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

**Parametrização e avaliação de modelos de estimativa das
exigências e do desempenho de bovinos leiteiros para uso no
Brasil**

Veridiana Lourenço de Souza

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

**Piracicaba
2015**

Veridiana Lourenço de Souza
Zootecnista

**Parametrização e avaliação de modelos de estimativa das exigências e do
desempenho de bovinos leiteiros para uso no Brasil**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

Piracicaba
2015

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

Souza, Veridiana Lourenço de

Parametrização e avaliação de modelos de estimativa das exigências e do desempenho de bovinos leiteiros para uso no Brasil / Veridiana Lourenço de Souza. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.
79 p. : il.

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

1. Bezerras leiteiras 2. Crescimento 3. Ingestão de matéria seca 4. Meta-análise
5. Modelos de nutrição 6. Vacas leiteiras cruzadas I. Título

CDD 636.214
S729p

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

*À “**Deus**” por sua presença em minha vida.*

Em especial à minha família, minha fortaleza.

*Aos meus maravilhosos pais **Nelson Lourenço e Maria Aparecida**.*

*Minhas queridas irmãs **Katia, Francieli e Taynara**.*

*Minhas sobrinhas **Giovana Vitória e Clara Camily**.*

*I dedicate this dissertation to **George Daley**,*

With love and gratitude.

Com muito amor e gratidão,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dante Lanna pelos preciosos ensinamentos, confiança e oportunidade, o qual tive a honra de ser orientada e compartilhar ótimos momentos.

Ao professor Rodrigo de Almeida pelos ensinamentos e por todas contribuições durante minha formação acadêmica.

Aos professores Gerson Mourão e Carla Bittar pela colaboração no estudo, e ao Prof. Freitas e Marson da UFPR, pelos ensinamentos na área e amizade.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela oportunidade, pela qual tenho grande orgulho e carinho.

À FAPESP pela concessão de bolsa de doutorado e bolsa de pesquisa no exterior (BEPE) na University of Illinois at Urbana, U.S.A.

I would like to express my sincere thanks to Professor James K. Drackley, by the awesome opportunity, for his contribution and assistance during the development of the second study in the Department Animal Science - University of Illinois at Urbana. Thank you for everything Dr. Drackley!

Thanks to Professor Felipe Cardoso and Dairy Focus Group – University Illinois at Urbana.

Especialmente a Maria Antônia, Delma, Mariana, Neiva, Louise, Kathelyn, Eloisa, Fredy, Tiago, Antonio Carlos e Brendali.

Aos queridos amigos de Illinois Vanclei, Carolzinha, Jeferson, Damiana, Keller e Mary que fizeram meus dias mais felizes.

Aos colegas do LNCA Nelson, Bruna, Micheli, Welder e Daniel.

Muito obrigada!

"Out of clutter, find simplicity. From discord, find harmony. In the middle of difficulty lies opportunity".

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
Referências	18
2 PREDIÇÃO DA INGESTÃO DE VACAS LEITEIRAS MESTIÇAS EM CONDIÇÕES TROPICAIS.....	21
Resumo	21
Abstract	21
2.1 Introdução	22
2.2 Material e Métodos	24
2.2.1 Desenvolvimento do banco de dados brasileiro	25
2.2.2 Parametrização do modelo.....	28
2.2.3 Avaliação e comparação do novo modelo de predição do consumo para vacas mestiças em condições tropicais.....	32
2.3 Resultados e discussões.....	35
2.3.1 Banco de dados de vacas mestiças	35
2.3.2 Desenvolvimento do modelo	37
2.3.3 Avaliação do novo modelo e comparação com outros modelos de predição da ingestão de matéria seca de vacas leiteiras lactantes	40
2.4 Conclusões.....	46
Referências	46
3 AVALIAÇÃO DE MODELOS PARA ESTIMAR O DESEMPENHO DE BEZERROS LEITEIROS: UMA META-ANÁLISE DE ESTUDOS EM CONDIÇÕES TROPICAIS	53
Resumo	53
Abstract	54
3.1 Introdução	54
3.2 Material e Métodos	56
3.2.1 Banco de dados	56
3.2.2 Análise estatística	60
3.3 Resultados	62

3.4 Discussões	67
3.4.1 Banco de dados	67
3.4.2 Energia disponível para o ganho	70
3.4.3 Proteína disponível para o ganho	72
3.5 Conclusões	73
Referências.....	73
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79

RESUMO

Parametrização e avaliação de modelos de estimativa das exigências e do desempenho de bovinos leiteiros para uso no Brasil

O rebanho brasileiro de bovinos leiteiros é composto predominantemente por vacas mestiças criadas em condições tropicais. Os principais modelos usados no Brasil para a formulação e avaliação de dietas são norte-americanos e baseados nas exigências de vacas Holandesas em clima temperado. A principal contribuição do primeiro capítulo deste estudo foi o desenvolvimento e avaliação de um novo modelo para estimar a ingestão de matéria seca (IMS) de vacas mestiças. A nova equação de predição da IMS foi desenvolvida e avaliada usando um banco de dados com 161 médias de tratamentos provenientes de 38 estudos brasileiros publicados com vacas mestiças [$n = 446$ vacas, $16,60 \pm 5,70$ (DP) kg leite/dia]. O modelo proposto foi: $IMS \text{ (kg/dia)}: [0,5552 (\pm 0,06636 \text{ EP}) \times LC4\%G + 0,06332 (\pm 0,009455) \times PV^{0,75}] \times [1 - e^{(-0,7732 (\pm 0,7019) \times (SEM - 1,629 (\pm 1,9313)))}]$. O novo modelo apresentou maior acurácia (QMEP = 1,64, $r^2 = 0,88$) na predição da IMS quando comparado com modelos norte-americanos. O novo modelo de predição da IMS pode ser aplicado na formulação de dietas para vacas leiteiras mestiças em condições tropicais. No capítulo 2, um estudo avaliou as novas atualizações das exigências nutricionais de bezerras leiteiras sugeridas por Van Amburgh e Drackley (2005) e inseridas em programa comercial (AMTS, Agricultural Modeling and Training Systems, AMTS.Cattle.Pro™ Calf Model versão 3.5.8.0, 2015). Dados de 16 estudos brasileiros envolvendo 51 dietas para bezerros leiteiros ($n = 485$, peso ao desmame de $62,02 \pm 10,16$ kg) foram usados para avaliar os modelos do NRC (2001) e o AMTS. Nas condições do conjunto de dados do presente estudo, ambos os sistemas superestimaram o ganho calculado a partir da proteína disponível. O ganho de peso estimado pela energia disponível da dieta, foi superestimado em 19 g/dia quando calculado pelo NRC e subestimado em 68 g/dia quando calculado pelo AMTS. O ganho de peso possível a partir da energia disponível foi menor quando calculado pelo AMTS em relação ao NRC (2001). Para o conjunto de dados experimentais brasileiros, os ganhos de peso de bezerros foram 32% inferiores aos descritos na literatura para sistemas norte-americanos. As razões para esta discrepância precisam ser compreendidas, pois somente assim novos modelos poderão ser desenvolvidos e parametrizados para estimar o desempenho animal de forma mais acurada e precisa.

Palavras-chave: Bezerras leiteiras; Crescimento; Ingestão de matéria seca; Meta-análise; Modelos de nutrição; Vacas leiteiras cruzadas

ABSTRACT

Parameterization and evaluation of models to estimate the requirements and performance of dairy cattle for use in Brazil

The Brazilian dairy herd is mainly made up of crossbred cows fed under tropical conditions. The main models in use to formulate and evaluate diets in Brazil are from North America. These models are based on the requirements of Holstein dairy cows under temperate climate. Therefore, the main contribution of this first Chapter was the development and evaluation of a new model to estimate dry matter intake (DMI) of crossbred dairy cows. The new DMI equation was developed and evaluated using a database with 161 treatment means from 38 published studies of Brazilian crossbred cows [$n = 446$ dairy cows, mean milk production of 16.60 ± 5.70 (SD) kg/day]. The new model showed higher DMI prediction accuracy (MSEP = 1.64, $r^2 = 0.88$) than American models. Therefore, this model can be used in the formulation of diets for crossbred dairy cows under tropical conditions. In Chapter 2, we evaluated the updates on the nutritional requirements of dairy calves suggested by Van Amburgh and Drackley (2005) and inputted into Agricultural Modeling and Training Systems (AMTS, AMTS.Cattle.Pro™ Calf Model version 3.5.8.0, 2015). Data from 16 previous Brazilian studies involving 51 diets for dairy calves ($n = 485$ calves, weaning weight of 62.02 ± 10.16 kg) were used to evaluate the Nutrient Requirements of Dairy Cattle - NRC (2001) and AMTS models. According to the data set from this study, both systems overestimated the gain calculated from the available protein. The weight gain estimated by the energy available from the diet was overestimated by 19 g/day when calculated by the NRC and underestimated by 68 g/day when calculated by AMTS. Weight gain estimated by the dietary energy of the AMTS system was lower than the NRC (2001). The Brazilian data set showed a calf gain around 32% lower than those described in U.S. dairy farms. The reasons for this discrepancy need to be understood, for only then can new models be developed and parameterized to estimate animal performance more accurately and precisely.

Keywords: Dairy calves; Crossbred dairy cows; Growth; Dry matter intake; Meta-analysis; Nutrition models

1 INTRODUÇÃO

Nos próximos anos é esperado aumento na produção mundial de alimentos para acompanhar crescimento econômico e aumento na população dos países em desenvolvimento. Consequentemente, será demandado aumento em produção dos produtos de origem vegetal e animal (United States Department of Agriculture - USDA, 2012). Contudo, o acréscimo na produção de alimentos deverá ser de forma sustentável, ou seja, produzir alimentos seguros para a saúde humana por meio de uso racional dos recursos naturais e economicamente viáveis.

No Brasil, uma projeção realizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (2013) estimou que a produção de leite deverá crescer a uma taxa anual de 1,9% nos próximos anos. Esta taxa representa uma produção de 41,3 bilhões de litros de leite em 2023, correspondendo a aumento de 20,7% comparado com a produção de 2013. O consumo de leite deve apresentar crescimento similar a produção.

Este crescimento previsto da produção de leite no Brasil deve ser feito em sistemas que minimizem a excreção de nutrientes para o meio ambiente. O impacto ambiental proveniente da pecuária tornou-se uma preocupação importante para a sociedade. A produção de gases de efeito estufa (CO_2 e CH_4) e a contaminação da água com fontes minerais (nitrogênio e fósforo) e nitrato têm sido descritos como os aspectos negativos da produção de leite por vacas leiteiras (TAMMINGA, 1992).

Nos Estados Unidos, os produtores de leite estão sendo pressionados para usar sistemas de produção que são mais eficientes e têm menor impacto ambiental (HIGGS et al., 2012). Atualmente, modelos de nutrição animal estão sendo desenvolvidos nos EUA com objetivo de minimizar a excreção de nutrientes e a emissão de metano por rebanhos leiteiros (MORAES et al., 2012).

No final do século 20, inúmeros sistemas de alimentação animal foram desenvolvidos para estabelecer as exigências de nutrientes de cada categoria animal e a composição de alimentos usados nas típicas dietas para vacas leiteiras. Entre os principais modelos desenvolvidos nos últimos 30 anos, podemos citar o Institute National de la Recherche Agronomique - INRA (1989), Agricultural and Food Research Council - AFRC (1993), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO (1990), National Research Council - NRC (2001) e Cornell Net

Carbohydrate and Protein System - CNCPS (FOX et al., 1992; TYLUTKI et al., 2008).

Modelos matemáticos são ferramentas para melhorar o desempenho animal e reduzir a excreção de nutrientes para o meio ambiente (BALDWIN et al., 1995). A modelagem pode ser definida como abstração e simplificação da realidade, com o potencial de integrar as principais interações e comportamentos de um sistema. Os modelos podem ser manuseados com a meta de prever as consequências da mudança de parâmetros no comportamento do sistema (SPEDDING, 1988).

A modelagem é de extrema importância para a ciência e sociedades, principalmente na agricultura. A modelagem matemática usa equações para descrever ou simular processos em um sistema, e pode ser uma ferramenta para extrair mais informações e orientar futuros programas de pesquisa em nutrição animal (DUMAS et al., 2008).

O uso da técnica de modelagem matemática tem sido aplicada em vários estudos de ruminantes como na função ruminal, metabolismo pós-absortivo e nutrição animal. Os modelos desenvolvidos podem ser usados com o propósito de melhorar o desempenho, reduzir os custos de produção e reduzir a excreção de nutrientes por meio de melhor estimativa da exigência e utilização de alimentos em diferentes cenários produtivos (BALDWIN et al., 1977).

Os modelos visam um melhor entendimento para as exigências nutricionais de manutenção e funções produtivas dos animais. Outro aspecto importante dos modelos é a divisão dos alimentos de acordo com a disponibilidade dos nutrientes e uso pelo metabolismo animal. Uma adequada estimativa das exigências do animal e do fornecimento de nutrientes é importante para manter a saúde animal, reduzir custos da dieta e excreção de nutrientes para o meio ambiente, e melhorar a produção de leite (NRC, 2001).

O desenvolvimento de modelos de nutrição que predizem as exigências e a utilização da dieta em diferentes cenários de produção foi possível por meio dos conhecimentos acumulados sobre exigências dos animais e fornecimento de energia e nutrientes dos alimentos.

Para compreender os princípios de nutrição é imprescindível ter conhecimentos das interações entre nutrientes, e como estas podem influenciar as funções fisiológicas. No ensino da nutrição, a abordagem de sistemas é apropriada porque fornece visão simplificada das interações quantitativas entre nutrientes

fornecidos e os processos fisiológicos. O modelo de simulação permite explorar impactos das decisões de alimentação e de gerenciamento, permitindo integrar conceitos nutritivos fundamentais (JOHNSON et al., 2008).

Os modelos matemáticos apresentam a vantagem de serem flexíveis permitindo contínua atualização nos valores dos seus parâmetros à medida que novos resultados de pesquisa se tornam disponíveis na literatura. Nos últimos anos, tem sido evidente que os modelos de nutrição de vacas leiteiras são de grande importância para o sucesso contínuo desta indústria.

Os dois principais modelos de nutrição usados para formulação de dietas para bovinos leiteiros são o desenvolvido pelo NRC (2001) e CNCPS (FOX et al., 1992; TYLUTKI et al., 2008). Estes modelos são norte-americanos, consequentemente, as equações que deram origem as tabelas de exigência nutricional foram geradas a partir de dados de vacas da raça Holandesa, muitas vezes alimentadas com forragens e grãos de maior digestibilidade, em clima temperado. No Brasil, foram sugeridos modelos de predição da IMS de vacas leiteiras em lactação por reparametrização de um modelo norte-americano (SOUZA et al., 2014) ou desenvolvido com dados de pesquisas nacionais (FREITAS et al., 2006).

Atualmente, são limitados os modelos nacionais propostos para predizer a IMS por vacas mestiças. Pesquisas com zebuínos citam que os animais pertencentes aos diferentes grupos genéticos apresentam diferenças na IMS e de nutrientes, principalmente quando foi considerado o tamanho metabólico (ALMEIDA, 2005; RIBEIRO et al., 2012). A falta de dados individuais de consumo de vacas mestiças pode ser um motivo para esta limitação, uma vez que vacas mestiças frequentemente são criadas em pastagens e semi-confinadas, o que dificulta a mensuração da IMS individual.

Outra desafio na estimação das exigências e desempenho de bovinos leiteiros no Brasil, é a limitação de modelos que predizem o crescimento e as exigências de bezerras leiteiras Holandesas ou mestiças, alimentadas e manejadas em condições tropicais. Este problema pode ser justificado pelo insuficiente número de estudos que avaliaram a composição corporal dos animais em diferentes fases de crescimento.

Outro aspecto importante, é a ausência de estudos que avaliaram a acurácia das predições de desempenho de bezerras leiteiras manejadas em condições de genética, manejo, dietas e clima encontrados no Brasil, por meio de uso de modelos

norte-americanos. A categoria de bezerras, é frequentemente omitida dentro das fazendas leiteiras pelo fato de não resultarem em lucro imediato. As bezerras devem ser consideradas como investimento, uma vez que serão responsáveis pela futura produção de leite da propriedade.

Portanto, o levantamento de dados publicados na literatura nacional associado ao uso de ferramentas como a meta-análise, visa auxiliar no desenvolvimento de uma base de dados que pode ser usado na avaliação e parametrização de diferentes modelos de predição das exigências e desempenho de bovinos leiteiros para uso no Brasil.

O objetivo do primeiro capítulo deste estudo foi a organização de uma base de dados de vacas mestiças Holandês x Zebu para o desenvolvimento e avaliação de um novo modelo de predição do consumo. No segundo capítulo, o objetivo foi o desenvolvimento de uma base de dados de bezerras leiteiras manejadas em condições tropicais, para avaliar o ganho de peso médio diário (GMD) preditos pelos modelos do Nutrient Requirements for Dairy Cattle (NRC, 2001) e Agricultural Modeling and Training Systems (AMTS) por meio da energia e proteína da dieta.

Referências

ALMEIDA, R. **Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento**. 2005. 182p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Energy and Protein Requirements of Ruminants**. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.

BALDWIN, R.L. **Modeling ruminant digestion and metabolism**. London: Chapman & Hall, 1995. p. 9-24.

BALDWIN, R.L.; KOONG, L.J.; ULYATT, M.J. A dynamic model of ruminant digestion for evaluation of factors affecting nutritive value. **Agriculture Systems**, London, v. 2, p. 255-288, 1977.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. **Feeding standards for Australian livestock ruminants**. Melbourne, 1990.266p.

DUMAS, A.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. Mathematical modelling in animal nutrition: a centenary review. **Journal of Agricultural Science**, London, v. 146, p. 123-142, 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Long term prospects for agriculture reflect growing demand for food, fiber, and fuel.** Washington, 2012 (USDA, Economic research service). Disponível em: < <http://www.ers.usda.gov>> Acesso em: 01 fev. 2015.

