

EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ZEBUÍNOS PUROS E CRUZADOS

BR-CORTE

3ª Edição - 2016

Editores

Sebastião de Campos Valadares Filho

Luiz Fernando Costa e Silva

Mateus Pies Gionbelli

Polyana Pizzi Rotta

Marcos Inácio Marcondes

Mario Luiz Chizzotti

Laura Franco Prados



Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados

BR-CORTE

3^a edição

Editores:

Sebastião de Campos Valadares Filho

Luiz Fernando Costa e Silva

Mateus Pies Gionbelli

Polyana Pizzi Rotta

Marcos Inácio Marcondes

Mario Luiz Chizzotti

Laura Franco Prados

2016

3ª edição

Exemplares deste livro podem ser adquiridos:

Livraria UFV on-line

www.editoraufv.com.br

Diagramação e montagem:

Edson Agostinho Pereira (31) 3899-2677

Capa e Arte:

Marcos Vinícius Carneiro Pacheco e Alexandre Antônio da Silva

Impressão e acabamento:

Suprema Gráfica Ltda (32) 3551-2546

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da
Biblioteca Central da UFV

B794 2016	BR - Corte : tabela brasileira de exigências nutricionais / Editores Sebastião de Campos Valadares Filho ... et al. - 3. ed. - Viçosa (MG) : UFV, DZO, 2016. xviii, 327 p. il. ; ISBN: 978-85-8179-110-4 DOI: http://dx.doi.org/10.5935/978-85-8179-111-1.2016B001 Inclui referências. 1. Bovino - Nutrição. 2. Nutrição animal. I. Valadares Filho, Sebastião de Campos. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Zootecnia. II. Títulos. CDD 22. ed. 636.085
--------------	---

Índice

Capítulo	Título	Pág.
01	Ajuste do peso corporal de bovinos para condições fisiológicas e de alimentação	01
	<i>Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho e Edenio Detmann</i>	
02	Regulação e predição de consumo de matéria seca	15
	<i>José Augusto Gomes Azevêdo, Sebastião de Campos Valadares Filho, Luiz Fernando Costa e Silva, Alana Batista dos Santos, Lígia Lins Souza, Polyana Pizzi Rotta, Luciana Navajas Rennó, Ivanor Nunes do Prado</i>	
03	Degradação ruminal da proteína dos alimentos e síntese de proteína microbiana	45
	<i>Stefanie Alvarenga Santos, Polyana Pizzi Rotta, Luiz Fernando Costa e Silva, Ana Clara Baião Menezes, Douglas dos Santos Pina, Sebastião de Campos Valadares Filho</i>	
04	Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos	89
	<i>Edenio Detmann, Tadeu Eder da Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Cláudia Batista Sampaio, Malber Nathan Nobre Palma</i>	
05	Predição da composição corporal e da carcaça de bovinos de corte	127
	<i>Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Polyana Pizzi Rotta, Marcos Inácio Marcondes, Fabiano Fonseca e Silva, Mário Fonseca Paulino, Mateus Pies Gionbelli, Mario Luiz Chizzotti</i>	
06	Respirometria e exigências nutricionais de zebuínos e cruzados de leite, em diferentes níveis de alimentação e estádios fisiológicos	151
	<i>Ana Luiza da Costa Cruz Borges, Ricardo Reis e Silva, Alexandre Lima Ferreira, Helena Ferreira Lage, Paolo Antônio Dutra Vivenza, Pedro Henrique Araújo de Carvalho, Marcelina Pereira da Fonseca, Lúcio Carlos Gonçalves, Norberto Mário Rodriguez</i>	
07	Exigências de energia para bovinos de corte	163
	<i>Marcos Inácio Marcondes, Alex Lopes da Silva, Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho</i>	
08	Exigências de proteína para bovinos de corte	191
	<i>Polyana Pizzi Rotta, Ana Clara Baião Menezes, Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Laura Franco Prados, Marcos Inácio Marcondes</i>	
09	Exigências de minerais para bovinos de corte	221
	<i>Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Polyana Pizzi Rotta, Marcos Inácio Marcondes, Diego Zanetti, Mateus Pies Gionbelli, Terry Eugene Engle, Mário Fonseca Paulino</i>	
10	Exigências nutricionais para vacas de corte vazias e gestantes	259
	<i>Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho, Marcio de Souza Duarte</i>	
11	Exigências nutricionais de vacas de corte lactantes e seus bezerros	283
	<i>Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Polyana Pizzi Rotta, Sidnei Antônio Lopes, Pedro Veiga Rodrigues Paulino, Mário Fonseca Paulino</i>	
12	Manejo ambiental e predição da excreção de nitrogênio e fósforo por bovinos de corte.....	311
	<i>Laura Franco Prados, Mario Luiz Chizzotti, Sebastião de Campos Valadares Filho, Fernanda Helena Martins Chizzotti, Polyana Pizzi Rotta e Luiz Fernando Costa e Silva</i>	

