineral, kg MS;

$R\$_{\text{sal}}$ = preço do sal, R\$/kg MS;

$\text{Custo}_{\text{pasto}}$ = Custo do pasto, R\$/kg MS;

EM_{pasto} = energia metabolizável do pasto, Mcal/kg MS;

$R\$_{@}$ = preço deflacionado da arroba do boi gordo (@ = 15 kg carcaça), R\$;

20 = fator utilizado para determinar o valor do aluguel da pastagem, %;

IMS_{UA} = ingestão de MS/UA, % PV; e

30,5 = n° médio de dias/mês.

Foi assumida uma IMS fixa de $70 \text{ g}\cdot\text{vaca}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ de sal mineral para vacas durante o período de serviço, bem como na gestação. A IMS de sal durante a lactação foi observada. Na determinação do preço do pasto o fator de 20% sobre a arroba do boi gordo foi aplicado, pois é uma situação corriqueira no aluguel de pastagens em áreas mais valorizadas. A IMS assumida para a determinação do custo da pastagem foi de 2,29% PV. Esse valor representa a ingestão média estimada em experimentos conduzidos ao longo de nove anos com o uso de marcadores externos em bovinos de corte manejados sobre *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (EUCLIDES e MEDEIROS, 2003; GENRO et al., 2004).

Os custos variáveis não alimentares foram divididos em custo variável não alimentar (CVNA, R\$; eq. 2.68) e o custo fixo não alimentar (CFNA, R\$; eq. 2.69). O custo total também pode ser calculado (Custo_T , R\$; eq. 2.70), como segue:

$\text{CVNA} = \text{reprodução} + \text{controle sanitário da vaca} + \text{controle sanitário do bezerro} + \text{identificação animal} + \text{serviços e mão-de-obra} + \text{manutenção de máquinas e equipamentos} + \text{combustível e lubrificantes} + \text{telefone} + \text{Fundo de Desenvolvimento do Sistema Rodoviário (FUNDERSUL)}$;

(2.68)

CFNA = (depreciação: vaca + cavalo + máquinas e equipamentos) + (juros: cavalo + máquinas e equipamentos) + pró-labore do produtor; e

(2.69)

$$\text{Custo}_T = \text{CVA}_T + \text{CVNA} + \text{CFNA}. \quad (2.70)$$

Por fim, a margem econômica foi representada pela margem bruta (M_{brut} , R\$, eq. 2.71), margem líquida proporcional ($M_{\text{liq prop}}$, R\$, eq. 2.72) e margem líquida absoluta ($M_{\text{liq abs}}$, R\$, eq. 2.73), como segue:

$$M_{\text{brut}} = \text{benefício bruto proporcional} - (\text{custo alimentar variável} + \text{custo não alimentar variável}); \quad (2.71)$$

$$M_{\text{liq prop}} = \text{benefício bruto proporcional} - (\text{custo alimentar variável} + \text{custo não alimentar variável} + \text{custo fixo não alimentar}); \text{ e} \quad (2.72)$$

$$M_{\text{liq abs}} = \text{benefício bruto absoluto} - (\text{custo alimentar variável} + \text{custo não alimentar variável} + \text{custo fixo não alimentar}). \quad (2.73)$$

2.2.5 Análises estatísticas

2.2.5.1 Modelo linear e meta análise

As variáveis de condição corporal das vacas (PV_j , e ECC), energia ingerida, variáveis do modelo ambiental e econômico, assim como as variáveis de produção de leite, exigências das vacas e eficiência foram analisadas dos bancos de dados em questão foram analisadas utilizando um modelo de meta-análise. No modelo resultante, o efeito do experimento foi considerado aleatório. O efeito de bloco foi incluído dentro do efeito do experimento. O efeito do bloco. O modelo linear de efeitos mistos (LEM, eq. 2.74) considerado foi:

$$Y_{ijkl} = \mu + G_j + S_k + E_l(B_i) + e_{ijkl}, \quad (2.74)$$

onde Y_{ijkl} é a resposta do bloco i , do genótipo da vaca j , em que o sexo de sua progênie é k , do experimento l ; μ é média da população; E_l ($E_l \sim N(0, \sigma_E^2)$) é o efeito aleatório do experimento, onde $l = 1, 2, 3$; B_i é o efeito fixo do bloco, onde $i = 1, 2, \dots, 13$; G_j é o genótipo da vaca e foi considerado como efeito fixo, onde $j =$ Nelore, Angus x Nelore, Canchim x Nelore, Caracu x Nelore e Simental x Nelore; S_k é o efeito fixo referente ao sexo da progênie; e e_{ijkl} é o erro do modelo, onde $e_{ijkl} \sim \text{NID}(0; \sigma^2)$.

Os resultados foram analisados com o procedimento MIXED do software SAS (SAS, Inst. Inc., Cary, NC). Após ANOVA, foram estimados as médias de quadrados mínimos e os respectivos erros padrão (EP). O teste de Tukey foi utilizado para comparar as diferenças médias entre os genótipos.

2.2.5.2 Modelo não linear de efeitos mistos e as curvas de lactação

Todas as metodologias de ajuste as curvas de lactação através dos modelos não lineares de efeitos mistos, bem como das exigências líquidas das vacas a partir do conjunto de dados I, II e III foram realizados utilizando a metodologia detalhada no primeiro capítulo desta tese.

2.2.5.3 Modelos de equações estruturais e análise de trilha

O procedimento TCALIS do SAS (SAS, Inst. Inc., Cary, NC) foi utilizado na análise do modelo de equações estruturais (STEM) e análise de trilha seguindo a seqüência de análise pormenorizada por Yung (2008). O objetivo deste tipo de modelagem foi o de compreender e avaliar a influência do peso adulto e da produção do leite sobre as emissões dos gases (GEE) relacionados ao efeito estufa e sobre a lucratividade no sistema de cria. Primeiramente um modelo teórico de equações estruturais (MEE, Figura 2.2) foi utilizado para avaliar os efeitos da produção de leite e peso da vaca nos GEE e na lucratividade do sistema de cria. Seqüencialmente, testes simultâneos utilizando MEE de múltiplo-grupo (Figura 2.3) foram utilizados para avaliar as diferenças médias de acordo com os seguintes critérios: genótipo da vaca (0% vs. 50% *Bos taurus*), sexo do bezerro (fêmea vs. macho), peso da vaca (leve vs. pesada), produção de leite

(baixa vs. alta), e eficiência econômica (margem econômica do par/kg ganho do bezerro, baixa vs. alta). A programação detalhada do STEM geral e múltiplo-grupo pode verificada no Apêndice B.