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**, Champaign, v. 70, p. 3578-3596, 1992.

FREITAS, J.A.; LANA, R.P.; RODRIGUEZ MAGALHÃES, A.L.; SOUZA, J.C. Predição e validação do desempenho de vacas de leite nas condições brasileiras. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, Maracaibo, v.14, p.128-134, 2006.

HIGGS, R.J.; CHASE, L.E.; VAN AMBURGH, M.E. Development and evaluation of equations in the Cornell Net Carbohydrate and Protein System to predict nitrogen excretion in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, p. 2004-2014, 2012.

INSTITUTE NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. **Ruminant Nutrition.** Montrouge: John Libbey Eurotext, 1989. 389p.

JOHNSON, H.A.; MAAS, J.A.; CALVERT, C.C.; BALDWIN, R.L. Use of computer simulation to teach a systems approach to metabolism. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, p. 483-499, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Brasil 2012/2013 a 2022/2013: Projeções de longo prazo.** Brasília, 2013. 96p.

MORAES, L.E.; WILEN, J.E.; ROBINSON, P.H.; FADEL, J.G. A linear programming model to optimize diets in environmental policy scenarios. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, p. 1267-1282, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle.** 7th ed. Washington: National Academy Press, 2001. 381p.

RIBEIRO, J.S.; LADEIRA, M.M.; NETO, O.R.M.; CAMPOS, F.R. Consumo alimentar e sua predição pelos sistemas NRC, CNCPS e BR Corte, para tourinhos zebuínos confinados. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, p. 802-810, 2012.

SOUZA, M.C.; OLIVEIRA, A.S.; ARAÚJO, C.V.; BRITO, A.F.; TEIXEIRA, R.M.A.; MOARES, E.H.B.K.; MOURA, D.C. Short communication: Prediction of intake in dairy cows under tropical conditions. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 97, p. 3845-3854, 2014.

SPEDDING, C.R.W. General aspects of modelling and its application in livestock production. In: KORVER, S.; VAN ARENDOK, J.A.M. **Modelling of livestock production systems.** Brussels: Kluwer Academic, 1988. p. 3-13.

TAMMINGA, S. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, p. 345-357, 1992.

TYLUTKI, T.P.; FOX, D.G.; DURBAL, V.M.; TEDESCHI, L.O.; RUSSELL, J.B.; VANAMBURGH, M.E.; OVERTON, T.R.; CHASE, L.E.; PELL, A.N. Cornell Net Carbohydrate and Protein System: A model for precision feeding of dairy cattle. **Animal Feed Science and Technology**, New York, v. 143, p. 174-202, 2008.

2 PREDIÇÃO DA INGESTÃO DE VACAS LEITEIRAS MISTIÇAS EM CONDIÇÕES TROPICAIS

Resumo

A equação de predição da ingestão de matéria seca (IMS) por vacas leiteiras mestiças foi desenvolvida e avaliada usando um banco de dados com 161 médias de tratamentos provenientes de 38 estudos brasileiros [$n = 446$ vacas, $16,60 \pm 5,70$ (DP) kg de leite/dia). O banco de dados foi desenvolvido a partir de vacas lactantes Holandês x Zebu de diferentes graus de sangue em sistemas de confinamento ou pastagem. Os dados foram submetidos a análise de modelos não lineares de efeitos mistos, incluindo o estudo como efeito aleatório no modelo. O peso (PV), produção de leite corrigida para 4% de gordura (LC4%G) e as semanas em lactação (SEM) foram usadas como variáveis independentes no modelo. O modelo proposto para vacas mestiças foi: $IMS \text{ (kg/dia): } [0,5552 (\pm 0,06636) \times LC4\%G + 0,06332 (\pm 0,009455) \times PV^{0,75}] \times [1 - e^{(-0,7732 (\pm 0,7019) \times (SEM - 1,629 (\pm 1,9313)))}]$. A acurácia do modelo foi comparada com outras quatro equações previamente publicadas por uso de um banco de dados independente (42 médias de tratamentos, $18,70 \pm 4,76$ kg de leite/dia). O quadrado médio do erro da predição (QMEP), média de viés, coeficiente de correlação de concordância (CCC) e análise de regressão linear dos valores observados sobre os valores preditos foram usados na avaliação dos modelos. A média de viés ($Y - X$) do modelo proposto, NRC (2001), Fox et al. (2004), Traxler (1997) e Freitas et al. (2006) foram $-0,78$, $-0,01$, $1,05$, $-0,85$ e $0,25$ kg/dia com valores do QMEP de $1,64$, $2,45$, $2,73$, $2,76$ e $6,98$ kg²/dia, respectivamente. O novo modelo explicou 88% da variação observada em IMS, com menor valor do QMEP e maior valor do CCC, comparado com os outros quatro modelos avaliados. O modelo brasileiro proposto por Freitas et al. (2006), apesar de ser desenvolvido em condições tropicais, apresentou o maior valor do QMEP. Nas condições do presente estudo, a nova equação foi mais eficiente em prever a IMS e pode ser aplicada na formulação de dietas e na estimativa do desempenho de vacas leiteiras mestiças em condições tropicais.

Palavras-chave: *Bos indicus*; Ingestão; Meta-análise; Modelos; Produção de leite; Vacas leiteiras mestiças

Abstract

Equations to predict dry matter intake (DMI) of crossbred Holstein-Zebu dairy cows were developed and compared by using data of 161 treatment means from 38 Brazilian studies [$n = 446$ cows, 16.60 ± 5.70 (SD) kg milk/day). A data set was developed of Holstein x Zebu lactating dairy cows of different degrees of breeding in confinement or pasture systems. The data were evaluated using nonlinear mixed modeling including study as a random effect. Body weight (BW), 4% fat corrected milk (4% FCM) and weeks of lactation (WOL) were used as independent variables in the model. The proposed model to estimate DMI (kg/day) of crossbred cows was: $[0.5552 (\pm 0.06636) \times 4\% \text{ FCM} + 0.06332 (\pm 0.009455) \times BW^{0.75}] \times [1 - e^{(-0.7732 (\pm 0.7019) \times (WOL - 1.629 (\pm 1.9313)))}]$. The accuracy of the model was compared with four previously published equations by use of an independent dataset (42 treatments means, 18.7 ± 4.76 kg milk/day). The mean square error of prediction (MSEP), mean bias, concordance correlation coefficient (CCC), and analysis of linear regression

were used for evaluating models. The bias of the proposed model, NRC (2001), Fox et al. (2004), Traxler (1997) and Freitas et al. (2006) were - 0.78, - 0.01, 1.05, - 0.85 and 0.25 kg/day with MSEP value of 1.64, 2.45, 2.73, 2.76 e 6.98 kg²/day, respectively. The new model explained 88% of variation in DMI, with lowest values of MSEP and highest CCC compared with the other four equations. The Brazilian model from Freitas et al. (2006), despite being developed in tropical conditions, showed the highest value of the MSEP. In the conditions of this study, the new equation to predict DMI was more efficient to predict DMI and could be used to formulate diets and estimate performance of crossbred dairy cows under tropical conditions.

Keywords: *Bos indicus*; Crossbred dairy cows; Intake; Meta-analysis; Milk yield; Models

2.1 Introdução

As exigências nutricionais devem ser supridas por meio de uma adequada ingestão de matéria seca (IMS), que garanta a manutenção dos processos fisiológicos básicos, bem como a demanda para produção de leite na vaca lactante. A IMS é, portanto, uma expressão da demanda total de nutrientes da vaca leiteira, e componente fundamental a ser estimado em um sistema de produção.

No Brasil, a produtividade média anual no rebanho brasileiro é considerada muito baixa, em torno de 1.492 litros de leite/vaca. A maior produtividade anual nacional é representada pela região sul que apresenta uma média de 2.674 litros/vaca (FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013). Esta produtividade fica muito abaixo da observada nos países de pecuária leiteira temperada. O rebanho brasileiro possui uma importante contribuição de vacas mestiças na produção de leite, representando algo em torno de 70% da produção nacional (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2015).

A ingestão voluntária de alimento é definida como o peso ingerido por um animal ou grupo de animais durante um dado período de tempo, quando há acesso livre ao alimento (FORBES, 2007). Entretanto, a regulação da ingestão é um processo complexo que envolve interações entre o animal, dieta e manejo alimentar (MERTENS, 1994).

O consumo pode ser influenciado por mecanismos físicos, fisiológicos e psicogênicos. A distensão do estômago, temperatura do hipotálamo, concentração de ácidos graxos voláteis (AGVs), reservas de gordura e concentração de

aminoácidos no plasma são alguns dos principais fatores de controle da ingestão. A regulação psicogênica da ingestão é o resultado de um conjunto de fatores que podem estimular ou inibir o consumo em resposta ao ambiente. A ingestão pode ser influenciada pela palatabilidade da dieta, o odor, textura, aparência visual, e também pelas interações sociais entre os animais (FORBES, 2007).

Mertens (1987) descreveu que a ingestão é uma função linear das características do animal e uma função recíproca das características do alimento. Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) da dieta podem ser usados para prever o efeito de enchimento. Mertens (1994) descreveu que a IMS foi positivamente correlacionada com o FDN quando a energia limitou a ingestão, entretanto, quando a ingestão foi limitada pelo enchimento, a FDN foi negativamente correlacionado com a ingestão. O efeito de enchimento também pode estar relacionado com o tamanho de partícula, fonte de fibra, digestibilidade da FDN e fontes de FDN (ALLEN, 2000).

Outro aspecto importante no controle da IMS, é o excesso de um ou mais metabólitos no sangue em taxa maior em que eles podem ser removidos. A teoria glucostática descreveu que o animal tende a manter um nível relativamente constante de glucose no sangue, pelo controle do sistema nervoso central (MAYER, 1953). Entretanto, este mecanismo não parece ser válido para ruminantes.

Os AGVs podem influenciar a IMS em vacas em lactação em diferentes proporções. Uma revisão de estudos apresenta que o propionato parece influenciar mais a IMS que o acetato e butirato (ALLEN, 2000).

Na literatura, existe um questionamento de quais características do animal, alimento e ambiente são suficientes para prever a ingestão. Este problema foi dividido em três aspectos, sendo: 1) a capacidade de prever a ingestão por meio da composição do alimento e condições de clima; 2) a capacidade de predição da IMS de animais que são selecionados para uma combinação de características, tais como a taxa de crescimento, composição corporal, produção e composição de leite; 3) o comportamento ingestivo, como o tamanho e a frequência de ingestão (EMMANS; KYRIAZAKIS, 2001).

Entre os aspectos que podem influenciar o consumo, é necessário considerar que bovinos *Bos indicus* apresentam características fisiológicas mais adaptadas ao estresse calórico (BEATTY et al., 2006; BERMAN, 2011) o que se reflete na IMS nestas condições. Animais zebuínos podem apresentar uma menor exigência de

manutenção (REID et al. 1991; BERMAN, 2011), menor produção de leite e limitada resposta produtiva para uma melhora na alimentação e manejo (BERMAN, 2011). A menor produção de leite pode estar ligada a uma menor taxa metabólica, e melhor adaptação a altas temperaturas (BERMAN; MELTZER, 1973).

Sanh et al. (2002) descreveram que uma mudança de 10% na disponibilidade do alimento para mestiças Holandês x vacas Vietnamitas de origem zebuína aumentou o peso vivo, mas não apresentou resposta em produção de leite após o estágio inicial da lactação. Na literatura, existem indícios de que vacas adaptadas a clima quente podem adotar uma estratégia favorecendo a deposição de gordura, com aumento limitado na produção de leite (Berman, 2011), entretanto, este fato pode ser em sua maior parte oriundo do genótipo do animal.

O consumo de energia é função das exigências e isto está definido pelo potencial produtivo, seja de leite, seja de crescimento, seja de deposição de reservas. Salvo deficiências da dieta, ou restrições impostas pelo manejo ou clima, animais tendem a consumir de acordo com seu potencial metabólico para as funções de lactação, ganho e gestação.

A avaliação dos modelos norte-americanos de predição do consumo com dados de vacas leiteiras mestiças (*Bos taurus* x *Bos indicus*) em condições tropicais são limitados. Vacas mestiças podem apresentar diferentes padrões de consumo, definido pelo potencial genético distinto de vacas Holandesas de alta produção.

O objetivo do presente estudo é a elaboração de uma base de dados de vacas mestiças Holandês x Zebu para o desenvolvimento e avaliação de um novo modelo de ingestão, baseado nos genótipos, dietas e condições de clima encontrados no Brasil.

2.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado nas instalações do Laboratório de Nutrição e Crescimento Animal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, durante o período de março de 2012 a outubro de 2014.

O presente estudo de meta-análise dos dados publicados na literatura brasileira não utilizou experimentos com animais, por conseguinte, não precisou de anuência quanto as comissões ambientais de ética no uso de animais.

2.2.1 Desenvolvimento do banco de dados brasileiro

O estudo foi realizado por meio do levantamento de dados nacionais publicados em revistas científicas brasileiras indexadas na biblioteca eletrônica Scientific Electronic Library Online - SCIELO (2014). Os artigos na íntegra foram obtidos por meio do uso da combinação de diferentes palavras chaves, tais como: vacas leiteiras, desempenho, produção de leite, consumo, bovinos leiteiros, vacas em lactação e vacas mestiças.

Foram usados os estudos que atenderam os seguintes critérios de seleção: 1) estudos que foram desenvolvidos com vacas mestiças (com ou sem outras raças no mesmo estudo); 2) estudos realizados no Brasil; 3) com dados de IMS individual (mensuração individual ou estimado por uso de marcadores interno ou externo); 4) que apresentavam a produção de leite; 5) com dados do conteúdo ou produção de gordura do leite; 6) que apresentavam o peso médio das vacas (no início da pesquisa ou peso médio por tratamento); 7) que apresentavam o período de lactação das vacas; 8) com dados de composição química da dieta.

As principais variáveis do animal descritas no banco de dados foram: IMS observada, peso, produção de leite, porcentagem e produção de gordura, porcentagem e produção de proteína no leite, e período de lactação. As variáveis de composição química das dietas consideradas foram: fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína bruta, nutrientes digestíveis totais (NDT), energia metabolizável (EM), energia líquida de lactação (EL_l). O banco de dados de vacas mestiças usado no desenvolvimento e avaliação dos modelos de predição da IMS foi desenvolvido a partir de 38 estudos brasileiros indexados na base de dados Scielo e consistiu de 161 observações (Tabela 2.1 e Tabela 2.2).

Tabela 2.1 - Autores, número de tratamentos (n) e fontes de forragens dos estudos (n= 38, 446 vacas leiteiras) pertencentes ao banco de dados brasileiro

(continua)

Primeiro autor e ano	n	Fontes de forragem	Referência condensada
Alves et al. (2010)	5	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 39, n. 3, p. 532-540, 2010
Araújo et al. (2004)	4	Capim-elefante	R. Bras. Zootec., v. 33, n. 6, p.1850-1857, 2004
Assis et al. (2004)	4	Silagem de sorgo	R. Bras. Zootec., v. 33, n. 1, p. 242-250, 2004
Benedetti et al. (2008)	3	Napier, brachiaria decumbens e colônia	CAB, v. 9, n. 3, p. 578-589, 2008
Cobianchi et al. (2012)	4	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 41, n. 10, p. 2238-2248, 2012
Cordeiro et al. (2007)	4	Cana-de-açúcar	R. Bras. Zootec., v. 36, n. 6, p. 2118-2126, 2007
Costa et al. (2005)	4	Silagem de milho, cana-de-açúcar	R. Bras. Zootec., v. 34, n. 6, p. 2437-2445, 2005
Costa et al. (2011)	4	Cana-de-açúcar	R. Bras. Zootec., v. 40, n. 5, p. 1155-1162, 2011
Eifert et al. (2005)	4	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 34, n. 6, p. 2123-2132, 2005
Eifert et al. (2006)	5	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 35, n. 1, p. 211-218, 2006
Fukumoto et al. (2010)	3	Capim-Tanzânia e Marandu, Grama-estrela	R. Bras. Zootec., v. 39, n. 7, p. 1548-1557, 2010
Lima et al. (2001)	3	Capim-Tanzânia	R. Bras. Zootec., v. 30, n. 6, p. 1919-1924, 2001
Magalhães et al (2004)	4	Palma forrageira	R. Bras. Zootec., v. 33, n. 6, p. 1897-1908, 2004
Magalhães et al. (2004)	4	Silagem de milho, cana-de-açúcar	R. Bras. Zootec., v. 33, n. 5, p. 1292-1302, 2004
Magalhães et al. (2008)	4	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 37, n. 3, p. 529-537, 2008
Martins et al. (2011)	4	Cana-de-açúcar, silagem de sorgo e girassol, capim Tanzânia	Rev. Bras. Saúde Prod. An., v. 12, n. 3, p. 691-708, 2011
Mendonça et al. (2004)	4	Silagem de milho, cana-de-açúcar	R. Bras. Zootec., v. 33, n. 2, p. 481-492, 2004
Mora et al. (1996)	4	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 25, n. 2, p. 369-381, 1996
Moreira et al. (2001)	5	Feno de alfafa e capim-coastcross, silagem de milho	Rev. Bras. Zootec., v. 30, n. 3, p. 1089-1098, 2001

Tabela 2.1 - Autores, número de tratamentos (n) e fontes de forragens dos estudos (n= 38, 446 vacas leiteiras) pertencentes ao banco de dados brasileiro

(conclusão)