Biografia dos membros do comitê

Sebastião de Campos Valadares Filho

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (1977), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais (1981) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (1984). Em 1998, concluiu estágio de pós-doutorado no USDFRC, Madison- USA. Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Viçosa. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Nutrição e Alimentação Animal, atuando principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: avaliação de alimentos para ruminantes, exigências nutricionais de ruminantes com ênfase em zebuínos e desempenho de bovinos de corte. Foi chefe do departamento de Zootecnia no período de fevereiro de 1999 a fevereiro de 2003. Participou do Comitê Assessor do CNPq na área de Veterinária e Zootecnia no período de setembro de 2003 a agosto de 2006, sendo coordenador do CA em 2005-2006. Participou como membro da câmara de Zootecnia e Veterinária da FAPEMIG, de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2010, sendo Coordenador da câmara CVZ no ano de 2010. Foi coordenador do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFV de março de 2003 a janeiro de 2009. Foi chefe novamente do Departamento de Zootecnia de fevereiro de 2009 até março de 2013. Atualmente é coordenador do INCT de Ciência Animal aprovado em 2008, com vigência até 2016.

Ana Luiza da Costa Cruz Borges

Possui graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Minas Gerais (1992), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais (1995) e doutorado em Ciência Animal pela Universidade Federal de Minas Gerais (2000). Atualmente é professora Associada no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, onde ministra a disciplina de Nutrição Animal no curso de graduação em Medicina Veterinária, Nutrição de Ruminantes e Exigências Nutricionais de Ruminantes nos cursos de Mestrado e Doutorado em Zootecnia. Orienta alunos no Mestrado e no Doutorado em Zootecnia, atuando em pesquisa na área de nutrição de bovinos, particularmente em determinação de exigências nutricionais, respirometria, avaliação de forrageiras tropicais e resíduos agroindustriais, estudo dos alimentos, estudos da fermentação ruminal e partição da digestão.

Edenio Detmann

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (1997), mestrado (1999) e doutorado (2002) em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa. Entre 2012 e 2013, realizou estágio de pós-doutoramento no Department of Agricultural Research for Northern Sweden da Swedish University of Agricultural Sciences. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de Viçosa, pesquisador 1A do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFV, e assessor científico de diversas fundações de amparo à pesquisa e de periódicos nacionais e internacionais. Atuou como Editor Científico da Revista Brasileira de Zootecnia e como membro da Câmara de Veterinária e Zootecnia da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais. É pesquisador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal (INCT-CA), no qual coordena a rede nacional de pesquisa em avaliação de alimentos, responsável pela normatização das análises de alimentos para animais. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Avaliação de Alimentos para Animais, atuando principalmente nos seguintes temas: nutrição de bovinos em pastejo, modelagem matemática aplicada à nutrição de ruminantes, indicadores em estudos com ruminantes e análise de alimentos.

José Augusto Gomes Azevêdo

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (1994), especialização em Produção de Ruminantes pela Universidade Federal de Lavras (1997), mestrado, doutorado e pós-doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2001, 2009 e 2014). É bolsista em produtividade em pesquisa pelo CNPq. Atualmente é Professor Titular B e Vice-Diretor do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz; leciona a disciplina Nutrição Animal para os cursos de graduação em Agronomia e Medicina Veterinária e também, as disciplinas Nutrição de Ruminantes; Análise de Alimentos no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, nível de mestrado e doutorado e Tópicos Especiais em Nutrição de Ruminantes no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, nível de mestrado e doutorado; coordena o laboratório da UESC junto ao INCT em Ciência Animal, coordena o Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Alimentação de Ruminantes e coordena o Laboratório de Nutrição Animal. Foi Coordenador do Colegiado de Medicina Veterinária em 1999 e do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal de agosto de 2010 até agosto de 2011. Vem realizando trabalhos com software de formulação de ração com custo mínimo. É revisor de periódicos nacionais e internacionais e consultor ad hoc do CNPq. Orienta estudantes de IC, mestrado, doutorado e pós-doutorado. Tem recursos de projeto de pesquisa financiado pelo CNPq, FAPESB, CAPES e BNB. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em nutrição de ruminantes, atuando principalmente nos seguintes temas: uso de alimentos alternativos para ruminantes, exigências nutricionais, avaliação de alimentos, avaliação de carcaça e produção de cordeiros confinados.