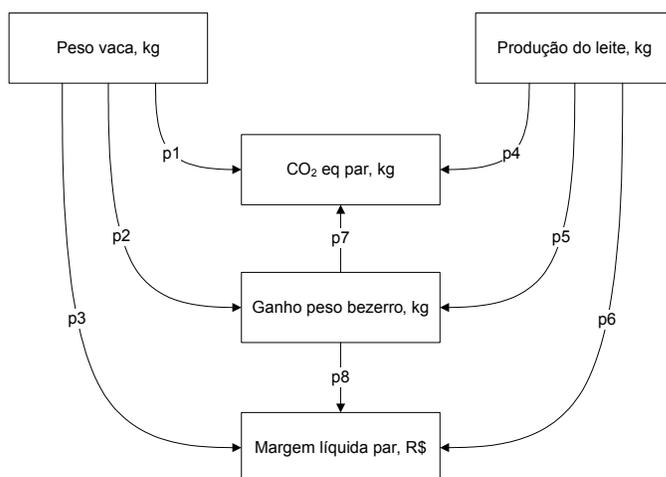


Figura 2.2 - Efeitos direto e indireto de características de vacas de corte na emissão dos gases do efeito estufa (CO₂ equivalente) e lucratividade do par vaca-bezerro: diagrama de trilha geral com os coeficientes de regressão (p1 até p8)

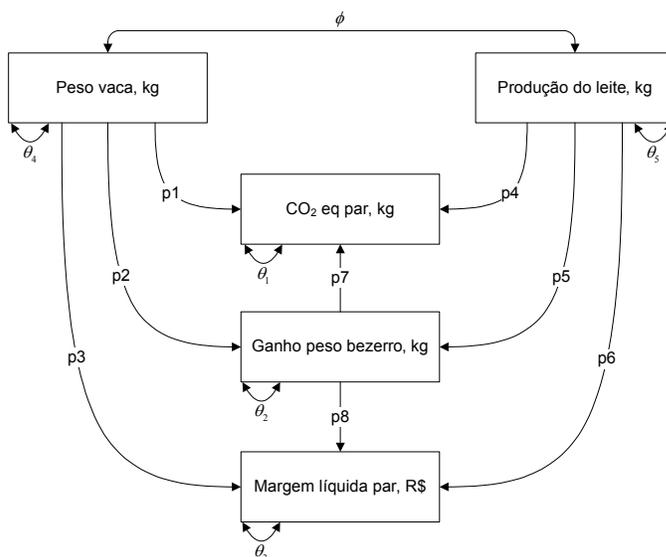


Figura 2.3 - Efeitos direto e indireto de características de vacas de corte na emissão dos gases do efeito estufa (CO₂ equivalente) e lucratividade do par vaca-bezerro: diagrama de trilha múltiplo-grupo com os coeficientes de regressão (p1 até p8), variâncias (θ_1 to θ_5) e coeficientes de covariância (ϕ).

2.3 Resultados e Discussões

A energia metabolizável ingerida (EMI, Mcal) pelo par vaca-bezerro NL foi 8 a 20% menor que os demais genótipos ($P = 0,036$, Tabela 1).

Tabela 2.1 - Média de quadrados mínimos (\pm EP) de medidas corporais a ingestão energética estimada dos pares vaca-bezerro

Variável	Genótipo da vaca					P
	Nelore	Angus x Nelore	Canchim x Nelore	Caracu x Nelore	Simental x Nelore	
Medida corporal						
Peso jejum médio vaca, kg	451 \pm 9,9 ^b	495 \pm 10,1 ^a	451 \pm 15,9 ^b	506 \pm 14,2 ^a	521 \pm 12,1 ^a	0,064
ECC médio vaca, ¹ escala 1 a 9	4,9 \pm 0,06 ^{ab}	4,9 \pm 0,06 ^{ab}	4,7 \pm 0,09 ^b	5,1 \pm 0,08 ^a	5,0 \pm 0,07 ^{ab}	0,098
Ganho de peso bezerro, ² kg	153 \pm 4,1 ^c	183 \pm 4,5 ^{ab}	176 \pm 7,9 ^{ab}	173 \pm 6,1 ^b	195 \pm 5,9 ^a	0,088
Energia metabolizável ingerida						
Período de serviço vaca, Mcal	1.310 \pm 23,8 ^b	1.470 \pm 24,5 ^a	1.362 \pm 38,4 ^b	1.497 \pm 34,4 ^a	1.535 \pm 29,4 ^a	0,090
Gestação vaca, Mcal	4.543 \pm 78,5 ^c	5.079 \pm 81,1 ^b	4.819 \pm 128,1 ^{bc}	5.132 \pm 114,0 ^{ab}	5.412 \pm 97,7 ^a	0,039
Lactação vaca, Mcal	3.785 \pm 93,6 ^b	4.522 \pm 94,8 ^a	4.280 \pm 141,0 ^a	4.518 \pm 130,2 ^a	4.737 \pm 110,3 ^a	0,032
Lactação bezerro, Mcal _{dieta sólida}	390 \pm 27,4	339 \pm 27,8	395 \pm 41,4	408 \pm 38,2	355 \pm 32,3	0,375
Total par vaca-bezerro, Mcal	10.028 \pm 154,1 ^c	11.386 \pm 159,1 ^b	10.870 \pm 251,8 ^b	11.511 \pm 223,8 ^{ab}	12.047 \pm 192,0 ^a	0,036

^{a-c}Médias na mesma linha, sem letras sobrescritas iguais, diferem uma das outras pelo teste de Tukey.

¹ECC: escore de condição corporal.

²Peso em jejum a desmama – peso ao nascimento.

As exigências para lactação (EM_l , $\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$) foram maiores para vacas SN, AN e CR, intermediária para vacas CN e menores para vacas NL ($P = 0,013$). A energia secretada no leite (Mcal/d) seguiu a mesma seqüência, sendo, portanto estatisticamente superiores para os genótipos cruzados ($P = 0,079$, Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Média de quadrados mínimos (\pm EP) da produção do leite e das exigências de lactação

Variável	Genótipo da vaca					P
	Nelore	Angus x Nelore	Canchim x Nelore	Caracu x Nelore	Simental x Nelore	
Leite						
Produção total, ¹ kg	870 \pm 28,2 ^d	1.332 \pm 30,6 ^b	1.108 \pm 51,9 ^c	1.128 \pm 41,8 ^c	1.468 \pm 39,0 ^a	0,053
Secreção energia total, Mcal	765 \pm 31,0 ^c	1.070 \pm 32,1 ^a	898 \pm 50,1 ^{bc}	1.004 \pm 45,1 ^{ab}	1.141 \pm 38,7 ^a	0,025
Secreção energia, Mcal/d	3,7 \pm 0,15 ^d	5,3 \pm 0,16 ^{ab}	4,4 \pm 0,25 ^c	4,9 \pm 0,22 ^{bc}	5,7 \pm 0,19 ^a	0,079
Exigências da vaca						
IEM, ² kcal·kg ^{-0.75} ·d ⁻¹	191 \pm 4,5 ^b	213 \pm 4,5 ^a	216 \pm 6,5 ^a	207 \pm 6,1 ^a	215 \pm 5,2 ^a	0,059
EM _m , ³ kcal·kg ^{-0.75} ·d ⁻¹	130 \pm 5,2	133 \pm 5,2	140 \pm 7,1	136 \pm 6,7	131 \pm 5,8	0,566
EM _l , ⁴ kcal·kg ^{-0.75} ·d ⁻¹	62 \pm 2,5 ^b	82 \pm 2,6 ^a	73 \pm 4,2 ^{ab}	75 \pm 3,7 ^a	84 \pm 3,2 ^a	0,013

^{a-d}Médias na mesma linha, sem letras sobscritas iguais, diferem uma das outras pelo teste de Tukey.