Primeiro autor e ano	n	Fonte de forragem	Referência condensada
Moreira et al. (2007)	4	Capim buffel, palma forrageira	Rev. Caatinga, v. 20, n. 3, p. 28-35, 2007
Oliveira et al. (2007)	4	Silagem de milho / cana-de-açúcar	R. Bras. Zootec., v. 36, n. 4, p. 1172-1182, 2007
Oliveira et al. (2011)	5	Capim-elefante	Rev. Ceres, Viçosa, v. 58, n. 4, p. 452-461, 2011
Paiva et al. (2013)	4	Silagem de milho	Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v. 65, n. 4, p. 1183-1191, 2013
Pereira et al. (2005)	4	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 34, n. 3, p. 1029-1039, 2005
Pereira et al. (2005)	4	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 34, n. 3, p. 1040-1050, 2005
Porto et al. (2009)	3	Capim-tanzânia, grama estrela, capim marandu	R. Bras. Zootec., v. 38, n. 8, p. 1422-1431, 2009
Ramalho et al. (2006)	4	Palma forrageira	R. Bras. Zootec., v. 35, n. 3, p. 1212-1220, 2006
Santana Jr et al. (2013)	5	Brachiaria brizantha	R. Bras. Zootec., v. 42, n. 2, p. 117-124, 2013
Santos et al. (2012)	5	Cana-de-açúcar	Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., v. 13, n. 3, p. 720-731, 2012
Silva et al. (2001)	4	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 30, n. 5, p. 1639-1649, 2001
Silva et al. (2009)	6	Capim-elefante	R. Bras. Zootec., v. 38, n. 7, p. 1372-1380, 2009
Soares et al. (2004)	4	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 33, n. 6, p. 2161-2169, 2004
Sousa et al. (2009)	4	Silagem de milho, cana-de-açúcar	R. Bras. Zootec., v. 38, n. 10, p. 2053-2062, 2009
Souza et al. (2005)	4	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 34, n. 6, p. 2496-2504, 2005
Teixeira et al. (2010)	4	Silagem de sorgo	R. Bras. Zootec., v. 39, n. 11, p. 2527-2534, 2010
Vilela et al. (2003)	4	Cana-de-açúcar	R. Bras. Zootec., v. 32, n. 3, p. 768-777, 2003
Wanderley et al. (2012)	5	Palma forrageira	Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., v. 13, n. 3, p. 745-754, 2012
Wernersbach Filho et al. (2006)	8	Silagem de milho	R. Bras. Zootec., v. 35, n. 3, p. 1228-1235, 2006

Tabela 2.2 - Banco de dados usado no desenvolvimento e avaliação das equações de predição da ingestão de matéria seca para vacas mestiças em condições tropicais. Dados de 161 médias de tratamentos (n) provenientes de 38 estudos brasileiros (n= 446 vacas leiteiras)

Variável	n	Média	DP	Mínimo	Máximo
Ingestão de matéria seca observada (kg/dia)	161	15,5	3,06	5,3	20,8
Produção de leite (PL, kg/dia)	161	16,6	5,70	5,4	29,9
PL corrigido 4% gordura (kg/dia)	149	16,6	5,41	5,8	27,1
Peso vivo (kg)	142	508,9	49,45	398,0	588,5
Período de lactação (semanas)	132	13,3	8,38	3,6	43,4
Matéria seca da dieta (%)	128	45,4	14,56	11,8	76,8
Nutrientes digestíveis totais (%)	140	63,7	6,62	47,7	83,9
Fibra em detergente neutro dieta (%)	144	45,1	12,26	24,6	78,8
Fibra em detergente ácido da dieta (%)	118	27,9	9,37	13,4	56,2
Gordura do leite (%)	145	3,77	0,51	2,25	4,76
Proteína do leite (%)	129	3,18	0,31	2,44	3,82
Lactose do leite (%)	51	4,48	0,24	4,02	5,00
Produção de gordura do leite (kg/dia)	144	0,654	0,22	0,246	1,070
Produção de proteína do leite (kg/dia)	129	0,572	0,18	0,164	0,861

Os estudos que não apresentaram os valores de EM ou ELI, o conteúdo de energia foi estimado a partir do NDT, segundo o NRC (2001). A energia líquida para manutenção (Mcal/kg) foi estimado conforme descrito por Fox et al. (2004).

A produção de leite corrigida para 4% de gordura (LC4%G) foi estimada a partir da produção de leite e conteúdo de gordura do leite (NRC, 2001). Semelhante a prévios estudos (CONRAD et al., 1964; RAYBURN; FOX, 1993; FUENTES-PILA et al., 2003) as médias de tratamentos foram usadas para estimar a IMS.

2.2.2 Reestimação dos parâmetros do modelo

O banco de dados brasileiro de vacas mestiças (38 estudos, n = 161 médias de tratamentos, 446 vacas leiteiras) foi aleatoriamente dividido em dois subconjuntos de dados. A divisão do conjunto de dados foi realizado pelo procedimento RANUNI do SAS (2015). O primeiro (Tabela 2.3) foi usado na reestimação dos parâmetros do

modelo de predição do consumo proposto pelo NRC (2001) para vacas em lactação (eq. 2.1), e o segundo para a avaliação do melhor modelo.

IMS (kg/dia) =

$$[(0,372 \times LC4\%G + 0,0968 \times PV^{0,75}) \times \{1 - e^{[-0,192 \times (SEM + 3,67)]}\}] \quad (2.1)$$

onde LC4%G é a produção de leite corrigido para 4% de gordura (kg/dia); PV é o peso corporal em (kg); SEM é a semana de lactação.

O termo $\{1 - e^{[-0,192 \times (SEM + 3,67)]}\}$ da equação ajusta a IMS crescente durante o início da lactação. A equação do NRC (2001) foi baseada em dados de vacas Holandesas, em sua maior parte em condições de clima temperado. A IMS de vacas lactantes é afetada pelas condições do meio ambiente fora das condições termoneutras, descritas entre 5 a 20°C. A equação usada para predição da IMS de vacas lactantes não incluem fator de ajuste para temperatura e umidade por limitações dos dados de IMS fora da zona termoneutra (NRC, 2001). Na estimação da IMS pelos modelos avaliados, não foi considerado o ajuste da temperatura no consumo, por ausência de dados de temperatura média nos estudos utilizados na presente meta-análise.

As variáveis consideradas no desenvolvimento do novo modelo de IMS para vacas mestiças foram incluídas como variáveis independentes em prévias equações (INGVARTSEN, 1994; NRC 2001; FUENTES-PILA et al., 2003) e podem ser obtidas no campo com aplicação prática do modelo (FUENTES PILA et al., 2003).

Previamente a reestimação dos parâmetros do modelo, o banco de dados foi submetido a análises gráficas (SAS, 2015; SYSTAT, 2015) para realizar a exploração e observar a coerência biológica dos dados. Estatísticas descritivas foram geradas usando o PROC MEANS e PROC FREQ do SAS (2015).

Tabela 2.3 - Dados de vacas mestiças Holandês x Zebu (28 estudos brasileiros) usados no desenvolvimento do novo modelo de predição do consumo

Variável	n	Média	DP	Mínimo	Máximo
Consumo, desempenho e exigências					
Período experimental (dias)	119	28,4	31,62	5,00	150,00
Ingestão de matéria seca (kg/dia)	119	15,3	3,10	5,32	20,81
Produção de leite (PL, kg/dia)	119	15,8	5,84	5,4	29,9
PL corrigida 4% de gordura (kg/dia)	107	16,0	5,51	5,8	27,1
Peso vivo (kg)	100	504,9	47,01	418,0	588,5
Peso vivo metabólico (PV ^{0,75} , kg)	100	106	7,5	92,4	119,5
Ingestão de matéria seca (% PV)	100	2,9	0,54	1,25	4,18
Estádio de lactação (semanas)	90	14,2	9,74	3,60	43,40
Energia líquida (EL) lactação (Mcal/dia) ¹	87	12,2	4,07	4,15	19,60
EL lactação (Mcal/dia) ²	29	11,2	3,81	5,88	17,57
EL para manutenção (Mcal/dia)	100	8,5	0,60	7,40	9,56
Dietas					
Matéria seca da dieta (%)	95	43,8	16,45	11,80	76,86
Nutrientes digestíveis totais (%)	98	63,0	6,84	47,70	83,93
Energia digestível da dieta (Mcal/kg)	98	2,78	0,30	2,10	3,70
Energia metabolizável da dieta (Mcal/kg)	98	2,36	0,30	1,67	3,29
Energia líquida de manutenção da dieta (Mcal/kg)	98	1,47	0,27	0,84	2,27
Energia líquida da dieta (Mcal/kg)	98	1,42	0,17	1,05	1,94
Fibra em detergente neutro (%)	106	46,2	13,65	24,67	78,80
Fibra em detergente ácido (%)	84	29,0	10,28	13,43	56,20
Proteína bruta (%)	102	13,9	1,96	8,20	18,20
Composição química do leite					
Gordura (%)	103	3,74	0,54	2,25	4,76
Proteína (%)	87	3,14	0,34	2,44	3,82
Lactose (%)	29	4,43	0,30	4,02	5,00
Sólidos totais (%)	66	12,41	0,85	10,30	14,45
Produção de gordura do leite (kg/dia)	102	0,628	0,218	0,246	1,070
Produção de proteína do leite (kg/dia)	87	0,556	0,182	0,165	0,861
Energia do leite (kcal/L) ¹	87	0,705	0,057	0,571	0,836
Energia do leite (kcal/L) ²	29	0,658	0,064	0,538	0,746

¹ Equação do NRC (2001) que estima a % de lactose do leite; ² Equação do NRC (2001) que considera o conteúdo da lactose analisada do leite.

A avaliação dos *outliers* e correlações entre os valores observados de IMS e preditos pelos modelos foram gerados no PROC REG do SAS (SAS, 2015). Os *outliers* foram identificados usando o gráfico dos resíduos studentizados contra os valores preditos. Análises de *leverage* e distância de cook foram realizados. Os dados com valores de resíduo studentizado fora da variação entre $-2,5$ a $+2,5$ foram considerados *outliers* e retirados do banco de dados. A análise de componentes principais foi realizada no PRINCOMP do SAS para verificar a influência das variáveis independentes e auxiliar na seleção dos modelos.

Para avaliação do efeito dos estudos no modelo, o logaritmo da função de verossimilhança ($\log_e L$) foi utilizado para determinar o modelo mais apropriado. O efeito aleatório era considerado ter influência expressiva, quando sua inclusão causava aumento significativo no $\log_e L$. A estatística do teste da razão de verossimilhança (LR) foi calculada para testar a significância de um modelo i , contendo um parâmetro adicional, comparado com outro modelo j , no qual o efeito aleatório do estudo não foi considerado. O valor obtido para a estatística do teste da razão de verossimilhança (LR) com o valor do qui-quadrado (χ^2_{tab}) com um grau de liberdade foi comparado.

O nível de significância utilizado foi 5%. Adicionalmente, foram usados na comparação dos modelos, o Critério de Informação de Akaike (AIC) e o Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC), sendo que os menores valores para AIC e BIC indicam um melhor ajuste (WOLFINGEER, 1993).

Para a reparametrização do modelo de ingestão do NRC (2001) com dados de vacas mestiças (Tabela 2.3) utilizou-se a análise de modelos não lineares mistos (NL MIXED, LITTELL et al., 2006) do SAS incluindo o efeito aleatório de estudo no modelo, como recomendado por St-PIERRE (2001). O $PV^{0,75}$, LC4%G e SEM foram usados como efeitos fixos. Na pesquisa, cada estudo no banco de dados foi tratado como amostra aleatória oriunda de uma grande população de estudos.

O modelo usado foi:

$$Y_{ij} = (\beta_1 \times PV^{0,75}_{ij} + \beta_2 \times PL4\%G) \times (1 - e^{[-\beta_3 \times (SEM_{ij} + \beta_4)])} + est_j + e_{ij} \quad (2.2)$$

Em que: Y_{ij} = IMS do i -ésimo IMS no j -ésimo estudo com i variando de 1 a 119, e j variando de 1 a 28, β_1 = coeficiente representando a IMS por kg de $PV^{0,75}$, β_2 =

coeficientes representando a IMS/ kg LC4%G, β_3 e β_4 = coeficientes representando o ajuste para IMS, est_j = efeito aleatório do estudo assumindo uma distribuição normal e e_{ij} = erro aleatório associado à i -ésima observação, assumido, normal e independentemente distribuído, com média 0 e variância σ_i^2 .

2.2.3 Avaliação e comparação do novo modelo de predição do consumo para vacas mestiças em condições tropicais

Um segundo banco de dados independente a partir de estudos realizados com vacas mestiças (com ou sem vacas Holandesas no mesmo estudo) e vacas Gir Leiteiro (Tabela 2.4) foi desenvolvido e usado para avaliar a acurácia do novo modelo de predição da IMS para vacas mestiças. Foi realizada a comparação do novo modelo com outras quatro prévias equações publicadas pelo NRC (2001), Fox et al. (2004), Traxler (1997) e Freitas et al. (2006), apresentadas na Tabela 2.5.

A acurácia e precisão das predições da IMS pelos modelos foram testadas pelas análises de viés médio, quadrado médio dos erros de predição (QMEP) e seus componentes (BIBBY e TOUTENBURG, 1977), coeficiente de correlação de concordância (CCC) e seus componentes C_b e r (LIN, 1989), coeficiente de determinação (r^2) das análises de regressão linear simples dos valores observados (Y) sobre os valores preditos (X), e pelo teste de probabilidade do intercepto ser igual a zero e inclinação da reta igual a 1 (FOX et al., 1992; TEDESCHI, 2006).

Para a regressão linear simples, foi utilizado o PROC REG do SAS (LITTEL et al., 2006). As avaliações dos modelos foram realizadas com os programas R versão 3.1.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014) e Model Evaluation System versão 3.1.13 (MES, 2014).

Tabela 2.4 - Dados de vacas mestiças Holandês x Zebu (n= 10 estudos) usados na avaliação do novo modelo de predição do consumo

Variável	n	Média	DP	Mínimo	Máximo
Consumo e desempenho					
Período experimental (dias)	42	16,6	2,35	15,0	21,0
Ingestão de matéria seca (kg/dia)	42	16,1	2,90	9,3	20,0
Produção de leite (PL, kg/dia)	42	18,7	4,76	9,7	24,1
PL corrigida 4% gordura (kg/dia)	42	18,3	4,81	9,5	24,8
Peso vivo (kg)	42	518	54,2	398	560
Peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$, kg)	42	108,5	8,70	89,1	115,1
Ingestão de matéria seca (% PV)	42	3,1	0,41	2,02	3,68
Período de lactação (semanas)	42	11,3	3,54	4,90	15,20
Energia líquida (EL) lactação (Mcal/dia)	38	13,5	3,78	7,01	18,58
EL lactação, com lactose (Mcal/dia)	17	12,1	3,71	6,87	16,38
EL para manutenção (Mcal/dia)	42	8,6	0,70	7,13	9,21
Dietas					
Matéria seca da dieta (%)	33	50,2	3,79	41,20	59,60
Nutrientes digestíveis totais (%)	42	65,4	5,83	52,10	72,40
Energia digestível da dieta (Mcal/kg)	42	2,88	0,26	2,30	3,19
Energia metabolizável da dieta (Mcal/kg)	42	2,46	0,26	1,87	2,77
Energia líquida de manutenção da dieta (Mcal/kg)	42	1,57	0,23	1,03	1,84
Energia líquida da dieta (Mcal/kg)	42	1,49	0,15	1,16	1,72
Fibra em detergente neutro (%)	38	41,9	6,23	33,06	55,10
Fibra em detergente ácido (%)	34	25,1	5,87	17,76	39,70
Proteína bruta (%)	42	14,0	1,33	11,10	16,19
Composição química do leite					
Gordura (%)	42	3,86	0,41	3,10	4,63
Proteína (%)	42	3,25	0,21	2,90	3,63
Lactose (%)	22	4,54	0,11	4,33	4,71
Sólidos totais (%)	33	12,76	0,66	11,55	13,92
Produção de gordura do leite (kg/dia)	42	0,720	0,200	0,339	1,000
Produção de proteína do leite (kg/dia)	42	0,607	0,161	0,307	0,830
Energia do leite, sem lactose (kcal/l)	38	0,725	0,047	0,639	0,815
Energia do leite, com lactose (kcal/l)	17	0,691	0,050	0,626	0,779

Tabela 2.5 - Equações da predição do consumo de vacas leiteiras lactantes avaliadas para vacas mestiças em condições tropicais

Autores	Categoria	Equação da predição de ingestão de matéria seca (kg/dia)	
NRC (2001)	Vacas leiteiras lactantes	$[(0,372 \times LC4\%G + 0,0968 \times PV^{0,75}) \times \{1 - e^{[-0,192 \times (SEM + 3,67)]}\}]$	(2.3)
Fox et al. (2004)	Vacas leiteiras lactantes	$(0,0185 \times PV + 0,305 \times LC4\%G) \times Lag$	(2.4)
Traxler (1997)	Vacas lactantes duplo propósito	$PV^{0,75} \times (0,1462 \times EL_{ma} - 0,0517 \times EL_{ma}^2 - 0,0074) + 0,305 \times LC4\%G + C$	(2.5)
Freitas et al. (2006)	Vacas leiteiras lactantes do Brasil	$-100 + (0,116 \times PV) + (2,91 \times PL) + (22,8 \times \%G) - (2,6 \times \%G^2) - (0,00483 \times PV \times PL)$	(2.6)

onde LC4%G é a produção de leite corrigida para 4% de gordura em kg/dia (NRC, 2001). PV é o peso corporal em kg. SEM é período de lactação em semanas. Lag é um ajuste usado quando as semanas em lactação for ≤ 16 (eq. 2.7; Fox et al., 2004), outros casos o Lag = 1.

$$Lag = 1 - e^{[-(0,564 - 0,124 \times PKMK) \times (semana \text{ de lactação} + P)]} \quad (2.7)$$

em que PKMK é o mês pós-parto de ocorrência do pico de produção e foi considerado 2 e P = 2,36, similar ao CNCPS 5.0. A EL_{ma} é a energia líquida da dieta para manutenção em Mcal/kg (eq. 2.8; Fox et al. 2004).

$$EL_{ma} \text{ (Mcal/kg)} = 1,37 \times EM - 0,138 \times EM^2 + 0,0105 \times EM^3 - 1,12 \quad (2.8)$$

sendo que a EM é a energia metabolizável da dieta em Mcal/kg (eq. 2.9; NRC, 2001).

$$EM \text{ (Mcal/kg)} = 1,01 \times ED \text{ (Mcal/kg)} - 0,45 \quad (2.9)$$

onde a ED é energia digestível da dieta e foi estimada usando a eq. 2.10 do NRC (2001) .

$$ED \text{ (Mcal/kg)} = 0,04409 \times \text{nutrientes digestíveis totais (\%)} \quad (2.10)$$

Se a produção de leite >15 kg, C = 2,7, outros casos C = 0. PL é a produção de leite (kg/dia). %G é o conteúdo de gordura do leite.