Laura Franco Prados

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2010), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2012) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2016) com estágio sanduíche na University of Nebraska-Lincoln. Pós doutoranda pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) sob supervisão do professor Dr. Sebastião de Campos Valadares Filho. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Nutrição e Alimentação Animal e Exigências Nutricionais.

Luiz Fernando Costa e Silva

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2009), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2011) e doutorado na área de Produção e Nutrição de Ruminantes pela Universidade Federal de Viçosa (2015), realizando o doutorado sanduíche pela Colorado State University sob orientação do professor Dr. Terry Eugene Engle. Atualmente, é pós doutorando pela Universidade Federal de Viçosa sob supervisão dos professores Dr. Sebastião de Campos Valadares Filho e Dr. Edenio Detmann. Áreas de atuação: Produção de bovinos de corte; Exigências Nutricionais, com ênfase em Minerais, de bovinos de corte; Predição de curvas de lactação e de consumo para vacas e bezerras Nelore; Avaliação de alimentos para ruminantes; Predição da composição corporal de bovinos.

Marcos Inácio Marcondes

Possui graduação em Zootecnia (2005) e mestrado em Zootecnia (2007) pela Universidade Federal de Viçosa. cursou doutorado em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa e fez doutorado sanduíche na Texas A&M University-USA. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Avaliação de Alimentos para Animais e Exigências Nutricionais de Bovinos. Atualmente é professor de Bovinocultura de Leite na Universidade Federal de Viçosa.

Mário Luiz Chizzotti

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2002), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2004) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2007), com estágio sanduíche na Texas A&M University. Realizou pós-doutorado na Universidade Federal de Viçosa (2008). Foi Professor Adjunto da Universidade Federal de Lavras e Universidade Federal do Vale do São Francisco. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa, na área de Cadeia produtiva da Carne, Pele e Couros, com ênfase em Qualidade da Carne, Fisiologia do crescimento e Zootecnia de Precisão. É chefe do laboratório de ciência da carne (DZO/UFV), presidente da Comissão de Pesquisa do DZO UFV, coordenador da comissão de ética no uso de animais de produção em experimentação, membro do INCT Ciência Animal e Bolsista Produtividade do CNPq nível 1-D, atuando nas linhas de pesquisa de bioenergética e exigências nutricionais de ruminantes, qualidade de carne e zootecnia de precisão.

Mateus Pies Gionbelli

É Bacharel em Zootecnia (2008) pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Possui Mestrado (2010) e Doutorado (2013) em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Realizou parte das atividades do Doutorado no USDA\ARS\U.S. Meat Animal Research Center, em Clay Center, NE, USA. Entre 2013 e 2014 realizou Pós-Doutorado no Departamento de Zootecnia da UFV. Desde abril de 2014 é Professor Adjunto no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Desde junho de 2014 é docente permanente e desde julho de 2016 é Coordenador Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFLA (Conceito 5 CAPES). É líder do Grupo de Pesquisa em Nutrição Gestacional e Programação Fetal (DGP/CNPq). Tem experiência na área de Nutrição e Produção de Ruminantes, atuando principalmente nos seguintes temas: exigências nutricionais de bovinos, nutrição gestacional e programação fetal, suplementação estratégica de bovinos de corte em pastejo e crescimento e desenvolvimento animal.

Polyana Pizzi Rotta

Professora Adjunta de Produção e Nutrição em Bovinocultura de Leite da Universidade Federal de Viçosa. Realizou o Doutorado na Universidade Federal de Viçosa com período de treinamento na Colorado State University. Durante o doutorado trabalhou com técnicas para estimar a síntese de proteína microbiana e o efeito da dieta materna sobre o desenvolvimento fetal em bovinos de leite. Realizou o Mestrado na Universidade Federal de Viçosa, avaliando diferentes técnicas de amostragem e indicadores para estimar o fluxo ruminal em bovinos de corte e diferentes dietas para bovinos confinados. Graduiu-se em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá, atuando na qualidade da carne bovina e estratégias alimentares para bovinos confinados. Em 2009 recebeu o prêmio de Destaque Estudantil em Zootecnia pela ABZ e ZOOTECA. Atualmente trabalha com programação fetal, desenvolvimento da glândula mamária e exigências nutricionais em bovinos de leite, coordenadora do projeto de extensão agroecológico Família do Leite e é coordenadora da 1ª e 2ª fases do Programa de Desenvolvimento da Pecuária Leiteira - PDPL.