¹Produção de leite (kg/d) foi estimada a partir do modelo final de Brody. Equações seguem agrupadas de acordo com: genótipo da vaca, método da produção do leite [ordenha mecânica (OM) ou pesagem do bezerro antes e após a mamada (PMP)] e sexo do bezerro [somente para OM, onde: macho (M) e fêmea (F)], como segue: i) Nelore, OM, M $[y = 4.635\exp(-0.00078 \times d)]$, F $[y = 3.953\exp(-0.00078 \times d)]$; ii) Nelore, PMP $[y = 4.615\exp(-0.00049 \times d)]$; iii) Angus x Nelore, OM, M $[y = 9.015\exp(-0.00228 \times d)]$, F $[y = 8.333\exp(-0.00228 \times d)]$; iv) Angus x Nelore, PMP $[y = 6.726\exp(-0.00049 \times d)]$; v) Canchim x Nelore, PMP $[y = 5.753\exp(-0.00049 \times d)]$; vi) Caracu x Nelore, OM, M $[y = 6.882\exp(-0.00169 \times d)]$, F $[y = 6.203\exp(-0.00169 \times d)]$; e vii) Simental x Nelore, PMP $[y = 7.703\exp(-0.00049 \times d)]$. O efeito aleatório representado pela vaca sobre o parâmetro a (produção do leite ao parto) nas equações apresentadas previamente foi omitido.

²Ingestão de energia metabolizável.

³Exigência de energia metabolizável para manutenção.

⁴Exigência de energia metabolizável para lactação.

O total de CO₂ equivalente (CO₂ eq, kg) emitido pelo par NL foi aproximadamente 6 a 12% menor que os genótipos cruzados ($P = 0,005$, Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Média de quadrados mínimos (\pm EP) da emissão estimada dos gases metano e óxido nítrico proveniente da fermentação e fezes provenientes dos pares vaca-bezerro

Variável	Genótipo da vaca					P
	Nelore	Angus x Nelore	Canchim x Nelore	Caracu x Nelore	Simental x Nelore	
Metano						
Fermentação entérica						
Período de serviço vaca, kg CH ₄	20,6 \pm 0,12 ^b	21,4 \pm 0,13 ^a	20,9 \pm 0,20 ^b	21,6 \pm 0,18 ^a	21,8 \pm 0,15 ^a	0,090
Gestação vaca, kg CH ₄	66,9 \pm 0,46 ^c	69,5 \pm 0,48 ^b	68,6 \pm 0,78 ^{bc}	69,7 \pm 0,67 ^b	71,7 \pm 0,59 ^a	0,020
Lactação par vaca-bezerro, kg CH ₄	59,4 \pm 2,68 ^c	67,7 \pm 2,70 ^b	65,2 \pm 2,92 ^b	68,7 \pm 2,88 ^{ab}	71,6 \pm 2,75 ^a	0,023
Fezes						
Período de serviço vaca, kg CH ₄	0,35 \pm 0,006 ^b	0,39 \pm 0,007 ^a	0,37 \pm 0,010 ^b	0,40 \pm 0,009 ^a	0,413 \pm 0,008 ^a	0,090
Gestação vaca, kg CH ₄	1,22 \pm 0,021 ^c	1,37 \pm 0,022 ^b	1,30 \pm 0,034 ^{bc}	1,38 \pm 0,031 ^{ab}	1,46 \pm 0,026 ^a	0,039
Lactação par vaca-bezerro, kg CH ₄	1,56 \pm 0,032 ^c	1,79 \pm 0,032 ^b	1,74 \pm 0,046 ^b	1,82 \pm 0,043 ^{ab}	1,92 \pm 0,037 ^a	0,008
Óxido nítrico						
Fezes						
Período de serviço vaca, g N ₂ O	135 \pm 2,8 ^b	159 \pm 2,9 ^a	147 \pm 4,5 ^b	162 \pm 4,0 ^a	167 \pm 3,5 ^a	0,085
Gestação vaca, g N ₂ O	436 \pm 9,1 ^c	514 \pm 9,4 ^{ab}	480 \pm 14,7 ^b	522 \pm 13,1 ^{ab}	547 \pm 11,2 ^a	0,054
Lactação par vaca-bezerro, g N ₂ O	1.052 \pm 95,6 ^b	1.217 \pm 95,5 ^a	1.175 \pm 101,2 ^a	1.212 \pm 100,3 ^a	1.296 \pm 97,1 ^a	0,077
Dióxido de carbono equivalente						
CO ₂ eq par (ferm. ent. CH ₄), ¹ kg	3.673 \pm 73,5 ^c	3.967 \pm 73,3 ^b	3.867 \pm 83,9 ^b	4.012 \pm 82,0 ^{ab}	4.127 \pm 76,4 ^a	0,009
CO ₂ eq par (fezes CH ₄), kg	78 \pm 1,22 ^c	89 \pm 1,24 ^b	85 \pm 1,92 ^b	90 \pm 1,74 ^{ab}	95 \pm 1,74 ^a	0,013
CO ₂ eq par (fezes N ₂ O), kg	484 \pm 28,1 ^c	564 \pm 28,1 ^b	541 \pm 30,5 ^b	568 \pm 30,1 ^{ab}	599 \pm 28,8 ^a	0,074
Emissão total par, ² kg CO ₂ eq	4.229 \pm 62,6 ^c	4.612 \pm 62,6 ^b	4.480 \pm 80,1 ^b	4.648 \pm 77,0 ^{ab}	4.817 \pm 68,0 ^a	0,005

^{a-c}Médias na mesma linha, sem letras sobrescritas iguais, diferem uma das outras pelo teste de Tukey.

¹Ferm. ent.: fermentação entérica.

²CO₂ equivalente total proveniente do metano e óxido nítrico emitido.

A margem econômica líquida a desmama [benefício bruto – (custos fixos + custos variáveis)] foi usada como um indicador de lucratividade do sistema de cria. Quando a margem líquida foi calculada utilizando o benefício bruto proporcional (kg bezerro a desmama x preço/kg), pares AN e SN foram mais lucrativos que o par NL ($P = 0,001$). Contudo, quando a margem líquida foi estimada usando o benefício bruto absoluto (preço/unidade bezerro), o par NL foi mais lucrativo que os genótipos cruzados ($P = 0,046$, Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Média de quadrados mínimos (\pm EP) do benefício econômico, custos e margens estimadas do par vaca-bezerro