2.3 Resultados e Discussões

2.3.1 Banco de dados de vacas mestiças Holandês-Zebu

A produção de leite média das vacas mestiças ($n = 446$) usadas nesta meta-análise foi $16,60 \pm 5,70$ kg/dia de leite (Tabela 2.2). A média de conteúdo de gordura e proteína do leite foram $3,77 \pm 0,51$ e $3,18 \pm 0,31\%$, respectivamente. As variações em produção de leite obtidas neste estudo foram similares aos descritos pela Associação Brasileira de Criadores de Girolando - ABCG (2015), no qual vacas mestiças Holandês $\times$ Gir apresentaram produções médias de 5.061 kg de leite por lactação (aproximadamente 16,59 kg/dia em uma lactação de 305 dias) no ano de 2013, com média de 4% de gordura e 3,3% de proteína do leite.

Segundo Borges et al. (2015), devemos considerar que no Brasil as vacas mestiças Holandês-Zebu compõem em torno de 70% do rebanho nacional de bovinos leiteiros, em sistema de manejo semi-intensivo. A ABCG (2015) descreveu que aproximadamente 80% são vacas mestiças Holandês $\times$ Gir. Consequentemente, o desempenho apresentado no presente estudo parece refletir de forma satisfatória a média nacional de vacas Girolando.

No banco de dados, somente dezoito estudos apresentaram os graus de sangue dos animais mestiços. Dentro desses estudos, houve uma heterogeneidade de vacas mestiças. Os graus de sangue Holandês $\times$ Zebu descritos nos estudos foram: 1/2 (13,6%), 3/4 (18,2%), 5/8 (31,8%), 7/8 (22,7%), 15/16 (9,1%), 31/32 (4,5%). Freitas et al. (2001) descreveram que vacas 1/2 Holandês $\times$ Gir apresentaram as menores produções de leite. Vacas 1/2 Holandês $\times$ Gir podem não se adaptar na ordenha mecânica, demandando a presença dos bezerros. Outro aspecto é que a duração média da lactação desses animais foram inferiores a 305 dias. Neste estudo, a produção de leite aumentou com o aumento do grau de sangue Holandês.

A boa aptidão produtiva de vacas leiteiras mestiças pode ser parcialmente explicada pela contribuição do grau de sangue Holandês, alimentação, manejo e instalações adequadas, uma vez que a maior parte dos estudos foram realizados em Universidades e Institutos de Pesquisas do Brasil. Devemos considerar que as vacas estavam com média de 93 dias em lactação, ou seja, na fase inicial da lactação (Tabela 2.2).

Em fazendas leiteiras comerciais, o desempenho produtivo de vacas mestiças pode ser inferior comparado aos estudos experimentais. Em pesquisas, as dietas, instalações e fatores relacionado ao manejo e ambiente são melhor controlados que nas fazendas leiteiras, com a finalidade de minimizar o erro experimental.

Dentro dos estudos que descreveram o modelo usado na estimação das exigências e desempenho de vacas mestiças, o NRC (2001) foi o mais citado. As vacas foram alimentadas com maior proporção de silagem de milho, cana de açúcar, silagem de sorgo, e outras forragens como fontes de volumosos. O delineamento experimental quadrado latino foi o mais usado nos estudos, o que reflete o curto período experimental das pesquisas (Figura 2.1, Tabela 2.3 e Tabela 2.4).

Figura 2.1 - Principais fontes de volumosos (A), número de ordenhas por dia (B), modelos de nutrição (C) e delineamentos experimentais descritos nos estudos (D)

O peso das vacas mestiças foi em média $508,9 \pm 49,45$. O peso de vacas Holandesas $\times$ Gir no quinto e sexto parto foram descritos sendo de 519 e 525 kg, respectivamente (RUAS et al., 2013). Carvalho et al. (2009) descreveram peso médio ao parto de $521,5 \pm 52,26$ em vacas Holandês $\times$ Zebu filhas de vacas Gir. Estes valores estão dentro da variação de peso obtido no presente estudo.

Em vacas leiteiras os maiores determinantes do peso são o tamanho do animal, reservas corporais e o enchimento do trato digestivo. Diferentes modelos de

predição do peso de vacas leiteiras podem ser demandados para prever o peso em diferentes condições de clima e raças (ENEVOLDSEN; KRISTENSEN, 1997).

Vacas mestiças de menor tamanho possuem menor exigência de manutenção. Vacas leiteiras cruzadas apresentam maior exigência de manutenção que vacas de corte, o que pode ser explicado pela maior proporção de vísceras. Vacas Holandesas apresentam maior deposição de gordura visceral em relação a subcutânea e o tecido adiposo interno também apresenta maior atividade metabólica comparado com depósitos periféricos como o subcutâneo, o que pode aumentar a exigência de manutenção (THOMPSON et al., 1983). Entretanto, o maior peso relativo de tecidos como o fígado e outros tecidos viscerais em animais com maior proporção de genética holandesa parece explicar a maior exigência de manutenção.

O menor peso corporal e a menor produção de leite de vacas mestiças Holandês x Zebu, observados nos genótipos encontrados no Brasil, definem menores exigências comparadas com as de vacas Holandesas norte-americanas, que possuem maior potencial de produção de leite e maior tamanho corporal. Em resumo, há uma diferença entre cruzados e holandeses, assim como há diferença considerável entre os rebanhos holandeses do hemisfério norte e do Brasil.

A IMS das vacas mestiças foram em média $15,5 \pm 3,06$ kg/dia, com FDN médio de 45% da MS dietética, com valores variando de 24,6 até 78,8%. A ampla variação da FDN da dieta pode ser explicada pelas diferentes fontes de volumosos usados e pelo sistema de alimentação adotado na gama de experimentos avaliados neste estudo.

Devemos considerar que a qualidade da FDN tem considerável influência sobre a IMS, haja visto dietas a base de cana de açúcar. A IMS de vacas alimentadas com dietas baseadas em cana de açúcar são menores comparadas à dietas baseadas em silagem de milho, o que pode resultar em menor produção de leite (OLIVEIRA et al., 2011). O menor consumo de vacas alimentadas com cana de açúcar está associado à menor digestibilidade da FDN, com redução da taxa de passagem ruminal, e um aumento da taxa de retenção da digesta no retículo-rúmen (MAGALHÃES et al., 2006).

2.3.2 Desenvolvimento do modelo

Foram analisados a influência de diferentes variáveis no consumo de matéria seca de vacas leiteiras mestiças Holandês x Zebu. O modelo que apresentou as variáveis de peso (PV), produção de leite (PL) e % de gordura do leite (%G) resultou nos menores valores da estatística C(p), AIC, J(p) e S(p) e alto coeficiente de determinação (R^2 , Tabela 2.6).

Diferentes critérios tem sido propostos para a seleção de variáveis dos modelos (HOCKING, 1976). No presente estudo, foi considerado que o valor da estatística Cp (MALLOWS, 1973) deve ser menor ou igual a $p + 1$, onde p é o número de variáveis independentes no modelo. Após satisfeito este critério, o modelo com os mínimos valores das estatísticas Jp e Sp (HOCKING, 1976), assim como o AIC (AMEMIYA, 1980) foi selecionado (FUENTES-PILA et al., 2003).

Apesar do modelo que considerou a % de FDN da dieta apresentar similar valor do R^2 , o modelo sem o FDN apresentou menores valores de Cp, AIC, J(p) e S(p), sendo mais adequado.

Tabela 2.6 - Variáveis independentes que podem influenciar o consumo de vacas mestiças Holandês-Zebu ($n = 83$) incluídas nos modelos com o maior R^2 dentro de 11 tamanhos de classes do modelo (n)

n	Variáveis no modelo	C(p)	R^2	AIC	J(p)	S(p)	SSE
3	PL ¹ , %G ² , PV ³	3,235	0,727	97,56	3,240	0,0396	244,1956
4	PL, %G, PV, FDN ⁴	5,000	0,727	99,31	3,309	0,0405	243,4621
2	PL, PV	7,259	0,706	101,72	3,406	0,0416	262,9998
3	PL, PV, FDN	9,245	0,706	103,71	3,48	0,0426	262,9573
3	PL, %G, FDN	11,658	0,697	106,05	3,588	0,0439	270,4872
2	PL, %G	13,588	0,684	107,73	3,662	0,0447	282,7554
2	PL, FDN	18,201	0,667	111,85	3,848	0,0470	297,1542
2	PV, FDN	66,842	0,498	146,11	5,815	0,0710	448,9773
3	%G, PV, FDN	68,815	0,498	148,09	5,956	0,0728	448,8912
2	%G, FDN	90,338	0,416	158,67	6,764	0,0826	522,3146
2	%G, PV	90,905	0,414	158,95	6,787	0,0829	524,0855

¹PL é a produção de leite em kg/dia; ²%G é o conteúdo de gordura do leite em %; ³PV é o peso em kg; ⁴FDN é a fibra em detergente neutro em % da matéria seca da dieta.

No teste da razão de verossimilhança, ao considerar o efeito aleatório do estudo no modelo de ingestão houve uma melhoria significativa em relação ao ajuste sem tal efeito ($P < 0,01$). Na análise de regressão simples que considerou o efeito aleatório dos estudos, os valores observados de IMS e o PV, PL, LC4%G foram significativos ($P < 0,01$), consequentemente, estas variáveis foram as mais adequadas a serem consideradas no modelo.

Em vacas mestiças *Bos taurus* × *Bos indicus* a IMS apresentou correlação positiva com a PL e o PV. Similar a vacas Holandesas, vacas mestiças apresentaram correlação negativa entre produção de leite e %G (Tabela 2.7).

Hristov et al. (2005) analisando os dados de 557 vacas Holandesas encontraram correlação entre IMS e PL de 52% e 33% com o PV. Similar ao presente estudo, Roseler et al. (1997) descreveram que a produção de leite apresentou a maior correlação com a IMS, representando aproximadamente 45% da variação em IMS durante o início da lactação, e o PV representou 17% da variação em IMS.

Apesar do presente estudo apresentar correlações superiores aos descritos na literatura, o comportamento foi semelhante em que a PL e o PV são as variáveis mais correlacionadas com a IMS em vacas leiteiras lactantes.

Tabela 2.7 – Correlações de Pearson (r) entre a ingestão de matéria seca (IMS) e variáveis que podem influenciar a IMS em vacas leiteiras mestiças

	IMS ¹ (kg/dia)	PL ² (kg/dia)	Gordura (%)	Peso (kg)	FDN ³ (%)	SEM ⁴
IMS (kg/dia)	1	0,76**	- 0,04	0,58**	- 0,49**	- 0,05
PL (kg/dia)		1	- 0,19*	0,45**	- 0,65**	- 0,21*
Gordura (%)			1	- 0,15	0,36**	- 0,09
Peso (kg)				1	- 0,56**	0,35**
FDN ² (%)					1	- 0,02
SEM						1

¹IMS é a ingestão de matéria seca em kg/dia; ²PL é a produção de leite em kg/dia; ³FDN é a fibra em detergente neutro da dieta em % da matéria seca da dieta. ⁴SEM é a semana de lactação em dias. * $P \leq 0,05$ e ** $P < 0,01$.

A IMS foi negativamente correlacionada com a % de FDN da dieta. Mertens (1994) descreveu que quando a ingestão é limitada pelo enchimento, o FDN é negativamente correlacionado com a ingestão. Com base no atual estudo, a ingestão de vacas mestiças brasileiras parece ser limitada pelo efeito de

enchimento. Podemos observar que a % de FDN foi negativamente correlacionada com a PL e PV ($P < 0,01$), ou seja, vacas alimentadas com alta % de FDN na dieta apresentaram menor produção de leite e PV.

A IMS não apresentou correlação com as semanas em lactação. A análise de correlação mostrou que a produção de leite de vacas mestiças diminui ao longo da lactação, enquanto o PV aumentou (Tabela 2.7).

No presente estudo, o modelo proposto para a predição da IMS (kg/dia) de vacas mestiças em condições tropicais foi:

$$\text{IMS} = [0,5552 (\pm 0,06636 \text{ EP}) \times \text{leite corrigido para 4\% gordura} + 0,06332 (\pm 0,009455) \times \text{peso}^{0,75}] \times [1 - e^{(-0,7732 (\pm 0,7019) \times (\text{semanas em lactação} - 1,629 (\pm 1,9313)))}]$$

(2.11)

2.3.3 Avaliação do novo modelo e comparação com outros modelos de predição da ingestão de matéria seca de vacas leiteiras lactantes

O novo modelo de IMS para vacas leiteiras mestiças explicou 88% da variação na IMS e apresentou o menor valor do QMEP de 1,64 kg²/dia e maior valor do CCC comparado com os outros 4 modelos avaliados (Tabela 2.8, Figura 2.2 e Figura 2.3). Nas equações de predição da IMS de vacas leiteiras, a análise do QMEP ou sua raiz tem sido usados frequentemente para avaliar a acurácia das predições (ROSELER et al., 1997; FUENTES-PILA et al., 2003; KRIZSAN et al., 2014; SOUZA et al., 2014). No presente estudo, o menor valor do QMEP do modelo proposto representa melhor acurácia de predição da IMS. Associado a este fato, o alto valor do CCC representa maior acurácia e precisão da estimativa de IMS de vacas mestiças com o uso do novo modelo.

Entretanto, o modelo proposto superestimou em 0,78 kg/dia a IMS das vacas lactantes mestiças (Tabela 2.8). Apesar de ser uma diferença relativamente baixa, devemos levar em consideração que pode ter ocorrido insuficiente ajuste do novo modelo durante a reestimação dos parâmetros do modelo do NRC (2001) para vacas cruzadas Holandês x Zebu.

Tabela 2.8 - Avaliação do novo modelo de predição de ingestão de matéria de vacas mestiças com os modelos proposto por Traxler (1997), NRC (2001), Fox et al. (2004) e Freitas et al. (2006)

Modelos	Y (kg)	X (kg)	(Y - X)	¹ QMEP (kg × kg)	Raiz do QMEP	Decomposição do QMEP, %			² CCC	³ r	⁴ Cb	R ²	P (a = 0)	P (b = 1)
						Erro devido ao viés médio	Erro devido a inclinação não ser igual a 1	Erro aleatório						
Observado	16,10													
Novo modelo	-	16,88	- 0,78	1,64	1,28	37,001	3,469	59,531	0,902	0,936	0,964	0,88	0,495	0,125
NRC (2001)	-	16,11	- 0,01	2,45	1,56	0,003	0,052	99,945	0,818	0,829	0,986	0,69	0,889	0,884
Fox et al. (2004)	-	15,05	1,05	2,73	1,65	40,458	5,327	54,215	0,800	0,901	0,888	0,81	0,229	0,049
Traxler (1997)	-	16,95	- 0,85	2,76	1,66	26,338	0,781	72,882	0,800	0,862	0,927	0,74	0,244	0,506
Freitas et al. (2006)	-	15,85	0,25	6,98	2,64	0,863	63,860	35,277	0,747	0,829	0,901	0,69	<0,001	<0,001

¹QMEP é o quadrado médio do erro da predição; ²CCC é o coeficiente de correlação de concordância de acordo com Lin (1989); ³r é o coeficiente de correlação de Person's; ⁴Cb mede a acurácia do modelo.

Figura 2.2 - Consumo de matéria seca observado (valores externos, kg/dia) e preditos por diferentes modelos de predição. Dados de 42 dietas para vacas leiteiras mestiças em lactação

A estrutura do modelo $1 - e^{-\beta_3 \times (SEM_{ij} + \beta_4)}$ que foi desenvolvido para ajustar uma menor IMS no início e final da lactação de vacas Holandesas e foi incorporado no NRC (2001), pode não ser adequado para vacas mestiças uma vez que o EP dos coeficientes β_3 e β_4 foram altos. Estes parâmetros do modelo demonstram que os coeficientes não são significativos ou pode haver uma imprecisão na análise.

No presente estudo, devemos levar em consideração que o período de lactação (semanas) não apresentou correlação significativa com a IMS (kg/dia) de vacas leiteiras mestiças ($P = 0,63$). Esse fato pode estar ligado a diferenças genéticas entre vacas Holandesas e mestiças, uma vez que o consumo é o resultado das exigências nutricionais dos animais.

Oliveira et al. (2007) descreveram curvas de lactação com queda na produção a partir do primeiro dia de lactação para vacas F1 Holandês-Gir, entretanto, a forma atípica da curva pode ter sido resultado de avaliações mensais de produção. Neste estudo, a ausência de mensurações semanais de leite pode ter deixado de mensurar variações importantes na produção, que auxiliariam a descrever a curva de lactação de vacas mestiças.

Figura 2.3 - Avaliação do novo modelo de predição de ingestão de matéria (IMS) de vacas mestiças. **(A)** IMS observada (Y) versus a predita pelos modelos NRC (2001), Fox et al. (2004), Traxler (1997) e Freitas et al. (2006). **(B)** Gráficos dos resíduos (observado - predito) da IMS de vacas mestiças

Gloria et al. (2010) verificaram em vacas mestiças de raças européias com zebuínas, que a média de tempo do início de lactação ao pico foi de 23,3 dias, sendo que para vacas Holandês-Gir o tempo médio foi de 22,7 dias.

A persistência pode ser definida como o período de tempo que o pico de lactação é mantido (WOOD, 1967). Em termos de manejo nutricional, as vacas que apresentam curvas de lactação mais persistentes apresentam demanda energética mais constantes durante toda a lactação (DEKKERS et al., 1998). As exigências definem o consumo do animal, conseqüentemente demandas nutricionais constantes por vacas mestiças podem resultar em baixa variação do consumo durante o período de lactação.