Stefanie Alvarenga Santos

Professor Adjunto da Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal da Bahia (UFBA) - Ondina, Salvador. Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da mesma Instituição. Experiência na área de Nutrição e Produção de Ruminantes. Concluiu Doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa no ano de 2011 com período Sanduíche na University of Delaware (EUA) e Pós-doutorado também na UFV em 2013. Consultora Ad hoc do Journal of Animal Science e Revista Brasileira de Zootecnia.

Sobre os autores

Alana Batista dos Santos

Bolsista de pós-doutorado em Desenvolvimento Científico Regional da FAPESB/CNPq no Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil.

E-mail: alanasantos10@hotmail.com

Alex Lopes da Silva

Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: alex.lopes@ufv.br

Alexandre Lima Ferreira

Bolsista de pós-doutorado do CNPq pela Universidade Federal de São Joao Del Rei/EMBRAPA Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, Brasil.

E-mail: axellfire@hotmail.com

Ana Clara Baião Menezes

Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: ana_clarabm1@hotmail.com

Ana Luiza da Costa Cruz Borges

Professora Associada no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

E-mail: analuizavetufmg@gmail.com

Cláudia Batista Sampaio

Professora Adjunta no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: claudiabsampaio@ufv.br

Diego Zanetti

Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: diego.zanetti@ufv.br

Douglas dos Santos Pina

Professor Adjunto da Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brasil.

E-mail: douglaspinaufba@gmail.com

Edenio Detmann

Professor Associado no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: detmann@ufv.br

Fabyano Fonseca e Silva

Professor Associado no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: fabyanofonseca@ufv.br

Fernanda Helena Martins Chizzotti

Professora Adjunta no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: fernanda.chizzotti@ufv.br

Helena Ferreira Lage

Médica Veterinária, Doutora em Zootecnia na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

E-mail: helenaf.lage@gmail.com

Ivanor Nunes do Prado

Professor Titular no Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, PR, Brasil.

E-mail: inprado@uem.br

José Augusto Gomes Azevêdo

Professor Titular no Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil.

E-mail: augustog@uesc.br

Laura Franco Prados

Bolsista de pós-doutorado do CNPq pela Universidade Federal Viçosa (UFV).

E-mail: laurafrancoprados@hotmail.com

Lígia Lins Souza

Bolsista de pós-doutorado da CAPES/PNPD pelo Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil.

E-mail: ligia_lins@yahoo.com.br

Luciana Navajas Rennó

Professora Adjunta no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: lnrenno@hotmail.com

Lúcio Carlos Gonçalves

Professor Titular no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

E-mail: luciocg@vet.ufmg.br

Luiz Fernando Costa e Silva

Bolsista pós-doutorado da CAPES pela Universidade Federal Viçosa (UFV).

E-mail: lfcostasilva@yahoo.com.br

Malber Nathan Nobre Palma

Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: malbernobre@yahoo.com.br

Marcelina Pereira da Fonseca

Zootecnista, Doutora em Zootecnia na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

E-mail: marcelinazootec@yahoo.com.br

Marcio de Souza Duarte

Professor Adjunto no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil

E-mail: marcio.duarte@ufv.br

Marcos Inácio Marcondes

Professor Adjunto no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil

E-mail: marcosinaciomarcondes@gmail.com

Mário Fonseca Paulino

Professor Titular no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil

E-mail: mpaulino@ufv.br

Mário Luiz Chizzotti

Professor Adjunto no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: mariochizzotti@ufv.br

Mateus Pies Gionbelli

Professor Adjunto no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brasil

E-mail: mateus.pg@dzo.ufla.br

Norberto Mário Rodriguez

Professor Emérito no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

E-mail: norberto@vet.ufmg.br

Paolo Antônio Dutra Vivenza

Médico Veterinário, Doutor em Zootecnia na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

E-mail: paolovivenza@hotmail.com

Pedro Henrique Araújo de Carvalho

Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

E-mail: pedrohacarvalho26@gmail.com

Pedro Veiga Rodrigues Paulino

Gerente Global de Tecnologia de Bovinos de Corte, Cargill / Nutron, Brasil

E-mail: Pedro_Veiga@cargill.com

Polyana Pizzi Rotta

Professora Adjunta no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: polyana.rotta@ufv.br

Ricardo Reis e Silva

Professor Adjunto no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

E-mail: ricreis1@hotmail.com

Sebastião de Campos Valadares Filho

Professor Titular no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil; Coordenador do INCT-Ciência Animal.