Variável	Genótipo da vaca					P
	Nelore	Angus x Nelore	Canchim x Nelore	Caracu x Nelore	Simental x Nelore	
Benefício bruto						
Benefício proporcional, R\$ ¹	551 \pm 13,3 ^c	654 \pm 14,8 ^{ab}	632 \pm 25,7 ^{ab}	621 \pm 19,8 ^{bc}	702 \pm 19,3 ^a	0,051
Benefício absoluto, R\$ ²	532	532	532	532	532	-
Custo						
Custo variável alimentar, R\$ ³	287 \pm 4,3 ^c	322 \pm 4,4 ^b	310 \pm 6,7 ^b	324 \pm 6,1 ^{ab}	340 \pm 5,1 ^a	0,029
Custo variável não alimentar, R\$ ⁴	99 \pm 0,4 ^b	95 \pm 0,5 ^c	95 \pm 0,8 ^c	103 \pm 0,7 ^a	96 \pm 0,6 ^c	< 0,001
Custo fixo não alimentar, R\$ ⁵	80,2	80,2	80,2	80,2	80,2	-
Custo total, R\$	466 \pm 4,3 ^c	498 \pm 4,4 ^b	486 \pm 6,8 ^b	506 \pm 6,2 ^{ab}	516 \pm 5,2 ^a	0,045
Margem						
Margem bruta, R\$ ⁶	164 \pm 12,8 ^b	241 \pm 14,2 ^a	226 \pm 24,6 ^{ab}	204 \pm 19,0 ^{ab}	264 \pm 14,4 ^a	0,001
Margem líquida proporcional, R\$ ⁷	83 \pm 12,8 ^b	161 \pm 14,2 ^a	146 \pm 24,6 ^{ab}	123 \pm 19,0 ^{ab}	184 \pm 18,4 ^a	0,001
Margem líquida absoluta, R\$ ⁸	66 \pm 4,3 ^a	35 \pm 4,4 ^b	46 \pm 6,8 ^b	26 \pm 6,2 ^{bc}	16 \pm 5,2 ^c	0,046

^{a-c}Médias na mesma linha, sem letras sobrescritas iguais, diferem uma das outras pelo teste de Tukey.

¹Peso do bezerro a desmama, kg \times preço do bezerro, R\$/kg.

²Preço, R\$/bezerro desmamado (ou preço/cabeça).

³Custos com o período de serviço + gestação + lactação da vaca + bezerro do nascimento a desmama.

⁴Custos com reprodução + controle sanitário da vaca + controle sanitário do bezerro + identificação animal + serviços e mão-de-obra + manutenção de máquinas e equipamentos + combustível e lubrificantes + telefone + Fundo de Desenvolvimento do Sistema Rodoviário (FUNDERSUL)

⁵(depreciação: vaca + cavalo + máquinas e equipamentos) + (juros: cavalo + máquinas e equipamentos) + pró-labore do produtor.

⁶Benefício bruto proporcional – (custo alimentar variável + custo não alimentar variável).

⁷Benefício bruto proporcional – (custo alimentar variável + custo não alimentar variável + custo fixo não alimentar).

⁸Benefício bruto absoluto – (custo alimentar variável + custo não alimentar variável + custo fixo não alimentar).

A eficiência alimentar dos pares vaca-bezerro foi $15,8 \pm 2,37$ g ganho bezerro/IEM par total. O par NL emitiu 2,3 a 3,5 mais kg CO₂ eq/kg ganho bezerro, quando comparado com as emissões dos genótipos cruzados ($P = 0,019$). Os pares AN e SN foram economicamente mais eficientes (margem líquida proporcional/ganho bezerro) que o par NL ($P = 0,007$, Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Média de quadrados mínimos (\pm EP) da eficiência alimentar, ambiental e econômica do par vaca-bezerro

Variável	Genótipo da vaca					P
	Nelore	Angus x Nelore	Canchim x Nelore	Caracu x Nelore	Simental x Nelore	
Eficiência alimentar da vaca						
kcal leite/IEM vaca lactação ¹	194 \pm 8,8 ^b	226 \pm 8,9 ^a	206 \pm 12,6 ^{ab}	206 \pm 11,9 ^{ab}	233 \pm 10,1 ^a	0,006
Eficiência alimentar do bezerro						
g ganho /MEI _{dieta sólida +leite} bezerro lactação ²	144 \pm 4,9	144 \pm 4,9	145 \pm 7,1	139 \pm 6,6	141 \pm 5,6	0,933
Eficiência do par vaca-bezerro						
Alimentar, g ganho/IEM par lactação	36,9 \pm 0,96	38,3 \pm 1,00	37,8 \pm 1,6	36,7 \pm 1,4	38,6 \pm 1,2	0,741
Alimentar, g ganho/IEM par todos períodos ³	15,2 \pm 0,38	16,3 \pm 0,42	16,2 \pm 0,73	15,3 \pm 0,57	16,3 \pm 0,55	0,319
Ambiental, kg par CO ₂ eq/kg ganho ⁴	28,5 \pm 0,68 ^a	25,1 \pm 0,75 ^b	25,0 \pm 1,29 ^b	26,2 \pm 1,01 ^{ab}	25,0 \pm 0,97 ^b	0,019
Econômico, R\$ margem líquida/kg ganho ⁵	0,49 \pm 0,065 ^b	0,82 \pm 0,071 ^a	0,80 \pm 0,119 ^{ab}	0,66 \pm 0,097 ^{ab}	0,92 \pm 0,091 ^a	0,007

^{a-c}Médias na mesma linha, sem letras sobrescritas iguais, diferem uma das outras pelo teste de Tukey.

¹Ingestão de energia metabolizável.

²Ganho do bezerro = peso em jejum a desmama – peso ao nascimento.

³Todos os períodos = período de serviço + gestação + lactação.

⁴CO₂ equivalente do par vaca-bezerro = CO₂ eq proveniente da emissão total de CH₄ + N₂O.

⁵Margem líquida = benefício bruto proporcional – (custo alimentar variável + custo não alimentar variável + custo fixo não alimentar).

A partir do ponto de vista do teste de hipótese estatística, o modelo teórico usado para o MEE não pode ser rejeitado. O indicador de ajuste ($> 0,90$), baixo valor da raiz do quadrado médio padronizado e elevados valores para os índices incrementais ($> 0,90$) indicaram um bom ajuste do modelo (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 - Resumo da estatística de ajuste do modelo de trilha sobre características de vacas de corte na emissão dos gases do efeito estufa e lucratividade do par vaca-bezerro

Variável	Valor
Informação do modelo	
No. observações	117
No. variáveis	5
No. parâmetros	14
Índice absoluto	
Teste-Z de Wilson & Hilferty	4,347
Raiz do quadrado médio residual padronizado	0,019
Indicador de melhor ajuste	0,934
Índice de parsimonia	
Indicador de ajuste corrigido	0,008
Indicador de ajuste parsimonioso	0,093
Aproximação da raiz do erro do quadrado médio	0,431
Critério de informação de Akaike	20,592
Critério de informação Bayesiano	17,830
Índice incremental	
Índice de ajuste incremental de Bentler	0,956
Bentler-Bonett NFI	0,955

Os efeitos direto e positivo do peso da vaca e indireto da produção de leite (intermediado pelo ganho do bezerro) aumentaram as emissões de CO₂ eq do sistema ($P < 0,05$). O peso da vaca afetou negativamente e diretamente a lucratividade do sistema ($P < 0,05$). Por outro lado, a produção de leite afetou positivamente e indiretamente (pelo ganho do bezerro, $P < 0,05$) a lucratividade (Tabelas 2.7 e 2.8).