O modelo NRC (2001) explicou 69% da variação da IMS, apresentando maior QMEP e menor CCC, sendo menos acurado e preciso comparado ao novo modelo proposto (Tabela 2.8). Os resultados obtidos estão de acordo com Mello (2011) que avaliou o modelo do NRC (2001) para vacas mestiças em pastejo em condições tropicais por meio de dados individuais e verificou que as predições foram acuradas, mas com baixa precisão.

As estimativas de IMS foram avaliadas, em sua maior parte por meio de um banco de dados nacional oriundo de vacas mestiças Holandês x Zebu alimentadas com uma ampla variedades de dietas típicas usadas no Brasil, baseadas principalmente em silagem de milho e cana de açúcar (Figura 2.1). Nestas condições, a IMS predito pelo modelo do NRC (2001) apresentou o QMEP de 2,45 kg²/dia, com sua raiz de 1,56 kg/dia e com valor CCC de 0,818.

Fuentes-Pila et al. (2003) avaliaram cinco diferentes equações de predição de IMS com um banco de dados provenientes de vacas Holandesas alimentadas com dieta total (TMR) baseada em silagem de milho, alfafa (feno, silagem ou pré-secado) ou ambos. Neste estudo, o NRC (2001) apresentou um QMEP variando de 1,45 a 5,36 kg²/dia, e foi mais acurado em predizer a IMS de vacas Holandesas lactantes. Krizsan et al. (2014) avaliando as predições da IMS para vacas leiteiras alimentadas com diferentes dietas típicas europeias, encontraram valores inferiores da raiz do QMEP de 2,33 kg²/dia e CCC de 0,702 para NRC (2001), comparado com o presente estudo.

Souza et al. (2014) desenvolveram e avaliaram um novo modelo de predição da IMS para vacas leiteiras Holandesas e mestiças por meio da meta-análise e encontraram valores inferiores do QMEP de 1,04 kg²/dia, com um valor de 0,93 para

o CCC. Este modelo, apesar ter sido desenvolvido no Brasil não foi avaliado no presente estudo. Alguns estudos publicados na literatura brasileira foram usados no desenvolvimento do modelo de Souza et al. (2014) e foram usados no banco de dados da presente pesquisa. Consequentemente, o banco de dados de avaliação não é independente, inviabilizando a avaliação. Sugere-se novos estudos que avaliem ambas as equações com banco de dados independentes proveniente de vacas leiteiras mestiças.

Os modelos propostos por Fox et al. (2004) e Traxler (1997) apresentaram uma média de viés ($Y - X$) de 1,05 e - 0,85 kg de MS por dia e explicaram 81 e 74% da variação em IMS, respectivamente. Os valores do QMEP foram maiores comparados ao novo modelo e ao NRC (2001). Para o modelo de Traxler (1997), os parâmetros da regressão (intercepto e inclinação) não foram diferentes de zero e 1 ($P > 0,05$), respectivamente.

Os modelos de Fox et al. (2004) e Traxler (1997) foram usados no modelo do CNCPS, para vacas Holandês e dupla aptidão, respectivamente. Molina et al. (2004) avaliaram o modelo proposto por Traxler (1997) para vacas leiteiras lactantes alimentadas com forragem tropicais. A raiz do QMEP variou de 0,75 a 6,07 kg/dia. Portanto, o valor obtido no presente estudo para vacas mestiças de 1,66 kg/dia está dentro da variação descrita na literatura.

Morenz et al. (2012) avaliando o CNCPS para vacas mestiças Holandês x Zebu, ordenhadas duas vezes por dia produzindo em média $10,1 \pm 2,5$ kg de leite por dia, em pastejo de capim elefante observaram tendência do modelo do CNCPS superestimar a IMS predita por métodos indiretos. Entretanto, Molina et al. (2004) e Cappelle et al. (2001) verificaram que a equação de Traxler (1997) apresentou tendência de subestimar a IMS de bovinos zebuínos ou mestiços.

A equação de Traxler (1997) combinou a equação do NRC (1984) Corte usada para prever IMS de vacas em manutenção com uma função linear para contabilizar os efeitos da produção de leite sobre a IMS. O fator de correção foi usado neste modelo, para animais produzindo mais de 15 kg de leite corrigido para gordura. A equação de Traxler (1997) foi mais acurada (com maior valor C_b) e menos precisa (menor valor r), apesar de ter similar valores do CCC quando comparada com a equação sugerida por Fox et al. (2004). O modelo de Traxler (1997) adotado pelo CNCPS foi eficiente em estimar a IMS de vacas cruzadas em condições brasileiras.

O modelo de predição da IMS desenvolvido por Freitas et al. (2006), apesar de ser desenvolvido com 132 dados de vacas leiteiras Holandesas e mestiças Holandês x Zebu em condições tropicais, apresentou os maiores valores do QMEP e menores valores de CCC. O modelo explicou 69% da variação da IMS e os parâmetros da regressão (intercepto e inclinação) foram diferentes de zero e 1 ($P < 0,05$), respectivamente. Nas condições do presente estudo, os parâmetros indicam que o modelo não foi acurado em predizer a IMS de vacas mestiças brasileiras (Tabela 2.8, Figura 2.3).

Souza et al. (2014), avaliando o modelo proposto por Freitas et al. (2006) encontraram valor de média de viés e valor do QMEP de 2,31 kg e 16,04 kg²/dia, respectivamente. O presente estudo, obteve valores inferiores de média de viés e QMEP (Tabela 2.8). A decomposição do QMEP do presente estudo indicou que o erro devido a inclinação não ser igual a 1 apresentou a maior participação do erro (Tabela 2.8).

Na Figura 2.2, podemos observar que a inacurácia do modelo proposto por Freitas et al. (2006) pode ser, em sua maior parte, proveniente de uma subestimação do consumo de vacas leiteiras mestiças com produção de leite em torno 15 kg/dia. Nesses estudos, as vacas foram alimentadas com dietas baseadas em cana de açúcar e silagem de sorgo.

2.4 Conclusões

Nas condições do presente estudo, a reestimação dos parâmetros do modelo proposto pelo NRC (2001), utilizando o conjunto de dados de vacas mestiças em condições tropicais alimentadas com dietas típicas de sistemas de produção brasileiros, resultou em maior precisão e acurácia das predições de IMS por vacas leiteiras Holandês x Zebu.

Este novo modelo pode ser incluído em programas de formulação de dietas ou de estimativa das exigências nutricionais em condições similares à do conjunto de experimentos utilizados neste estudo.

Referências

ALLEN, M.S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 1598-1624, 2000.

AMEMIYA, T. Selection of regressors. **International Economic Review**, Massachusetts, v. 21, p. 331-354, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE GIROLANDO. Performance: **Girolando** – A raça mais versátil do mundo tropical. Disponível em: <<http://www.girolando.com.br>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

BEATTY, D.T.; BARNES, A.; TAYLOR, E.; PETHICK, D.; MCCARTHY, M.; MALONEY, S.K. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, p. 972-985, 2006.

BERMAN, A; MELTZER, A. Critical temperatures in lactating dairy cattle: A new approach to an old problem. **International Journal of Biometeorology**, Netherlands, v. 17, p. 167-176, 1973.

BERMAN, A. Invited review: Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates?. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, p. 2147-2158, 2011.

BIBBY, J.; TOUTENBURG, H. **Prediction and improved estimation in linear models**. London: Wiley, 1977. 125 p.

BORGES, A.M.; MARTINS, T.M.; NUNES, P.P.; RUAS, J.R.M. Reprodução de vacas mestiças: Potencialidade e desafios. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 39, p. 155-163, 2015.

CARVALHO, B.C.; RUAS, J.R.M.; SILVA FILHO, J.M.; FERREIRA, J.J.; SILVA, M.A.; MENEZES, G.C.C. Avaliação de diferentes manejos pré-parto sobre o peso e o escore da condição corporal de vacas mestiças F1 Holandês x Zebu. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, Niterói, v. 16, p. 62-67, 2009.

CAPPELLE, E.R.; VALADARES FILHO, S.C.; COELHO DA SILVA, J.F.; CECON, P.R. Estimativa do consumo e do ganho de peso de bovinos, em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, p. 1857-1865, 2001.

CONRAD, H.R.; PRATT, A.D.; HIBBS, J.W. Regulation of feed intake in dairy cows. 1. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 47, p. 54–62, 1964.

DEKKERS, J.C.M.; TEM HAG, J H.; WEERSINK, A. Economic aspects of persistence of lactation in dairy cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 53, p. 237- 252, 1998.

EMBRAPA. **Vacas mestiças**. Brasília: EMBRAPA GADO DE LEITE, 2015. Disponível em: <<http://www.cnp.gl.embrapa.br/sistemaproducao/141-vacas-mesti%C3%A7as>>. Acesso em: 18 mar. 2015.

EMMANS, G.; KYRIAZAKIS, I. Consequences of genetic change in farm animals on food intake and feeding behavior. **Proceedings of the Nutrition Society**, Cork, v. 60, p.115-125, 2001.

ENEVOLDSEN, C.; KRISTENSEN, T. Estimation of body weight from body size measurements and BCS in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.80, p.1988-1995, 1997.

FORBES, J.M. In: Basics. **Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals**. Wallingford: Cabi International, 2007. p. 1-453.

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**, Champaign, v.70, p. 3578-3596, 1992.

FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P.; RUSSELL, J.B.; VAN AMBURGH, M.E.; CHASE, L.E.; PELL, A.N.; OVERTON, T.R. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 112, p. 29-78, 2004.

FREITAS, M.S.; DURÃES, M.C.; FREITAS, A.F; BARRA, R.B. Comparação da produção de leite e de gordura e da duração da lactação entre cinco "graus de sangue" originados de cruzamentos entre Holandês e Gir em Minas Gerais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 53, p. 708-713, 2001.

FREITAS, J.A.; LANA, R.P.; RODRIGUEZ MAGALHÃES, A.L.; SOUZA, J.C. Predição e validação do desempenho de vacas de leite nas condições brasileiras. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, Maracaibo, v.14, p.128-134, 2006.

FUENTES-PILA, J.; IBÁÑEZ, M.; DE MIGUEL, J.M.; BEEDE, D.K. Predicting Average Feed Intake of Lactating Holstein Cows Fed Totally Mixed Rations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p.309-323, 2003.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Pecuária Municipal**, 2013. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2013/ppm2013.pdf>. Acesso em: 18 maio 2015.

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

HOCKING, R. R. The analysis and selection of variables in linear regression. **Biometrics**, Washington, v. 32, p. 1-49, 1976.

HRISTOV, A.N.; PRICE, W.J.; SHAFIL, B. A meta-analysis on the relationship between intake of nutrients and body weight with milk volume and milk protein yield in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, p.2860-2869, 2005.

INGVARTSEN, K.L. Models of voluntary food intake in cattle. **Livestock Production Science**, Denmark, v.39, p. 19-38, 1994.

KRIZSAN, S.J.; SAIRANEN, A.; HÖJER, A.; HUHTANEN, P. Evaluation of different feed intake models for dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 97, p. 2387-2397, 2014.

LIN, L.I-K. Aconcordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, Washington, v. 45, p. 255-268, 1989.

LITTELL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D.; SCHABENBERGER, O. **Sas for mixed models**. 2nd ed. Cary: SAS Institute, 2006. 813p.

MAGALHÃES, A.L.R.; CAMPOS, J.M.S; CABRAL, L.S.; MELLO, R.; FREITAS, J.A.; TORRES, R.A.; VALADARES FILHO, S.C.; ASSIS, A.J. Cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho em dietas para vacas em lactação: parâmetros digestivos e ruminais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, p. 591-599, 2006.

MALLOWS, C.L. Some comments on Cp. **Technometrics**, Alexandria, v. 15, p. 661-675, 1973.

MAYER, J. Glucostatic mechanisms of regulation of food intake. **New England Journal of Medicine**, Boston, v. 249, p. 13-16, 1953.

MELLO, B.L.B. **Avaliação do modelo NRC para predição do consumo de matéria seca por vacas leiteiras manejadas em pastagens tropicais**. 2011. 49p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2011.

MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 64, p. 1548-1558, 1987.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAHEY, G.C.; COLLINS JR, M.; MERTENS, D.R.; MOSER, L.E. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1994. chap. 3, p. 450-493.

MES. **Model Evaluation System**. College Station, Texas. Disponível em < <http://nutritionmodels.com/purchase.html> > Acesso em: 01 fev. 2014.

MOLINA, D.O.; MATAMOROS, I.; ALMEIDA, Z.; TEDESCHI, L.O.; PELL, A.N. Evaluation of the dry matter intake predictions of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System with Holstein and dual-purpose lactating cattle in the tropics. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, 114, 261-278, 2004.

MORENZ, M.J.F.; SILVA, J.F.C.; AROEIRA, L.J.M.; DERESZ, F.; VÁSQUEZ, H.M.; LOPES, F.C.F.; PACIULLO, D.S.C.; TEDESCHI, L.O. Evaluation of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System model on the prediction of dry matter intake and milk production of grazing crossbred cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.41, p.398-406, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 6th ed. Washington: National Academy Press, 1984. 90p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington: National Academy Press, 2001. 381p.

OLIVEIRA, H.T.V.; REIS, R.B.; GLÓRIA, J.R.; QUIRINO, C.R.; PEREIRA, J.C.C. Curvas de lactação de vacas F1 Holandês-Gir ajustadas pela função gama Incompleta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.59, p.233-238, 2007.

OLIVEIRA, A.S.; DETMANN, E.; SOUZA CAMPOS, J.M.; SANTOS PINA, D.; SOUZA, S.M.; COSTA, M.G. Meta-análise do impacto da fibra em detergente neutro sobre o consumo, a digestibilidade e o desempenho de vacas leiteiras em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, p.1587-1595, 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R Foundation for Statistical Computing. R: **A programming environment for data analysis and graphics**. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL. Disponível em: < <http://www.R-project.org>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

RAYBURN, E.B.; FOX, D.G. Variation in neutral detergent fiber intake of Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, p. 544-554, 1993.

REID, C.R.; BAILEY, C.M.; JUDKINS, M.B. Metabolizable energy for maintenance of beef-type *Bos taurus* and *Bos indicus* x *Bos taurus* cows in a dry, temperate climate. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 69, p. 2779-2786, 1991.

ROSELER, D.K.; FOX, D.G.; PELL, A.N.; CHASE, L.E. Evaluation of alternative equation for prediction of intake for Holstein dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 80, p. 864-877, 1997.

RUAS, J.R.M.; SILVA, E.A.; QUEIROZ, D.S.; SOARES JÚNIOR, J.A.G.; PEREIRA, M.E.G.; MENEZES, G.C.C.; ROCHA JÚNIOR, V.R.; COSTA.M.D. Variação de peso no pós-parto de vacas F1 Holandês x Zebu de diferentes ordens de parto. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, Niterói, v. 20, p. 227-233, 2013.

SANH, M.V.; WIKTORSSON, H.; LY, L.V. Effect of feeding level on milk production, body weight change, feed conversion and postpartum oestrus of crossbred lactating cows in tropical conditions. **Livestock Production Science**, Denmark, v. 77, p. 331-338, 2002.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: guide of personal computers. Cary, 2015.

SCIELO. **Scientific Electronic Library Online**. FAPESP, CNPq, BIREME, OPAS, OMS, FapUnifesp. São Paulo, Brasil. Disponível em: <<http://www.scielo.br>> Acesso em: 16 jun. 2014.

SOUZA, M.C.; OLIVEIRA, A.S.; ARAÚJO, C.V.; BRITO, A.F.; TEIXEIRA, R.M.A.; MOARES, E.H.B.K.; MOURA, D.C. Short communication: Prediction of intake in dairy cows under tropical conditions. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 97, p. 3845-3854, 2014.

ST-PIERRE, N.R. Invited review: integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, p. 741-755, 2001.

SYSTAT. 2015. **Sigmaplot**: guide of personal computers. Version 13.0. Chicago, 2015.

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 89, p. 225-247, 2006.

THOMPSON, W.R.; MEISKE, J.C.; GOODRICH, R.D.; RUST, J.R. ; BYERS, F. M. Influence of body composition on energy requirements of beef cows during winter. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 56, p. 1241-1251, 1983.

TRAXLER, M.J. **Predicting the effect of lignin on the extent of digestion and the evaluation of alternative intake models for lactating cows consuming high NDF forages**. 1997. 145p. Dissertation, Cornell University, Ithaca, 1997.

WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. **Community in Statistics – Simulation and computation**, Ontario, v.22, n.4, p.1079-1106, 1993.