Tabela 2.7 - Estimação dos coeficientes de trilha do modelo geral sobre as características da vaca sobre a emissão dos gases do efeito estufa e lucratividade do par vaca-bezerro

Trilha (efeito total)		Parâmetro	Estimativa	EP ¹	Valor de t^2
Peso vaca	→ CO ₂ eq	p1	3,498	0,3482	10,044
Peso vaca	→ Ganho bezerro	p2	- 0,002	0,0362	- 0,058
Peso vaca	→ Margem líquida	p3	- 0,271	0,0380	- 7,119
Produção leite	→ CO ₂ eq	p4	0,052	0,0944	0,544
Produção leite	→ Ganho bezerro	p5	0,068	0,0075	9,103
Produção leite	→ Margem líquida	p6	- 0,001	0,0103	- 0,126
Ganho bezerro	→ CO ₂ eq	p7	3,482	0,8931	3,899
Ganho bezerro	→ Margem líquida	p8	2,871	0,0975	29,442

¹Erro padrão.

²Ao nível $\alpha = 0,05$ o valor de t com $\pm 1,96$ pode ser usado como valor crítico de detecção estatística.

Tabela 2.8 - Estimativa dos efeitos total, direto e indireto dos coeficientes de trilha do modelo geral sobre o peso e produção de leite da vaca sobre a emissão dos gases do efeito estufa na lucratividade do par vaca-bezerro

Variável		Total	Direto	Indireto
Efeito no CO ₂ eq total par				
Peso da vaca	Estimativa	3,490	3,498	- 0,007
	EP ¹	0,3703	0,3482	0,1261
	Valor de t^2	9,425	10,044	- 0,058
Produção do leite	Estimativa	0,290	0,052	0,238
	EP	0,0767	0,0944	0,0663
	Valor de t	3,781	0,554	3,584
Efeito na margem líquida				
Peso da vaca	Estimativa	- 0,277	- 0,271	- 0,006
	EP	0,1107	0,0380	0,1039
	Valor de t	- 2,500	- 7,119	- 0,058
Produção do leite	Estimativa	0,195	- 0,001	0,196
	EP	0,0229	0,0103	0,0225
	Valor de t	8,492	- 0,127	8,697

¹Erro padrão.

²Ao nível $\alpha = 0,05$ o valor de t com $\pm 1,96$ pode ser usado como valor crítico de detecção estatística.

Baseado no MEE múltiplo-grupo, bezerros machos foram responsáveis por aumentar a lucratividade quando comparado com as fêmeas ($P < 0,049$). Interessantemente, os grupos selecionados a partir do índice de eficiência econômica apresentaram a maior capacidade de melhorar a lucratividade ($P < 0,001$) reduzindo simultaneamente as emissões dos GEE ($P = 0,023$). Ademais, vacas selecionadas para o índice de eficiência econômica foram mais leves e apresentaram maior produção de leite ($P < 0,01$, Tabelas 2.9 e 2.10).

Tabela 2.9 - Comparação de ajuste entre múltiplo-grupos sobre as características da vaca de corte na emissão dos gases do efeito estufa e na lucratividade do par vaca-bezerro

Variável	Grupo												Eficiência econômica do par, R\$ margem líquida/kg ganho bezerro			
	Genótipo da vaca			Sexo do bezerro			Peso da vaca, kg			Produção do leite, kg						
	0%		50%	Ger al	Fêm ea	Mac ho	Média		Média		Ger al	na inferior	na superior	Ger al	na inferior	na superior
	Ger al	<i>Bos taurus</i>	<i>Bos taurus</i>				na inferior	na superior								
Informações do modelo ¹																
No. observações	117	38	79	117	57	60	117	59	58	117	59	58	117	59	58	
Índice de ajuste	100	51	49	100	52	48	100	65	35	100	28	72	100	24	76	
Contribuição Chi-Quadrado, %																
RQMR ²	6.60	9.55	4.59	9.77	10.8	8.95	5.15	4.512	5.735	3.76	3.290	4.201	4.64	5.867	2.930	
RMSR padronizado	0,154	0,252	0,070	0,198	0,264	0,102	0,100	0,111	0,088	0,084	0,068	0,097	0,105	0,109	0,101	
Indicador de melhor ajuste	0,997	0,997	0,998	0,996	0,997	0,996	0,997	0,996	0,998	0,997	0,998	0,996	0,998	0,999	0,997	
Bentler-Bonett NFI	0,873	0,811	0,905	0,896	0,877	0,911	0,899	0,871	0,926	0,878	0,928	0,832	0,918	0,962	0,872	

¹Todos os grupos foram modelados com o mesmo número de variáveis (n = 5) e com o mesmo número de parâmetros (modelo geral = 24 e cada grupo = 19).²Raiz do quadrado médio residual.

Tabela 2.10 - Testes simultâneos das diferenças nas médias e interceptos do modelo estrutural múltiplo-grupo de acordo com o genótipo da vaca, sexo do bezerro, peso da vaca, produção de leite e eficiência econômica do par vaca-bezerro

Modelo	Funções paramétricas	Valor da função	Chi-Quadrado	P
Genótipo da vaca ¹	Peso da vaca, kg	41	13,8	< 0,001
	Produção do leite, kg	439	110,7	< 0,001
Sexo do bezerro ²	Ganho bezerro, kg	8	3,9	0,047
	Margem líquida par, R\$	8.3	3,7	0,055
Peso da vaca ³	Peso da vaca, kg	82	110,4	< 0,001
Produção do leite ⁴	Ganho bezerro, kg	8	2,8	0,093
	Produção do leite, kg	271	30,9	< 0,001
Eficiência par ⁵	CO ₂ eq par, kg	- 126	5,1	0,023
	Ganho bezerro, kg	32	87,5	< 0,001
	Margem líquida par, R\$	25	18,1	< 0,001
	Peso da vaca, kg	- 29	7,4	0,006
	Produção do leite, kg	130	6,9	0,009

Testes simultâneos não significativos (Chi-Quadrado: $P > 0,10$) não foram apresentados.

¹Grupo relativo ao genótipo da vaca: 1) 0% *Bos taurus* e 2) 50% *Bos taurus*.

²Grupo relativo ao sexo do bezerro: 1) female and 2) male.

³Grupo relativo ao peso da vaca: 1) mediana inferior e 2) superior.

⁴Grupo relativo a produção do leite: 1) mediana inferior e 2) superior.

⁵Grupo relativo a eficiência econômica do par (R\$ margem líquida proporcional/kg ganho bezerro): 1) mediana inferior e 2) superior.

2.4 Conclusões

Levando em consideração as condições ambientais não limitantes deste estudo, conclui-se que vacas Nelore apresentam menor demanda energética que vacas Nelore x *Bos taurus*.

Neste cenário, vacas com maior potencial de produção de leite, neste estudo representado por vacas Angus x Nelore e Simental x Nelore, são mais lucrativas considerando o benefício bruto proporcional.

Entretanto, vacas mais produtivas são geralmente mais pesadas e esta característica afeta diretamente as emissões do GEE e negativamente a lucratividade do sistema de cria.

Referências

AUSTRALIAN COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND RESEARCH ORGANIZATION. 2nd ed. rev. **Nutrient requirements of domestic ruminants**. CSIRO PUBLISHING: Callingwood, Australia, 2007. p. 21-24.

BARNARD, C.S.; NIX, J.S. Farm planning and control. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 600 p.

BEAUCHEMIN, K.A.; JANZEN, H.H.; SHANNAN, M.L.; McALLISTER, T.A.; MCGINN, S.M. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: a case study. **Agricultural Systems**, Boston, v. 103, p. 371-379, 2010.

CALEGARE, L.; ALENCAR, M.M.; PACKER, I.U.; LANNA, D.P.D. Energy requirements and cow/calf efficiency of Nellore and Continental and British *Bos taurus* x Nellore crosses. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 85, p. 2413-2422, 2007.

CALEGARE, L.; ALENCAR, M.M.; PACKER, I.U.; FERRELL, C.L.; LANNA, D.P.D. Cow/calf pre-weaning efficiency of Nellore and *Bos taurus* x *Bos indicus* crosses. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 87, p. 740-747, 2009.

COSTA, F.P.; CORRÊA, E.S.; MELO FILHO, G.A.; CEZAR, I.M.; PEREIRA, M.A. **Sistemas e custos de produção de gado de corte em Mato Grosso do Sul – Regiões de Campo Grande e Dourados**. Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte 2005. 9 p. (Comunicado técnico)

EUCLIDES, V.P.B.; MEDEIROS, S.R. **Valor nutritivo das principais gramíneas cultivadas no Brasil**. Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte 2003. 43 p. (Documentos)

ESTERMANN, B.L.; SUTTER, F.; SCHLEGEL, P.O.; ERDIN, D.; WETTSTEIN, H.R.; KREUZER, M. Effect of calf age and dam breed on intake, energy expenditure, and excretion of nitrogen, phosphorus, and methane of beef cows with calves. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 80, p. 1124-1134, 2002.

FGV: Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: < <http://portalibre.fgv.br> > Acesso em: 10 set. 2010.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D.W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D.C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Ed.). **CLIMATE CHANGE:4.**, 2007. New York, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York., 2007.1 CD-ROM.

FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; RUSSELL, J.B.; VAN SOEST, P.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 70, p. 3578-3596, 1992.

GENRO, T.C.M.; EUCLIDES, V.P.B.; MEDEIROS, S.R. Ingestão de matéria seca por ruminantes em pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004. Campo Grande. **Proceedings...** Campo Grande:SBZ, 2004. p. 178-190.

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006a. In: Guidelines for national greenhouse gas inventories. Emissions from livestock and manure management. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>> Acesso em: 12 out. 2010.

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006b. In: Guidelines for national greenhouse gas inventories. N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>> Acesso em: 12 out. 2010.

MARTINS, S.S.; PINATTI, E.; IGREJA, A.C. **Cadeia produtiva da pecuária de corte: ciclos pecuários e indicadores de lucro bruto.** São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, 2008. 18 p.

MILLS, J.A.N.; KEBREAB, E.; YATES, C.M.; CROMPTON, L.A.; CAMMELL, S.B.; DHANOA, M.S.; AGNEW, R.E.; FRANCE, J. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 81, p. 3141-3150, 2003.

MOE, P.W.; TYRRELL, H.F.; FLATT, W.P. Energetics of body tissue mobilization. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 54, p. 548-553, 1971.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle.** 7th ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 1996. 242 p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT:** guide of personal computers. Version 9.2. Cary, 2008.

YUNG, Y. **Structural equation modeling and path analysis using PROC TCALIS in SAS 9.2.** Cary,:SAS Institute , 2008. 20 p.

APÊNDICES

Apêndice - Modelagem das curvas de lactação

Os seguintes códigos de programação podem ser implementados no SAS (versão 8 ou superior).

```

/*-----*/
/* ALBERTINI, T.Z. Modelagem do impacto de variáveis produtivas a partir de */
/* modelos semi-mecanísticos e teóricos sobre a eficiência energética- */
/* ambiental-econômica na pré-desmama de bovinos de corte. 2010. Tese */
/* (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de */
/*Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010*/
/*-----*/

/*-----*/
/*--- O objetivo do "APÊNDICE A: Modelagem das curvas de lactação" é ---*/
/*--- demonstrar de forma simples e direta como as curvas de lactação ---*/
/*--- de vacas de corte podem ser modeladas usando modelos não-lineares ---*/
/*--- de efeitos mistos, a partir da macro %NLINMIX do SAS. ---*/
/*-----*/

/*-----*/
/*--- Nessa primeira etapa de programação o banco de dados (Lactation) é ---*/
/*--- estruturado. As variáveis introduzidas são cow (identificação da ---*/
/*--- vaca), breed (genótipo, onde AN = Angus x Nelore, CR = Caracu x ---*/
/*--- Nelore, NL = Nelore), sex (sexo da progênie), lactd (lactação em ---*/
/*--- dias em que a produção do leite foi avaliada) e milk (produção de ---*/
/*--- leite, kg). O banco de dados abaixo (Lactation) está incompleto ---*/
/*--- e tem função meramente ilustrativa. ---*/
data Lactation;
  input cow breed $ sex $ lactd milk;
  datalines;
8442 AN M 65 7.605
8442 AN M 92 6.695
8442 AN M 121 4.695
8442 AN M 149 6.984
8442 AN M 177 6.400
8442 AN M 205 6.385
8442 AN M 233 4.658
1837 CR M 58 6.558
1837 CR M 85 6.388
1837 CR M 114 6.092
1837 CR M 142 5.950
1837 CR M 170 5.471
1837 CR M 198 5.484
1837 CR M 226 4.787
3856 NL F 34 3.126
3856 NL F 62 3.338
3856 NL F 90 4.216
3856 NL F 118 3.830
3856 NL F 146 3.798
3856 NL F 174 3.964
3856 NL F 203 3.847
3856 NL F 230 3.277