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

3 AVALIAÇÃO DE MODELOS PARA ESTIMAR O DESEMPENHO DE BEZERROS LEITEIROS: UMA META-ANÁLISE DE ESTUDOS EM CONDIÇÕES TROPICAIS

Resumo

Dados de 16 estudos publicados envolvendo 51 dietas para bezerros leiteiros em condições tropicais ($n = 485$ bezerros, peso inicial de $37,5 \pm 4,35$ (DP) kg e peso ao desaleitamento de $62,0 \pm 10,16$ kg) foram usados para avaliar o submodelos de bezerros proposto pelo Nutrient Requirements for Dairy Cattle (NRC, 2001) e o Agricultural Modeling and Training Systems (AMTS). O banco de dados foi desenvolvido a partir de bezerros da raça Holandesa, Jersey e cruzamentos entre Holandês x Zebu. Os bezerros foram alimentados com leite integral, sucedâneo de leite ou colostro fermentado, e concentrado inicial ($20,9 \pm 1,78\%$ de proteína bruta). O peso dos bezerros e as informações das dietas foram inseridos dentro dos modelos, e a ingestão observada foi usada para calcular o ganho de peso predito. A acurácia das predições do ganho de peso médio diário (GMD, kg/dia) foram avaliadas pela média de viés ($Y - X$), quadrado médio do erro da predição (QMEP), coeficiente de correlação de concordância (CCC) e análise de regressão linear dos valores observados sobre os valores preditos. O GMD observado foi $0,452 \pm 0,121$ kg/dia. Bezerros alimentados com leite integral apresentaram maior GMD comparado com bezerros alimentados com sucedâneo de leite ($0,477$ versus $0,379$ kg/dia) durante o período de aleitamento. Quando todos os dados foram analisados ($n = 51$ dietas), os animais apresentaram uma média de viés de $-0,019$ e $0,068$ kg/dia para o GMD predito pela energia disponível para o ganho do NRC (2001) e AMTS, respectivamente. A equação de regressão entre os ganhos observados e preditos pela energia da dieta apresentaram um intercepto e inclinação diferente de zero e um, respectivamente ($P < 0,0001$). Na segunda avaliação, quando os bezerros foram alimentados somente com sucedâneo de leite, o ganho predito pela energia da dieta pelo AMTS apresentou a menor média de viés ($0,008$ kg/dia) e $82,1\%$ do QMEP foi oriundo do erro aleatório. O menor valor do QMEP, maior valor do C_b , intercepto e inclinação da reta não significativos ($P > 0,05$) indicam que o modelo do AMTS apresentou maior acurácia para bezerros alimentados com sucedâneo de leite. Entretanto, dentro das duas avaliações realizadas o r^2 foi baixo, representando baixa precisão das estimativas de ganho. O ganho de peso de bezerros leiteiros estimado pela energia disponível foi superestimado pelo NRC (2001) em 19 g/dia e subestimado pelo sistema do AMTS em 68 g/dia. Quando os ganhos foram estimados pela proteína disponível nas dietas experimentais, tanto o AMTS quanto o NRC apresentaram grandes superestimativas dos ganhos de peso. A proposta de Van Amburgh e Drackley (2005) parece ser mais acurada na predição do desempenho de bezerros leiteiros brasileiros consumindo sucedâneos. Para o conjunto dos experimentos conduzidos no Brasil avaliados neste estudo, o ganho de peso médio observado foi 32% inferior ao observado na literatura norte-americana. As razões para esta discrepância precisam ser compreendidas, pois somente assim novos modelos poderão ser desenvolvidos e parametrizados para estimar o desempenho animal de forma mais acurada e precisa.

Palavras-chave: Bezerras leiteiras; Crescimento; Ganho; Modelos de Bezerros; Predição

Abstract

Data from 16 previous studies involving 51 diets for dairy calves under tropical conditions ($n = 485$, initial body weight 37.5 ± 4.35 kg and weaning weight of 62.0 ± 10.16 kg) were used to evaluate the Nutrient Requirements for Dairy Cattle (NRC, 2001) and Agricultural Modeling and Training Systems (AMTS) calf models. The data set was developed from Holstein, Jersey and crossbred Holstein $\times$ Zebu calves. The calves were fed with whole milk, milk replacer or fermented colostrum, and starter ($20.9 \pm 1.78\%$ of crude protein). Calf weights and diets were inputted into the models, and actual intakes were used to calculate predicted gain. The accuracy of the average daily gain (ADG) prediction was evaluated by mean bias, mean square prediction error (MSEP), concordance correlation coefficient (CCC) and regression between the observed and predicted values. The ADG observed from birth to weaning was 0.452 ± 0.121 kg/day. Calves fed with whole milk had the greatest ADG compared with calves fed milk replacer (0.477 versus 0.379 kg/d) during the milk-feeding period. When all data were pooled ($n = 51$ diets), animals had a mean bias of -0.019 and 0.068 kg/day for energy allowable gain using NRC (2001) and AMTS models, respectively. The regression equation between observed and predicted from energy of diets showed an intercept different from zero ($P < 0.0001$) and slope that differed from unity ($P < 0.0001$). In a second evaluation, when calves were fed only milk replacer the energy allowable gain from AMTS showed the lowest mean bias (0.008 kg/day) and 82.1% of the MSEP value originates from random errors. The lowest MSEP, the highest Cb and no significant slope bias ($P > 0.05$) indicates that the AMTS model had the highest accuracy for calves fed with milk replacer. However, within these latter two approaches, the goodness of fit (r^2) was low, representing low precision. The weight gain estimated by the energy available from the diet, was overestimated by 19 g/day when calculated by the NRC and underestimated by 68 g/day when calculated by AMTS. When gains were estimated by protein available in the experimental diets both the AMTS as the NRC showed greatest overestimates of gain. The proposed Van Amburgh and Drackley (2005) seems to be more accurate in predicting the performance of Brazilian dairy calves fed milk replacers. The Brazilian data showed a calf gain around 32% lower than those described in U.S. dairy farms. The reasons for this discrepancy need to be understood, for only then new models could be developed and parameterized to estimate animal performance more accurately and precisely.

Keywords: Calf models; Dairy calves; Gain; Growth; Prediction

3.1 Introdução

Modelos matemáticos são importantes ferramentas para estimar o desenvolvimento, exigências nutricionais, crescimento e desempenho dos animais. O desenvolvimento de modelos é baseado no conhecimento dos fatos e suposições lógicas, em seguida as predições são comparadas com um real e independente banco de dados (VANDEN BERG, 1980).

A avaliação de diferentes modelos é importante para verificar a acurácia e precisão dos valores estimados em diferentes genótipos, dietas, condições de ambiente e manejo. Nas últimas décadas diferentes modelos de nutrição foram desenvolvidos, atualizados e avaliados, e são usados para estimar as exigências e desempenho de bovinos (INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE - INRA, 1989; COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION - CSIRO, 1990; FOX et al., 1992; AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL - AFRC (1993); NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 2001; TYLUTKI et al., 2008). No entanto, nas últimas décadas algumas categorias foram omitidas dentro das fazendas, tais como bezerras leiteiras durante o período de aleitamento.

O último comitê do NRC (2001) organizou um capítulo de exigências nutricionais de bezerros leiteiros e descreveu três fases do desenvolvimento dos animais relacionado com a função digestiva. A primeira é a fase líquida, em qual toda ou maior parte das exigências de nutrientes são supridas pelo leite ou sucedâneo de leite. Na fase de transição, ambos a dieta líquida e o concentrado inicial contribuem para suprir as exigências dos bezerros. A terceira fase denominada ruminantes, as exigências dos animais são supridas pelos alimentos sólidos, a partir da fermentação microbiana no retículo-rúmen (DAVIS; CLARK, 1981; DAVIS; DRACKLEY, 1998).

A maior parte dos nutricionistas do Brasil adotam o NRC (2001) e o Cornell Net Carbohydrate and Protein System - CNCPS (FOX et al., 2004; TYLUTKI et al., 2008), para estimar as exigências e o desempenho de vacas e novilhas leiteiras. Ambos os modelos norte-americanos foram desenvolvidos em sua maior parte, com dados de bezerros da raça Holandês (machos e fêmeas), alimentados com diferentes quantidades de leite ou fórmulas de sucedâneo de leite, em diferentes condições de clima e manejo.

No Brasil, algumas características específicas de genética, condições ambientais e manejo devem ser consideradas, 1) frequentemente o bezerro é um animal mestiço Holandês x Zebu; 2) as bezerras com idade de até 2 meses são mais leves que bezerras Holandesa; 3) a temperatura ambiental é mais elevada no verão; 4) as fontes de proteína do sucedâneo de leite são muitas vezes de origem vegetal, e não oriundos das proteínas do leite; 5) os bezerros são alimentados com aproximadamente quatro litros por dia de leite não comercializáveis (com resíduo de

antibiótico, alta contagem de células somáticas, alta contagem bacteriana total) ou leite integral (pasteurizado ou não).

Poucos estudos que avaliaram a acurácia e precisão dos modelos norte-americanos, que são usados no Brasil para estimar as exigências e desempenho de bezerras leiteiras na fase de aleitamento. Nos últimos anos importantes atualizações foram realizadas nos modelos, e estas demandam ser avaliadas com um banco de dados independente.

O objetivo do estudo foi o desenvolvimento de uma base de dados nacional de bezerras leiteiras Holandesa ou mestiças manejadas em condições tropicais, para avaliar o ganho de peso médio diário (GMD) preditos pelos modelos do NRC (2001) e AMTS por meio da energia e proteína da dieta.

3.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado nas instalações do Departamento de Animal Science da University of Illinois at Urbana-Champaign localizado no estado de Illinois, Estados Unidos da América, com supervisão do Professor James K. Drackley, durante o período de outubro de 2014 a abril de 2015.

3.2.1 Banco de dados

Os dados utilizados nas avaliações dos modelos foram provenientes de estudos brasileiros indexados na base de dados Scientific Electronic Library Online - Scielo (2015), uma biblioteca eletrônica que abrange uma selecionada coleção de revistas científicas.

Foi realizada ampla pesquisa da literatura científica de experimentos realizados com bezerros leiteiros no período de aleitamento, de ambos os sexos. O método de pesquisa de literatura adotado foi descrito por Olsen (1995). No presente estudo, foi realizado uma meta-análise dos dados obtidos. Em pesquisas com animais, este método tem sido usado por apresentar menor custo, comparado com pesquisas que utilizam rebanhos experimentais (FUENTES-PILA, 2003).

As pesquisas incluídas no banco de dados foram selecionadas baseadas nas seguintes informações: estudos conduzidos no Brasil com bezerros leiteiros na fase de aleitamento; com composição do concentrado inicial ofertado aos animais no

período experimental; estudos que incluíram a composição da dieta líquida (leite ou sucedâneo de leite); estudos que incluíram o peso ao desaleitamento; com dados da ingestão de dieta líquida e concentrado inicial, com informação do ganho de peso médio diário (GMD).

Após uma rigorosa avaliação dos estudos (consistência dos dados, delineamento experimental e estatística), os dados foram extraídos para a inclusão no banco de dados. Em seguida, o banco de dados foi analisado para verificar a coerência biológica dos dados. Os dados *outliers* foram removidos do banco de dados antes da avaliação dos modelos.

Dados de 16 estudos envolvendo 51 dietas para bezerros leiteiros em condições tropicais (Tabela 3.1) foram usados para avaliar os submodelos de bezerros do NRC (2001) e Agricultural Modeling and Training Systems - AMTS (AMTS.Cattle.Pro™ Calf Model versão 3.5.8.0, 2015). Dados de composição da dieta (Tabela 3.2) e desempenho animal (Tabela 3.3) foram coletados.

O peso observado ao desaleitamento, a composição das dietas líquida e concentrado inicial, assim como as informações da ingestão de cada alimento foram usados como dados de entrada em ambos os modelos. A temperatura do ambiente foi descrita como 20°C, portanto, a temperatura foi considerada termoneutra. Consequentemente, nenhum ajuste para a temperatura foi realizado.

As médias de tratamentos foram usadas para as avaliações dos modelos. As dietas incluíram leite, sucedâneo de leite e colostro fermentado. Nos estudos, quando as dietas líquidas e concentrado inicial não foram analisados para alguns nutrientes, as composições do NRC (2001) foram adotadas.

As médias observadas da ingestão de concentrado inicial e leite ou sucedâneo de leite durante todo o período de aleitamento foram usados para estimar o ganho predito pela energia e proteína da dieta. Nos estudos, o GMD na fase de aleitamento foi calculado a partir do peso ao nascimento (ou do início do experimento) e do peso ao desaleitamento. A maior parte dos estudos iniciou o período experimental na primeira semana após o nascimento dos bezerros e oferta do colostro. O GMD observado (kg/dia) durante a fase de aleitamento foi usado para avaliar os modelos.

Tabela 3.1 - Estudos brasileiros selecionados (16 estudos, 51 dietas, 485 bezerros) para compor o banco de dados usado na predição do ganho de peso médio diário (GMD) por modelos norte-americanos usados no Brasil

Referências	(n)	Dietas líquidas	Instituição/Estado
Aita et al., R. Bras. Zootec., v.35, n.1, p.193-202, 2006	3	Leite/sucedâneo	EMBRAPA, RS
Azevedo et al., Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., v.15, n.1, p.237-247, 2014	1	Leite	ICA UFMG, MG
Batista et al., Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.60, n.1, p.185-191, 2008	4	Leite	UFMG, MG
Bittar et al., R. Bras. Zootec., v.38, n.8, p.1561-1567, 2009	2	Leite/sucedâneo	CPNA, SP
Chaves et al., Rev. Bras. Zootec., v.28, n.5, p.1075-1085, 1999	3	Leite	EMBRAPA/CNPGL, MG
Ferreira et al., Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.65, n.5, p.1357-1366, 2013	1	Sucedâneo/ Silagem colostro	ESALQ USP, SP
Jorge et al., R. Bras. Zootec., v.31, n.1, p.192-204, 2002	5	Leite	UEM, PR
Lima et al., Ciênc. Rural, v.43, n.11, p.2056-2062, 2013	4	Leite/soro de queijo	UFERSA, RN
Lizieire et al., Ciênc. Rural, v.32, n.5, p.835-840, 2002	3	Leite	PESAGRO, RJ
Mancio et al., R. Bras. Zootec., v.34, n.4, p.1314-1319, 2005	2	Leite/silagem de colostro	UFV, MG
Meyer et al., Sci. Agric., v.58, n.2, p.215-221, 2001	2	Leite/sucedâneo	ESALQ USP, SP
Neto et al., Rev. Bras. Saúde Prod. An., v.9, n.4, p. 726-733, 2008	2	Sucedâneo	UESB, BA
Sandi et al., Ciênc. Rural, v.31, n.3, p.487-490, 2001	4	Leite	PUC, RS
Schalch et al., Rev. Bras. Zootec., v.30, n.1, p.280-285, 2001	4	Leite	USP, SP
Silva et al., R. Bras. Zootec., v.41, n.3, p.746-752, 2012	3	Sucedâneo	ESALQ USP, SP
Vasconcelos et al., Acta Vet. Brasilica, v.3, n.4, p.163-171, 2009	8	Leite/sucedâneo	UFMS, RS

Tabela 3.2 - Dados de manejo, ingestão e composição de dietas usadas na avaliação do ganho de peso médio diário (GMD) preditos por modelos norte-americanos usados no Brasil (16 estudos, 51 dietas, 485 bezerros)

Variáveis	n	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Período experimental (dias)	51	65	13,0	50	90
Ingestão de colostro (kg/dia)	28	4	1,0	2	4
Disponibilidade de colostro (dias)	35	3	1,0	2	5
Intervalo entre colostro (horas)	21	12	0	12	12
Ingestão de leite (litros)	37	3,8	0,63	2,0	5,4
Matéria seca do leite (g/kg)	11	119,6	5,55	104,7	124,9
Gordura do leite (% da MS ^a)	3	26,6	2,53	25,23	29,61
Proteína do leite (% da MS)	3	24,7	1,94	23,63	27,00
Cinzas do leite (% da MS)	3	6,1	0,22	6,06	6,44
Oferta de leite (vezes ao dia)	37	1,9	0,31	1,0	2,0
Ingestão de sucedâneo de leite (litros/dia)	13	3,7	0,44	3,00	4,00
Sucedâneo de leite em pó (% de MS)	13	92	2,29	88	94
Gordura do sucedâneo (% da MS)	15	15,5	3,03	10,00	20,00
Proteína do sucedâneo (% da MS)	15	21,0	1,75	18,15	23,08
Cálcio do sucedâneo (% da MS)	2	0,8	0,07	0,80	0,90
Fosforo do sucedâneo (% da MS)	2	0,6	0,07	0,60	0,70
Cinzas do sucedâneo (% da MS)	7	5,9	1,29	4,87	7,29
Fibra bruta do sucedâneo (% da MS)	7	1,9	1,33	0,54	3,03
Ingestão de concentrado inicial (Período de aleitamento, g/dia)	51	517,7	201,27	180	960
Concentrado inicial (% de MS)	39	88,6	3,46	80,20	92,18
Gordura do concentrado (% da MS)	40	3,6	1,24	2,30	7,23
Proteína bruta do concentrado (% da MS)	51	20,9	1,78	17,37	23,60
FDN ^b do concentrado	28	20,75	9,59	9,47	39,44
FDA ^c do concentrado	20	10,0	5,69	4,60	23,10
Fibra bruta do concentrado (% da MS)	23	5,9	3,31	2,48	11,92
Cinzas do concentrado (% da MS)	31	7,4	2,75	4,21	12,60
Cálcio do concentrado (% da MS)	15	1,1	0,70	0,10	1,90
Fosfóro do concentrado (% da MS)	15	0,6	0,04	0,53	0,68
NDT ^d do concentrado	20	83,4	6,17	71,32	88,41

^aMS é a matéria seca da dieta. ^bFDN é a fibra em detergente neutro em % da MS. ^cFDA é a fibra em detergente ácido da dieta em % da MS. ^dNDT é os nutrientes digestíveis totais em % da MS da dieta.

Tabela 3.3 - Dados de desempenho e exigências de bezerras leiteiras provenientes de estudos brasileiros (16 estudos, 51 dietas, 485 bezerros)

Variáveis	n	Média	DP	Mínimo	Máximo
Idade do animal no início do estudo (dias)	51	5	5,96	1	28
Idade ao desaleitamento (dias)	51	58	10,65	28	81
Peso inicial (kg)	47	37,5	4,35	27,6	48,2
Peso ao desaleitamento (kg)	51	62,0	10,16	43,7	81,6
Peso metabólico ($PV^{0,75}$)	51	22,0	2,71	17,0	27,1
Energia líquida para a manutenção (EL_m , Mcal)	51	1,9	0,23	1,4	2,3
Energia líquida para o ganho (EL_g , Mcal)	51	0,9	0,37	0,4	1,9
Ganho de peso médio diário no período de aleitamento (kg/dia)	51	0,452	0,120	0,235	0,741

Nos últimos anos, diferentes experimentos realizados na Universidade de Cornell e na Universidade de Illinois forneceram dados para modificar as equações de predição do crescimento de bezerras leiteiras proposto pelo NRC (2001). Essas atualizações foram recentemente incorporadas no modelo do AMTS. As principais equações e atualização usadas para a predição do GMD pelos modelos são descritas na Tabela 3.4.