```



```

    ),
/*--- Os valores iniciais estimados pelo PROC NLIN comentados na etapa ----*/
/*--- anterior são utilizados nos argumentos dos parâmetros e são ----*/
/*--- representados pelos valores 8.7146 e 0.00227. Os demais valores ----*/
/*--- são especificados com zero. ----*/
parms=%str( a_0 = 8.7146 a_CR = 0 a_NL = 0 a_M = 0
            b_0 = 0.00227 b_CR = 0 b_NL = 0 b_M = 0
            ),
/*--- O argumento stms especifica ao PROC MIXED executar cada iteração. ----*/
/*--- A variável resposta precisa ser declarada como pseudo_y, onde y é ----*/
/*--- a variável resposta nos conjunto de dados (i.e. milk). Em model ----*/
/*--- noint notest solution cl precisam ser especificados. ----*/
stms=%str(
class cow;
model pseudo_milk = d_a_0 d_a_CR d_a_NL d_a_M
                  d_b_0 d_b_CR d_b_NL d_b_M /noint notest solution cl;
/*--- Na especificação random subject, type e solution precisam ser ----*/
/*--- especificados. Perceba que a estrutura VC é utilizada para ----*/
/*--- especificar a diagonal da matriz de variância-covariância do ----*/
/*--- efeito aleatório. SP(pow) especifica a estrutura de correlação. ----*/
Random d_b1 / subject=cow type=VC solution;
Repeated / Subject=cow Type=SP(POW) (lacd);
    ),
/*--- O argumento expand é usado para empregar a expansão de Taylor de ----*/
/*--- primeira ordem em torno das estimativa dos efeitos fixos, bem como ----*/
/*--- a solução para os efeitos aleatórios estimados via EBLUP ----*/
expand=eb lup,
procopt=%str(method=ml)
)
run;

/*--- Nesta quarta etapa após a conclusão da macro será usado o data set ----*/
/*--- _NLINMIX que contém entre várias estimativas os valores preditos ----*/
/*--- de produção de leite (predv). Parte destas variáveis serão usadas ----*/
/*--- para a avaliação do modelo. Inicialmente a programação nesta ----*/
/*--- etapa estima os valores dos resíduos (residual = milk - predv). ----*/
/*--- Os resíduos (eixo y) vs. valores preditos (eixo x) são plotados ----*/
/*--- em "Fit Diagnostics: Residual vs. Predicted". Sequencialmente, ----*/
/*--- os valores observados vs. preditos são plotados. Embora as ----*/
/*--- avaliações visuais (homogeneidade e viés) sejam importantes é ----*/
/*--- válido estimar se o intercepto do primeiro gráfico é igual a ----*/
/*--- zero, e também se a linha de regressão do segundo passa na origem. ----*/
/*--- Para esta avaliação dois testes utilizando PROC REG são ----*/
/*--- incorporados no modelo. O Teste 1 avalia se o intercepto é igual ----*/
/*--- a zero (se significativo difere de zero). O Teste 2 avalia se a ----*/
/*--- inclinação y=x difere de 1 (se significativo difere de 1). ----*/
/*--- Por fim, o PROC CAPABILITY é utilizado para avaliar a normalidade ----*/
/*--- dos resíduos utilizando o Q-Q Plot. ----*/
data r_nlinmix;
set _nlinmix;
residual = milk - predv;
run;
data op_nlinmix;
set r_nlinmix;
keep cow block calf breed sex lacd milk predv residual;
run;

```

```

proc sort data=op_nlinmix; by breed sex; run;
Title "Fit Diagnostics: Residual vs. Predicted";
SYMBOL1 V=circle C=red I=r;
PROC GPLOT DATA=op_nlinmix;
    PLOT residual*predv;
RUN;
PROC GPLOT DATA=op_nlinmix;
Title "Fit Diagnostics: Observed vs. Predicted";
SYMBOL1 V=circle C=blue I=r;
    PLOT milk*predv;
RUN;
proc reg data = op_nlinmix;
    Title "Linear Regression model: Observed vs. Predicted";
    model milk = predv/p;
    Test intercept = 0;
    Test predv=1;
run;
Title 'Normal Q-Q Plot';
symbol v=plus;
proc capability data=op_nlinmix noprint;
    qqplot residual / normal square;
run;

/*--- Nesta quinta etapa de programação a avaliação da razão de ----*/
/*--- verossimilhança (LRT) é demonstrada. ----*/
/*--- Como comentado na tese, o teste da razão da máxima verossimilhança ----*/
/*--- foi utilizado para aninhar os modelos (i.e. comparar modelos) ----*/
/*--- mais e menos complexos em termos de número de parâmetros e ----*/
/*--- interações. Reduções dos modelos foram conduzidos em 2 etapas. Na ----*/
/*--- primeira, a parte aleatória foi reduzida seguida e na segunda, ----*/
/*--- após cada etapa o fator menos significativo foi identificado e ----*/
/*--- removido. Para isso uma macro foi criada para o LRT, especificada ----*/
/*--- pelo argumento %macro. ----*/
Title "Likelihood Ratio Test - Parameterization - Brody";
%macro lrt(L1,L2,df); title "Likelihood ratio test" ;
data pval;
M1 = &L1; M2 = &L2; Q = M1 - M2; p_value = 1 - probchi(Q , &df);
proc print; run;
%mend;

/*--- A avaliação dos modelos variando em complexidade são mostrados em ----*/
/*--- Title "LEVEL 1". Nesse exemplo estamos comparando um modelo mais ----*/
/*--- complexo (BREED + SEX) com um mais simples (BREED). O argumento ----*/
/*--- %lrt faz chamada a %macro criada anteriormente. Sequencialmente, ----*/
/*--- incluímos três informações: 2log do Modelo mais simples, seguido ----*/
/*--- do mais complexo e depois pela diferença em graus de liberdade ----*/
/*--- (gl) de ambos. Após analisarmos a macro NLINMIX o 2log de cada ----*/
/*--- modelo pode ser usado no LRT. Os gl do modelo são representados ----*/
/*--- pelo número de parâmetros do modelo mais 2 gl (1 para o argumento ----*/
/*--- VC e 1 para a estrutura de correlação). Se a diferença pelo LRT ----*/
/*--- não for significativa o modelo menos parametrizado deve ser ----*/
/*--- escolhido. ----*/
Title "LEVEL 1 (LRT): BREED + SEX VS. BREED";
Title "Breed (2log = 625.8, df = 9); Breed & Sex (2log = 619.7, df = 11)";
%lrt(625.8, 619.7, 2)
/*-----*/

```

```
/*-----*/  
/*--- IMPORTANTE: Os códigos de programação apresentados são sugestões ---*/  
/*--- estruturadas para uma condição experimental muito específica para ---*/  
/*--- estimar a produção de leite e as exigências de vacas de corte. ---*/  
/*--- Embora tal modelagem possa ser aplicada em outros modelos animais, ---*/  
/*--- ou até para os mesmos, mas sobre outros tratamentos recomenda-se a ---*/  
/*--- análise de literatura pertinente. Sugestões para tal análise pode ---*/  
/*--- ser baseada nas seguintes publicações: Pinheiro e Bates (2000), ---*/  
/*--- Littell et al. (2006) e Strathe et al. (2010). ---*/  
/*-----*/
```