3.2.2 Análise estatística

O banco de dados foi submetido às análises gráficas (SAS, 2015; SYSTAT, 2015) para realizar a exploração e observar a coerência biológica dos dados. As estatísticas descritivas foram geradas usando o PROC FREQ e PROC MEANS do SAS. A avaliação dos *outliers* e as relações entre os valores observados e preditos do GMD pelos modelos foram realizadas no PROC REG do SAS (SAS, 2015).

A acurácia e precisão das predições do GMD pelos modelos do NRC (2001) e AMTS foram testados por análises do viés médio, quadrado médio do erro de predição (QMEP) e suas decomposições (BIBBY; TOUTENBURG, 1977), coeficiente de correlação de concordância (CCC) e seus componentes C_b e r (LIN, 1989).

Tabela 3.4 - Descrições dos modelos avaliados para prever o ganho de peso médio diário (GMD) de bezerras leiteiras

Descrição	Sigla/unidade	Equações/descrições	
<i>NRC (2001)</i>			
Exigência de energia para a manutenção	EL _M (Mcal)	$0,086 \times PV^{0,75}$	3.1
Exigência de energia metabolizável (EM) para manutenção	EM _M (Mcal)	$0,100 \times PV^{0,75}$	3.2
Exigência de EM para o ganho	EM _G (Mcal)	$(0,84 \times PV^{0,355} \times GMD^{1,2})$	3.3
Exigência de EM	EM(Mcal/dia)	$0,1 \times PV^{0,75} + (0,84 \times PV^{0,355}) \times (GMD^{1,2})$	3.4
Proteína digestível aparente	PDA (g/dia)	$6,25 \times [1/VB (E + G + M \times D) - M \times D]$	3.5
Valor biológico	VB	Leite e sucedâneo= 0,8 concentrado= 0,7	
Nitrogênio (N) urinário endógeno (ARC, 1980)	E (g/dia)	$0,2 \times PV^{0,75}$	3.6
N no ganho	G (g)	30 g N / kg GMD	3.7
N metabólico fecal (Roy,1980)	M (g)	1,9 g/kg de MS consumida de leite ou sucedâneo, 3,3 g/kg de MS consumida do concentrado	
Conversão da proteína bruta (PB) para PDA (ARC, 1980)	PB (g)	PDA/0,93 para leite ou sucedâneo e PDA/0,86 para leite ou sucedâneo e concentrado inicial	
Eficiência de uso da EM para manutenção	k _m	EM _m /0,825	
Eficiência de uso da EM para ganho	k _g	EL _G /0,652 (0,69 para leite ou sucedâneo e 0,57 para concentrado inicial)	
Eficiência de conversão da energia digestível para EM	ED (Mcal)	EM/0,934 (0,96 para leite ou sucedâneo e 0,88 para concentrado inicial)	
<i>Van Amburgh e Drackley (2005)</i>			
Exigências de energia por unidade de ganho	EM (MJ/dia)	Aproximadamente 0,53	
Energia retida	ER (Mcal/dia)	$0,4431 \times EWG^{1,1684} \times EBW^{0,75}$	3.8
Eficiência da proteína absorvida		0,70	
Conversão da PB para PDA		0,75	

Em que: PV é o peso em kg. GMD é o ganho de peso médio diário em kg/dia. EWG é o ganho de peso vazio em kg/dia. EBW é o peso do corpo vazio em kg.

O coeficiente de determinação (R^2) das análises de regressão linear simples dos valores observados (Y) sobre os valores preditos (X), e pelo teste de probabilidade do intercepto ser igual a zero e inclinação da reta igual a 1 (TEDESCHI, 2006) foram avaliados.

A análises estatísticas de avaliação dos modelos foram realizadas no programa R versão 3.1.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014) e Model Evaluation System (MES 2015, versão 3.1.13) segundo Tedeschi (2006). No presente estudo, as predições do GMD foram avaliadas usando um banco de dados independente, desenvolvido a partir de estudos conduzidos nas Universidades e instituições de Pesquisa do Brasil.

3.3 Resultados

O banco de dados incluiu 16 estudos (51 dietas, 485 bezerros) em qual as pesquisas foram realizadas em sete estados localizados na região Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. A ingestão de concentrado inicial e GMD (kg/dia) observado durante o período de aleitamento foram $0,518 \pm 0,201$ e $0,452 \pm 0,121$ kg/dia, respectivamente. As descrições dos genótipos, sexo, dietas líquidas e delineamento experimental usados nesta avaliação são apresentadas na Figura 3.1.

Quando todos os dados foram analisados ($n = 51$ dietas), os animais apresentaram uma média de viés de $-0,019$ e $0,068$ kg/dia para o GMD predito pela energia da dieta usando o NRC (2001) e AMTS, respectivamente. O R^2 para o GMD predito pela energia da dieta foram baixos e menores comparado com a proteína disponível para o ganho. Consequentemente, baixo valor de R^2 representa uma menor precisão da energia dietética em predizer o GMD dos animais. A proteína superestimou o ganho dos bezerros em ambos os modelos (Tabela 3.5).

No presente estudo, bezerros que foram alimentados com leite apresentaram maior GMD comparado com bezerros alimentados com sucedâneo de leite ($0,477$ versus $0,379$ kg/dia) durante o período de aleitamento.

Na segunda avaliação (Tabela 3.6), quando os bezerros foram alimentados somente com sucedâneo de leite, o GMD predito pelo modelo AMTS a partir da energia disponível para o ganho da dieta apresentou uma menor média de viés ($0,008$ kg/dia) e 82,1% do QMEP foi proveniente do erro aleatório.

O menor valor do QMEP (0,0092 kg²/dia), o maior valor C_b, e intercepto e inclinação da reta não significantes ($P > 0,05$) indica que o modelo proposto pelo AMTS apresentou maior acurácia para bezerros alimentados com sucedâneo de leite (Figura 3.2). Entretanto, nas condições do presente estudo, os valores do coeficiente de determinação (R^2) foram considerados baixos (Tabela 3.5 e Tabela 3.6).

Figura 3.1 - Grupo genético (A), sexo (B), dietas líquidas (C) e delineamento experimental (D) do banco de dados usado para avaliar os modelos do NRC (2001) e AMTS

Tabela 3.5 - Ganho de peso médio diário (GMD) predito pelo National Research Council - NRC (2001) e Agricultural Modeling and Training Systems - AMTS. Dados de 51 dietas para bezerros leiteiros em condições tropicais (16 estudos, 485 bezerros)

	GMD (kg/dia)	NRC (2001)		AMTS	
		Energia disponível para o ganho	PDA ¹ disponível para o ganho	Energia disponível para o ganho	PM ² disponível para o ganho
Média (período de aleitamento)	0,452	0,471	0,553	0,384	0,616
Média de viés (Y - X)	-	- 0,019	- 0,101	0,068	- 0,164
QMEP ³	-	0,017	0,018	0,020	0,038
<i>Decomposição do QMEP, %</i>					
Erro devido ao viés	-	2,089	56,678	22,403	69,539
Erro devido ao viés sistemático	-	28,696	3,985	15,858	11,962
Erro aleatório	-	69,216	39,337	61,739	18,498
CCC ⁴	-	0,358	0,507	0,271	0,400
Coeficiente de correlação de Person (r)	-	0,363	0,703	0,330	0,704
Acurácia do modelo (Cb)	-	0,986	0,721	0,821	0,569
Quadrado médio do erro		0,012	0,007	0,013	0,007
Coeficiente de determinação (R ²)	-	0,13	0,49	0,10	0,49
P (a = 0)	-	0,0001	0,59	0,00005	0,03
P (b = 1)	-	0,00004	0,03	0,0008	0,00001

¹Proteína digestível aparente. ²Proteína metabolizável. ³Quadrado médio do erro de predição. ⁴Coeficiente de correlação de concordância de acordo com Lin (1989).

Tabela 3.6 - Ganho de peso médio diário (GMD) predito pelo National Research Council (NRC, 2001) e Agricultural Modeling and Training Systems (AMTS). Dados de bezerros leiteiros alimentados somente com sucedâneo de leite ou leite
(contínua)

	GMD (kg/dia)	NRC (2001)		AMTS	
		Energia disponível para o ganho	PDA ¹ disponível para o ganho	Energia disponível para o ganho	PM ² disponível para o ganho
Sucedâneo de leite (n = 13)					
Média (período de aleitamento)	0,379	0,511	0,555	0,371	0,624
Média de viés (Y – X)	-	– 0,132	– 0,175	0,008	– 0,245
QMEP ³	-	0,030	0,040	0,009	0,073
<i>Decomposição do QMEP, %</i>					
Erro devido ao viés	-	56,788	76,271	0,685	81,514
Erro devido ao viés sistemático	-	17,810	9,455	17,253	11,843
Erro aleatório	-	25,401	14,274	82,062	6,644
CCC ⁴	-	0,211	0,264	0,403	0,228
Coeficiente de correlação de Person (r)	-	0,376	0,602	0,412	0,678
Acurácia do modelo (Cb)	-	0,562	0,438	0,979	0,336
Coeficiente de determinação (R ²)	-	0,14	0,36	0,16	0,45
P (a = 0)	-	0,12	0,32	0,14	0,17
P (b = 1)	-	0,01	0,020	0,15	0,001

¹Proteína digestível aparente. ²Proteína metabolizável. ³Quadrado médio do erro de predição. ⁴Coeficiente de correlação de concordância de acordo com Lin (1989).

Tabela 3.6 - Ganho de peso médio diário (GMD) predito pelo National Research Council (NRC, 2001) e Agricultural Modeling and Training Systems (AMTS). Dados de bezerros leiteiros alimentados somente com sucedâneo de leite ou leite
(conclusão)

		NRC (2001)		AMTS	
	GMD (kg/dia)	Energia disponível para o ganho	PDA ¹ disponível para o ganho	Energia disponível para o ganho	PM ² disponível para o ganho
Leite (n = 37)					
Média (período de aleitamento)	0,477	0,457	0,553	0,388	0,613
Média de viés (Y – X)	-	0,019	– 0,076	0,088	– 0,136
QMEP ³	-	0,013	0,010	0,024	0,026
<i>Decomposição do QMEP, %</i>					
Erro devido ao viés	-	2,747	54,768	31,940	69,474
Erro devido ao viés sistemático	-	22,094	1,675	17,663	12,098
Erro aleatório	-	75,158	43,557	50,397	18,428
CCC ⁴	-	0,498	0,659	0,230	0,514
Coeficiente de correlação de Person (r)	-	0,505	0,810	0,306	0,797
Acurácia do modelo (Cb)	-	0,986	0,813	0,751	0,644
Coeficiente de determinação (R ²)	-	0,25	0,65	0,09	0,63
P (a = 0)	-	0,001	0,89	0,00004	0,05
P (b = 1)	-	0,002	0,24	0,06	0,00002

¹Proteína digestível aparente. ²Proteína metabolizável. ³Quadrado médio do erro de predição. ⁴Coeficiente de correlação de concordância de acordo com Lin (1989).

Figura 3.2 - Ganho de peso médio diário (GMD, kg/dia) predito pelo National Research Council (NRC, 2001) e Agricultural Modeling and Training Systems (AMTS). Dados de bezerros leiteiros brasileiros alimentados somente com sucedâneo de leite.

3.4 Discussões

O principal objetivo do estudo foi desenvolver um banco de dados de desempenho e informações nutricionais de bezerros leiteiros em condições tropicais, e então avaliar os modelos propostos pelo NRC (2001) e AMTS para predizer o ganho de peso médio diário a partir da energia e proteína da dieta.

3.4.1 Banco de dados

No presente estudo, 73% dos bezerros foram alimentados com $3,8 \pm 0,6$ de leite integral por dia. Similarmente, Hotzel et al. (2014) descreveram que a maior parte dos bezerros foram alimentados com até 4 litros por dia de leite ou sucedâneo de leite, ou equivalente a 10 a 15% do peso vivo (PV). Este levantamento foi realizado em 242 propriedades familiares da região Sul do Brasil. Em recente revisão de literatura, Khan et al. (2011) descreveram que as convencionais práticas

de alimentação (4 litros de leite por dia, ou 0,5 kg de sólidos) podem resultar em bezerros não saciados pela insuficiente ingestão de alimentos, com efeito negativos sobre o crescimento, saúde, bem-estar e futura produção do leite.

O manejo adotado no Brasil pode representar uma limitação na disponibilidade de leite para os bezerros. Estudos apresentam que o aumento na quantidade de leite ou sucedâneo resultam em maior GMD (BROWN et al., 2005ab; HILL et al., 2006). Em geral, o valor biológico (VB) e digestibilidade das proteínas do leite são maiores que as proteínas do concentrado inicial (NRC, 2001). Consequentemente, o aumento da ingestão do concentrado inicial pode resultar em aporte de proteínas de baixo VB e digestibilidade das dietas (HILL et al., 2013).

Nos Estados Unidos, até o ano de 1950 a maioria dos bezerros foram alimentados com leite integral (OTTERBY; LINN, 1981). Atualmente, grande porcentagem de bezerros leiteiros são alimentados com sucedâneo de leite com diferentes fontes de proteína, tais como leite em pó desnatado, caseína e proteína concentrada de soro desidratado (NAHMS, 2007).

No entanto, o presente estudo apresentou que no Brasil a maior parte dos bezerros ainda foram alimentados com leite não comercializável. Dietas líquidas baseadas em leite são de alto custo, e frequentemente a qualidade do leite usado para os bezerros é baixa (alta contagem de células somáticas e contagem bacteriana, com presença de antibióticos), o que pode prejudicar a saúde e o crescimento dos bezerros.

Os bezerros alimentados com leite apresentaram maior GMD no período de aleitamento que bezerros alimentados com sucedâneo do leite (0,477 versus 0,379 kg/dia). A composição do sucedâneo de leite usado no Brasil pode ter influenciado neste resultado. Frequentemente, fontes de proteína vegetal são usadas na formulação de sucedâneos de leite para bezerros leiteiros. No entanto, deve ser considerado que proteína vegetal tem menor VB e digestibilidade que as proteínas do leite, portanto, pode reduzir a taxa de crescimento.

O GMD de bezerros leiteiros proveniente dos estudos brasileiros foram $0,45 \pm 0,12$ kg/dia com variação de 0,23 a 0,74 kg/dia. Soberon et al. (2012) descreveram taxas de crescimento com média de $0,82 \pm 0,18$ kg/dia, com variações entre 0,10 a 1,58 kg/dia para bezerras que receberam sucedâneos de leite com média de $2,81 \pm 0,61$ Mcal/dia acima da manutenção no rebanho de Cornell. As fazendas leiteiras comerciais americanas apresentaram médias de $0,66 \pm 0,11$ kg/dia, com uma

variação entre 0,32 a 1,27 kg/dia. Bateman et al. (2012) descreveram um GMD (0 ao 56 dias) de 0,615 kg/dia com variação de 0,129 a 1,161 kg/dia. Consequentemente, o GMD no período de aleitamento de bezerros leiteiros brasileiros foram de 27 a 32% menor que os descritos em fazendas leiteiras americanas.

O GMD dos bezerros pode ser influenciado pelo manejo do colostro, disponibilidade e qualidade do leite ou sucedâneo de leite e manejo dos bezerros nas fazendas. A heterogeneidade dos sucedâneos de leite disponíveis no Brasil deve ser levada em consideração, assim como a sua diluição na fazenda. Além disso, as diferenças genéticas podem ter sido muito importantes. O rebanho brasileiro de bovinos Holandês apresenta menor peso adulto, o qual pode estar associado ao menor potencial ganho de peso corporal.

Nos Estados Unidos, a seleção genética para aumento da produção de leite acabou resultando na seleção de animais de maior porte. A seleção genética para produção de leite no Brasil foi menor comparado com os Estados Unidos. Outro aspecto é que no Brasil, o rebanho é formado principalmente por vacas mestiças Holandês x Zebu, com significativo número de cruzamentos entre vacas Holandesas e Gir. Dentro das raças zebuínas, a raça Gir apresenta menor peso ao nascer (MADALENA; PEIXOTO; GIBSON, 2012).

O manejo é um aspecto relevante na determinação do desempenho animal. Na Ásia e outros países tropicais, o manejo inadequado de novilhas é o principal problema em várias fazendas leiteiras de pequeno porte (MORAN, 2011). Na região Sul do Brasil, 71% de 242 propriedades familiares de pequenos produtores, descreveram que a diarreia foi a principal causa de morte de bezerros (HOTZEL et al., 2014). Todos esses fatores podem ter contribuído para o GMD verificado no presente estudo.

Para os padrões de alimentação de bezerras encontrados no Brasil, a ingestão de concentrado inicial durante o período de aleitamento foi $0,518 \pm 0,201$ kg/dia, com variação de 0,180 a 0,960 kg/dia. Em padrões de alimentação de bezerras leiteiras norte americanos, Bateman et al. (2012) descreveram ingestão média de $0,894 \pm 0,242$ kg/dia, com variação de 0,134 a 1,59 kg/dia durante o período de aleitamento. Além disso, o estudo descreveu que o consumo de concentrado inicial tem grande efeito sobre o GMD durante os primeiros 56 dias de crescimento. No presente estudo, o menor consumo de concentrado inicial concorda com o baixo GMD de bezerros leiteiros brasileiros, alimentados com as quantidades

e composições de leite, sucedâneo e concentrado descritos na Tabela 3.2. A baixa ingestão de concentrado inicial pode ser explicada pelo baixo potencial de crescimento, assim como o manejo e problemas de saúde.

3.4.2 Energia disponível para o ganho

O NRC (2001) e AMTS usam a energia metabolizável (EM) como a respectiva energia. O NRC (2001) apresenta um capítulo para bezerros, o qual discute as exigências de nutrientes para cada fase. Estas exigências são baseadas em um banco de dados de vitelos Holandês alimentados com dietas de alta gordura, e para estes casos existe deposição de gordura extra por unidade de ganho de peso. Em geral, bezerros leiteiros tem baixa gordura e maior quantidade de proteína depositada por unidade de ganho de peso, comparado aos vitelos (VAN AMBURGH, 2015).