Apêndice B - Modelo de equações estruturais e análise de triha

Os seguintes códigos de programação podem ser implementados no SAS (versão 8 ou superior).

```

/*-----*/
/* ALBERTINI, T.Z. Modelagem do impacto de variáveis produtivas a partir de */
/*   modelos semi-mecanísticos e teóricos sobre a eficiência energética- */
/*   ambiental-econômica na pré-desmama de bovinos de corte. 2010. Tese */
/*   (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de */
/*Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010*/
/*-----*/

/*----- MODEL SIMPLE SEM:PRODUCTIVE-ENVIRONMENTAL-ECONOMIC MODEL -----*/

PROC IMPORT OUT= WORK.SEM_PEE
  DATAFILE= "C:\Users\Tiago\Documents\EXPERIMENTOS\Estatística
-Esalq\Efficiency manuscript\Models\SEM\sem_pee.xls"
  DBMS=EXCEL REPLACE;
  RANGE="statistic$";
  GETNAMES=YES;
  MIXED=NO;
  SCANTEXT=YES;
  USEDATE=YES;
  SCANTIME=YES;
RUN;
proc contents data=SEM_PEE order=varnum;
run;

Title 'Covariance matrix analysis:observed variables';
proc corr data=SEM_PEE cov out=outcov_PEE (type=cov) nocorr noprint;
  var eqCO_total calfgain cowbw milkt netmargin;
run;
proc print data=outcov_PEE (obs=8);
run;

/* DATA step to input the covariance matrix */
data PAIR_PEE (type=cov);
  _type_='cov';
  input _name_ $10. eqCO_total calfgain cowbw milkt netmargin;
  datalines;
eqCO_total 1099.65 433.36 1334.46 3956.15 676.46
calfgain 43.36 82.95 35.81 507.55 287.29
cowbw 134.46 35.81 347.77 486.69 -6.58
milkt 396.15 557.55 458.69 8019.63 1463.56
netmargin 676.46 287.29 -6.58 1463.56 739.97
;

/* The TCALIS procedure is invoked */
proc tcalis data=PAIR_PEE nobs=117;
  path

```

```
      /* Structural Model */
cowbw      -> eqCO_total  p1,
cowbw      -> calfgain    p2,
cowbw      -> netmargin  p3,
milkt      -> eqCO_total  p4,
milkt      -> calfgain    p5,
milkt      -> netmargin  p6,
calfgain   -> eqCO_total  p7,
calfgain   -> netmargin  p8;
      /* Analysing Total, Direct and Indirect Effects */
effpart eqCO_total <- cowbw milkt calfgain;
effpart netmargin  <- cowbw milkt calfgain;
run;
/*-----*/
```

```

/*----- MODEL II - SEM MULTIPLE GROUP "CALF SEX": Female and Male -----*/

/* SAS data statement */
/* MG IIa = Calf sex (female) */
PROC IMPORT OUT= WORK.MG_IIa
            DATAFILE= "C:\Users\Tiago\Documents\EXPERIMENTOS\Estatistica
-Esalq\Efficiency manuscript\Models\SEM\Multiple-group\MGIIa.xls"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
            RANGE="statistic$";
            GETNAMES=YES;
            MIXED=NO;
            SCANTEXT=YES;
            USEDATE=YES;
            SCANTIME=YES;
RUN;
proc contents data=MG_IIa order=varnum;
run;

Title 'Covariance matrix analysis:observed variables';
proc corr data=MG_IIa cov out=outcov_MG_IIa(type=cov) nocorr noprint;
    var eqCO_total calfgain cowbw milkt netmargin;
run;
proc print data=outcov_MG_IIa(obs=8);
run;

data Female (type=cov);
    input _type_ $6. _name_ $10. eqCO_total calfgain cowbw milkt netmargin;
    datalines;
COV  eqCO_total  7279.17  3299.74  10315.37  2487.66  5784.61
COV  calfgain    399.74   626.99   154.08   343.25  1776.48
COV  cowbw      1015.37   154.08  3961.58  303.42 -419.69
COV  milkt      2487.66  3743.25  3603.42  6261.5  9678.15
COV  netmargin   584.61  1776.48 -419.69  978.15  5618.12
MEAN .           467.5   169.84   480.93  161.85  117.98
;

/* MG IIb = Calf sex (Male) */
PROC IMPORT OUT= WORK.MG_IIb
            DATAFILE= "C:\Users\Tiago\Documents\EXPERIMENTOS\Estatistica
-Esalq\Efficiency manuscript\Models\SEM\Multiple-group\MGIIb.xls"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
            RANGE="statistic$";
            GETNAMES=YES;
            MIXED=NO;
            SCANTEXT=YES;
            USEDATE=YES;
            SCANTIME=YES;
RUN;
proc contents data=MG_IIb order=varnum;
run;

Title 'Covariance matrix analysis:observed variables';
proc corr data=MG_IIb cov out=outcov_MG_IIb(type=cov) nocorr noprint;

```

```

var eqCO_total calfgain cowbw milkt netmargin;
run;
proc print data=outcov_MG_IIb(obs=8);
run;

data Male (type=cov);
input _type_ $6. _name_ $10. eqCO_total calfgain cowbw milkt netmargin;
datalines;
COV eqCO_total 145611.13 532.57 16542.12 5429.74 8188.94
COV calfgain 5532.57 101.18 474.11 753.15 2918.29
COV cowbw 16542.12 44.11 3039.88 524.72 351.27
COV milkt 54289.74 733.15 5524.72 9283.34 19591.37
COV netmargin 8188.94 298.29 351.27 1991.37 8805.83
MEAN . 4440.5 16.25 474.91 137.38 146.08
;

/* SAS macro: Base Path Model */
%macro BasePathModel;
path
cowbw -> eqCO_total p1,
cowbw -> calfgain p2,
cowbw -> netmargin p3,
milkt -> eqCO_total p4,
milkt -> calfgain p5,
milkt -> netmargin p6,
calfgain -> eqCO_total p7,
calfgain -> netmargin p8;
pvar
eqCO_total calfgain netmargin = theta01-theta03,
cowbw = theta04,
milkt = theta05;
pcov
cowbw milkt = phi;
mean
eqCO_total calfgain netmargin cowbw milkt = intercept01-intercept05;
%mend;

/* A restrictive model with invariant mean and covariance structure [1] */
proc tcalis maxiter=1000 omethod=nrr;
group 1 / data=Female label="Female" nobs=57;
group 2 / data=Male label="Male" nobs=60;
model 1 / group=1,2;
%BasePathModel
run;

/* A model with unconstrained parameters for the two groups [2] */
proc tcalis omethod=nrr;
group 1 / data=Female label="Female" nobs=57;
group 2 / data=Male label="Male" nobs=60;
model 1 / groups=1;
%BasePathModel
model 2 / groups=2;
refmodel 1/AllNewParms;
run;

/* A model with constrained covariance parameters only [3] */

```

```

proc tcalis omethod=nrr;
  group 1 / data=Female label="Female" nobs=57;
  group 2 / data=Male label="Male" nobs=60;
  model 1 / groups=1;
  %BasePathModel
  model 2 / groups=2;
  refmodel 1;
  mean
    eqCO_total calfgain netmargin cowbw milkt = G2_intercept01-
G2_intercept05;
/* Testing a priori hypotheses individually or simultaneously */
simtest
  MeasurementDiff = (eqCO_totalDiff calfgainDiff netmarginDiff cowbwDiff
milktDiff);
/* SAS programming statements for defining the parametric functions */
  eqCO_totalDiff = G2_intercept01 - intercept01;
  calfgainDiff = G2_intercept02 - intercept02;
  netmarginDiff = G2_intercept03 - intercept03;
  cowbwDiff = G2_intercept04 - intercept04;
  milktDiff = G2_intercept05 - intercept05;
run;
/*-----*/

```