Van Amburgh e Drackley (2005) revisaram experimentos de deposição de tecidos a partir de bezerros Holandês alimentados com modernas fórmulas de sucedâneos de leite comparado ao NRC (2001), contendo proteínas do soro de leite. Este estudo resultou na atualização das equações do NRC (2001). Recentemente, as modificações sugeridas por Van Amburgh e Drackley (2005) foram incorporadas no submodelo de bezerros do AMTS, mas as avaliações do modelo ainda são limitadas.

O GMD de bezerros alimentados com sucedâneo de leite predito pela energia disponível para o ganho do AMTS apresentou o menor valor do QMEP e maior valor de C_b . Nas condições brasileiras, estas análises representam que o modelo proposto pelo AMTS apresentou maior acurácia comparado ao NRC (2001), para estimar o GMD de bezerros leiteiros alimentados com sucedâneo de leite. Entretanto, a precisão das predições foi baixa para ambos os modelos, ou seja, os modelos avaliados explicaram menos que 25% da variação em GMD predito pela energia e menos que 65% da variação do GMD quando foi predito pela proteína da dieta (Tabela 3.5 e Tabela 3.6).

O GMD predito pela energia da dieta foi mais acurado que preciso, porque a acurácia (C_b) apresentou maior valor comparado ao coeficiente de correlação (r). Neste estudo, o baixo número de bezerros alimentados com sucedâneo de leite pode ser considerado uma limitação da análise. Portanto, é sugerido futuras

avaliações com maior número de bezerros alimentados com modernas fórmulas de sucedâneo de leite disponíveis no Brasil.

Nos Estados Unidos, uma recente avaliação do submodelo de bezerros do NRC (2001) foi realizada usando 996 dados individuais de bezerros leiteiros. Hill et al. (2013) usaram o menor valor do GMD predito pela energia metabolizável (EM) ou proteína digestível aparente (PDA) e regrediu contra os valores observados de GMD. O estudo descreveu que o NRC (2001) não foi acurado em predizer o GMD quando foi usado um banco de dados proveniente de diferentes programas de alimentação, em manejo comercial. O R^2 foi baixo ($R^2 = 0,42$) e o modelo do NRC (2001) subestimou o GMD de bezerros com altas taxas de ganho (> 700 g/dia).

Vários fatores podem influenciar o GMD de bezerros leiteiros em condições tropicais. As elevadas temperaturas no verão comparadas ao outono e inverno podem reduzir a ingestão de alimentos e o GMD (MCKNIGHT, 1978). Os bezerros que sofrem com estresse por calor, podem reduzir o consumo de concentrado inicial e comprometer a saúde. No mesmo tempo, existe aumento nas exigências de manutenção. Outro aspecto, é que bezerros doentes podem usar a energia para o sistema imune, ao invés de usar para o crescimento (MARTIN et al., 2003).

De acordo com Hill et al. (2013), é difícil alcançar a acurácia das predições de ganho de peso de bezerros na fase de aleitamento, porque existem vários fatores que influenciam o GMD. O ganho pode responder as complexas mudanças na dieta, ao valor biológico dos nutrientes, aos coeficientes metabólicos para diferentes categorias de nutrientes, aos efeitos da ingestão de colostro sobre a saúde do animal, as mudanças fisiológicas do uso da glicose para a gliconeogênese, a temperatura ambiental e práticas de manejo que podem estressar os bezerros.

A baixa ingestão de concentrado inicial pode ter limitado a disponibilidade da energia para o ganho. Este baixo consumo, pode ser resultado de um baixo potencial de crescimento. É importante considerar que o banco de dados foi desenvolvido com 23% de bezerros mestiços Holandês x Zebu. Além disso, o desempenho de bezerros leiteiros no Brasil sugere que a energia da dieta, que poderia ter sido usada para o ganho pode ter sido usada por outros processos fisiológicos, tais como o combate de doenças (diarreia e pneumonia) e estresse por calor.

3.4.3 Proteína disponível para o ganho

Os ganhos preditos pela proteína digestível aparente (PDA, g/dia) do NRC (2001) e proteína metabolizável (PM, g/dia) do AMTS foram avaliados. O NRC (2001) adotou o método fatorial de Blaxter e Mitchell (1948) para estimar as exigências de proteína de bezerros com peso de até 100 kg e apresentou as exigências de proteínas para a manutenção e ganho.

O AMTS adotou um submodelo de exigências de bezerros leiteiros mecanicista que foi atualizado com as novas recomendações sugeridas por Van Amburgh e Drackley (2005). A nova recomendação sugere que a exigência de proteína é maior que a predita pelo NRC (2001), devido a uma diferença na eficiência de uso da proteína. O NRC (2001) sugeriu que a proteína absorvida foi usada com uma eficiência de 0,80. Entretanto, Van Amburgh e Drackley (2005) sugeriram que a eficiência é próxima de 0,70, consequentemente, as exigências são 10 a 12% maior que as atuais recomendações do NRC (2001).

Nas condições do presente estudo, a proteína dietética disponível para o ganho estimou um GMD maior que o observado em bezerros alimentados com leite, sucedâneo de leite ou ambos. Outro aspecto importante, foi que o ganho predito pela energia da dieta foi inferior ao ganho predito pela proteína da dieta, ou seja, a energia foi a primeira limitante do ganho comparado a proteína da dieta (Tabela 3.5 e 3.6).

A taxa de proteína bruta (PB) em função do nível de energia da dieta pode alterar a eficiência e a composição do ganho de peso (VAN AMBURGH; DRACKLEY, 2005). As exigências de proteína são função da energia disponível para o ganho e relações adequadas de PB/energia são importantes para maximizar o GMD do animal (HILL et al., 2009).

De acordo com o NRC (1996), a energia metabolizável (EM) é definida como a energia bruta (E) menos a energia fecal (EF), energia urinária (EU) e perda de energia por gases (EG). Hill et al. (2009), descreveram que bezerros alimentados com baixa EM (3,26 Mcal/dia ou 0,0656 Mcal/kg de peso ao dia) o GMD máximo obtido foi com 51,5 gramas de PB/Mcal de energia metabolizável. No entanto, bezerros com alta ingestão de EM (3,71 Mcal/dia ou 0,0743 Mcal/kg de peso diário) exigiram 55,0 g de PB/Mcal de EM para maximizar o GMD.

Neste estudo meta-analítico, as dietas para bezerros leiteiros apresentaram média de $57 \pm 7,2$ g PB/Mcal de EM, sendo considerado uma dieta de baixa EM (0,067 Mcal/kg de peso ao dia). Os dados apresentados na Tabela 3.6 reforçam as evidências de que a energia da dieta foi a primeira limitante para o ganho de peso de bezerras leiteiras na fase de aleitamento, comparado com a proteína da dieta. No Brasil, os dados sugerem a necessidade de aumentar o conteúdo de energia metabolizável da dieta, com a meta de suprir adequada relação de PB/energia de 51,5 g de PB/Mcal de energia metabolizável na dieta, segundo Hill et al. (2009).

3.5 Conclusões

O ganho de peso de bezerros leiteiros estimado pela energia disponível foi superestimado pelo NRC (2001) em 19 g/dia e subestimado pelo sistema do AMTS em 68 g/dia. Consequentemente, os ganhos de peso estimados pela energia disponível são maiores para o NRC em relação ao AMTS.

Quando os ganhos foram estimados pela proteína disponível nas dietas experimentais, tanto o AMTS quanto o NRC apresentaram grandes superestimativas dos ganhos de peso.

A proposta de Van Amburgh e Drackley (2005) parece ser mais acurada na predição do desempenho de bezerros leiteiros brasileiros consumindo sucedâneos.

Estas superestimativas do desempenho parecem ser função dos desempenhos observados no Brasil serem muito inferiores aos encontrados na literatura internacional. Para o conjunto dos experimentos conduzidos no Brasil avaliados neste estudo, o ganho de peso médio observado foi 32% inferior ao observado na literatura norte-americana. As razões para esta discrepância precisam ser compreendidas, pois somente assim novos modelos poderão ser desenvolvidos e parametrizados para estimar o desempenho animal de forma mais acurada e precisa.

Referências

AMTS (Agricultural Modeling and Training Systems). **AMTS CattlePro. Version 3.5.8** Cornell Research Foundation, Ithaca, NY; 2015.

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Energy and protein requirements of ruminants**: an advisory manual prepared by the AFRC technical committee on responses to nutrients. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.

BATEMAN, H.G.; HILL, T.M.; ALDRICH, J.M.; SCHLOTTERBECK, R. L.; FIRKINS, J. L. Meta-analysis of the impact of initial serum protein concentration and empirical prediction model for growth of neonatal Holstein calves through eight weeks of age. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.95, p. 363-369, 2012.

BIBBY, J.; TOUTENBURG, H. **Prediction and improved estimation in linear models**. London: Wiley, 1977. 125 p.

BLAXTER, K.L.; MITCHELL, H.H. The factorization of the protein requirements of ruminants and of the protein value of feeds, with particular reference to the significance of the metabolic fecal nitrogen. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 7, p. 351-372, 1948.

BROWN, E.G.; VANDEHAAR, M.J.; DANIELS, K.M.; LIESMAN, J.S; CHAPIN, L.T.; FORREST, J.W.; AKERS, R.M.; PEARSON, R.E.; NIELSEN, M.S.W. Effect of increasing energy and protein intake on mammary development in heifer calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, p. 595-603, 2005a.

BROWN, E.G.; VANDEHAAR, M.J.; DANIELS, K.M.; LIESMAN, J.S.; CHAPIN, LT; KEISLER, D.H.;NIELSEN, M.S.W. Effect of increasing energy and protein intake on body growth and carcass composition of heifer calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, p. 585-594, 2005b.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. **Feeding standards for Australian livestock**: ruminants. East Melbourne, 1990. 266p.

DAVIS, C.L.; CLARK, J.H. Ruminant digestion and metabolism. **Developments in Industrial Microbiology**, Washington, v.22, p. 247-259, 1981.

DAVIS, C.L.; DRACKLEY, J.K. **The development, nutrition and management of the young calf**. Iowa: Ames,1998. 339 p.

FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 61, p. 725-741, 1985.

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**, Champaign, v. 70, p. 3578-3596, 1992.

FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P.; RUSSELL, J.B.; VAN AMBURGH, M.E.; CHASE, L.E.; PELL, A.N.; OVERTON, T.R. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 112, p. 29-78, 2004.

FUENTES-PILA, J.; IBÁÑEZ, M.; DE MIGUEL, J.M.; BEEDE, D.K. Predicting Average Feed Intake of Lactating Holstein Cows Fed Totally Mixed Rations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. 309-323, 2003.

HILL, T.M.; BATEMAN, H.G.; ALDRICH, J.M.; SCHLOTTERBECK, R.L. Optimizing nutrient ratios in milk replacers for calves less than five weeks of age. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 3281-3291, 2009.

HILL, T.M.; ALDRICH, J.M.; SCHLOTTERBECK, R.L.; BATEMAN, H.G. Effects of feeding calves different rates and protein concentrations of twenty percent fat milk replacers on growth during the neonatal period. **The Professional Animal Scientist**, Champaign, v. 22, p. 252-260, 2006.

HILL, T.M.; BATEMAN, H.G.; QUIGLEY, J.D.; ALDRICH, J.M.; SCHLOTTERBECK, R.L.; HEINRICHS, A.J. Review: New information on the protein requirements and diet formulation for dairy calves and heifers since the Dairy NRC 2001. **The Professional Animal Scientist**, Champaign, v. 29, p. 199-207, 2013.

HÖTZEL M.J.; LONGO, C.; BALCÃO, L.F.; CARDOSO, C.S.; COSTA, J.H.C. A Survey of management practices that influence performance and welfare of dairy calves reared in Southern Brazil. **PLOS ONE**, San Francisco, v.9, p. 1-17, 2014.

INSTITUTE NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA). **Ruminant Nutrition**. Paris: John Libbey Eurotext, 1989. 389p.

KHAN, M.A.; WEARY, D.M.; VON KEYSERLINGK, M.A.G. Invited review: effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, p. 1071-1081, 2011.

LIN, L.I-K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, Washington, v. 45, p. 255-268, 1989.

MORAN, J.B. Factors affecting high mortality rates of dairy replacement calves and heifers in the tropics and strategies for their reduction. **Asian Australasian Journal of Animal Science**, Gwanak-gu, v. 24, p. 1318-1328, 2011.

MADALENA, F.E; PEIXOTO, M.G.C.D.; GIBSON, J. Dairy cattle genetics and its applications in Brazil. **Livestock Research for Rural Development**, Cali, v. 24, Article 97, 2012. Disponível em: <<http://www.lrrd.org/lrrd24/6/made24097.htm>>. Acesso em: 01 mar. 2015.

MARTIN, L.B.; SCHEUERLEIN, A.; WIKELSKI, M. Immune activity elevates energy expenditure of house sparrows: A link between direct and indirect costs. **Proceedings of the royal society B biological sciences**, London, v. 270, p. 153-158, 2003.

MCKNIGHT, D.R. Performance of newborn dairy calves in hutch housing. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 58, p. 517-520, 1978.

MES. **Model Evaluation System**. College Station, Texas. Disponível em < <http://nutritionmodels.com/purchase.html> > Acesso em: 01 jan. 2015.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. National Animal Health Monitoring Service, NAHMS. Dairy 2007. In: **Heifer calf health and management practices on U.S. dairy operations**. Washington, 2007. Disponível em: <http://www.aphis.usda.gov/animal_health/nahms/dairy/downloads/dairy07/Dairy07_i_r_CalfHealth.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2015.

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

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington: National Academy Press, 2001. 381p.

OLSEN, J. Meta-analysis or Collaborative Studies. **Journal of occupational & environmental medicine**, Philadelphia, v.37, p. 897-902, 1995.

OTTERBY, D.E; LINN, J.G. Advances in nutrition and management of calves and heifers. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 64, p. 1365-1377, 1981.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R Foundation for Statistical Computing. R: **A programming environment for data analysis and graphics**. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL. Disponível em: < <http://www.R-project.org> >. Acesso em: 01 fev. 2015.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide**: statistics; version 9.4. Cary, 2015.

SCIELO. **Scientific Electronic Library Online**. FAPESP, CNPq, BIREME, OPAS, OMS, FapUnifesp. São Paulo, Brasil. Disponível em: <<http://www.scielo.br>> Acesso em: 16 jun. 2014.

SYSTAT SOFTWARE. **Sigmaplot user's guide**: statistics; version 13.0. Chicago, 2015.

SOBERON, F.; RAFFRENATO, E; EVERETT, R.W.; VAN AMBURGH, M.E. Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, p. 783-793, 2012.

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 89, p. 225-247, 2006.

TYLUTKI, T.P.; FOX, D.G.; DURBAL, V.M.; TEDESCHI, L.O.; RUSSELL, J.B.; VANAMBURGH, M.E.; OVERTON, T.R.; CHASE, L.E.; PELL, A.N. Cornell Net Carbohydrate and Protein System: A model for precision feeding of dairy cattle. **Animal Feed Science and Technology**, New York, v. 143, p. 174-202, 2008.

VAN AMBURGH, M.; DRACKLEY, J. Current perspectives on the energy and protein requirements of the pre-weaned calf. In: Garnsworthy, P.C. (Ed.). **Calf and heifer**

rearing: principles of rearing the modern dairy heifer from calf to calving. Nottingham: University Press, 2005. p. 67-82.

VAN AMBURGH. **Early life management and long-term productivity of dairy calves.** 2014. Disponível em: <<http://dairy.ifas.ufl.edu/rns/2009/VanAmburgh.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2015.

VANDEN BERG, G.E. **Systematic procedures for planning research.** Beltsville: Agriculture reviews and manuals, 8. Northeastern Series, 1980.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento no número de pesquisas publicadas na literatura do Brasil permitiu o desenvolvimento deste estudo meta-analítico. As bases de dados desenvolvidas de vacas leiteiras mestiças e bezerras na fase de aleitamento permitiram uma caracterização do desempenho animal em âmbito nacional. O manejo, nutrição e potencial produtivo dos animais em condições tropicais foram caracterizados, o que auxiliou a identificar pontos a serem aprimorados para o desenvolvimento do sistema produtivo.

No primeiro estudo, a reestimação da equação do NRC (2001) apresentou indícios de diferenças no padrão de consumo de vacas leiteiras mestiças Holandês-Zebu, quando comparadas com vacas Holandesas. A equação desenvolvida é uma ferramenta acurada e precisa que pode ser usada para a adequação de dietas para vacas Holandês-Zebu em condições tropicais.

No segundo estudo, a caracterização do manejo e desempenho de bezerras leiteiras na fase de aleitamento mostrou um elo de oportunidades para futuros estudos na área, e ao mesmo tempo apresentou uma demanda de reparametrização e posterior avaliação de modelos nutricionais norte-americanos para uso no Brasil. Esta demanda de desenvolvimento de novos modelos de exigências e desempenho para bezerras leiteiras na fase de aleitamento pode ser resultado de diferentes genótipos, dietas, condições de manejo e clima que são encontrados no Brasil.

Na área de meta-análise, o estudo apresentou uma demanda de padronização das variáveis mínimas que um artigo deve apresentar para ser publicado. Um considerável número de artigos não foram utilizados no presente estudo meta-analítico por falta de informações metodológicas, e principalmente informações dos animais que são indispensáveis para estimar o consumo e exigências nutricionais. Consequentemente, recomenda-se o desenvolvimento de uma padronização nacional dos artigos, para uso em futuros estudos meta-analíticos.

Os estudos realizados na presente tese são de grande importância para o desenvolvimento da pecuária leiteira nacional, uma vez que apresentou novos caminhos na área de exigências nutricionais e manejo de bovinos leiteiros, que foram identificados a partir de diferentes estudos realizados em Universidades e Institutos de Pesquisas do Brasil.