E-mail: scvfilho@ufv.br

Sidnei Antônio Lopes

Zootecnista, doutor em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: sidneyufv@hotmail.com

Stefanie Alvarenga Santos

Professora Adjunta da Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brasil.

E-mail: stefanie.alvarenga@ufba.br

Tadeu Eder da Silva

Estudante de Pós-Graduação em Zootecnia no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: tadeu.silva@ufv.br

Terry Eugene Engle

Professor no Animal Science Department da Colorado State University (CSU), Fort Collins, Colorado, Estados Unidos.

E-mail: terry.engle@colostate.edu

Prefácio

O Brasil é uma das últimas fronteiras de expansão agropecuária do mundo, e possui o maior rebanho comercial do mundo. Contudo nosso desafio é incrementar a produtividade do rebanho, uma vez que os índices produtivos nacionais são ainda relativamente baixos, apesar da melhora considerável ocorrida nos mesmos nos últimos anos. A utilização de novas tecnologias é essencial para melhorar a produtividade da bovinocultura de corte nacional. Uma das formas de aumentar a produtividade é aprimorar os sistemas de exigências nutricionais, utilizando dados gerados na nossa realidade, tornando a atividade mais eficiente.

Os experimentos conduzidos no Brasil, avaliando as exigências nutricionais de bovinos, ao contrário de outros países, são relativamente novos, pois iniciaram somente na década de 70, destacando-se os professores José Fernando Coelho da Silva e Celso Boin da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiróz (ESALQ), respectivamente, como pioneiros nessa área de pesquisa no Brasil. Posteriormente, outros professores/pesquisadores de outras Instituições iniciaram suas pesquisas nessa área. A primeira publicação no assunto foi feita no Simpósio Internacional sobre Exigências Nutricionais de Ruminantes, realizado no período de 24 a 26 de outubro de 1995 em Viçosa, Minas Gerais.

Em junho de 2006, durante a realização do V Simcorte, foi publicada a primeira versão das Tabelas de Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos, denominada BR-CORTE, usando somente dados de zebuínos e com pequeno número de informações individuais (187 observações).

A segunda edição do BR-CORTE foi publicada em junho de 2010, durante a realização do VII Simcorte, que incluiu animais provenientes de cruzamento de zebuínos com taurinos de corte, denominados cruzados de corte. Nessa versão, o banco de dados (752 observações individuais) cresceu bastante e pôde ser considerado razoável.

Posteriormente foi desenvolvido um software para formular dietas e calcular as exigências nutricionais, denominado BR-CORTE 1.0, que foi disponibilizado *on line* no site www.brcorte.com.br em junho de 2012. Esse software foi atualizado em 2014, incluindo a parte de predição de desempenho, recebendo a denominação de software BR-CORTE 2.0, também disponível no mesmo site.

A terceira edição das tabelas de Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR-CORTE, incluiu quatro novos capítulos, utilizando um novo e atualizado banco de dados para estimar as exigências nutricionais de bovinos, sendo o único sistema descrito especificamente para zebuínos. O comitê desta terceira edição foi composto por membros de diferentes universidades: UFV-MG, UFBA-BA, UFLA-MG, UFMG-MG e UESC-BA.

O Capítulo 1 é novo, sendo incluídas equações para estimar os diferentes pesos de bovinos, em diferentes condições fisiológicas. São apresentadas equações para estimar o peso corporal em jejum em função do peso corporal e do peso de corpo vazio em função do peso corporal em jejum, utilizando modelos alométricos.

O Capítulo 2 apresenta várias equações para estimar o consumo de matéria seca (CMS) de bovinos de corte, incluindo estimativa de consumo de animais denominados cruzados de leite, oriundos de zebuínos, principalmente da raça Gir, cruzados com animais de aptidão leiteira, principalmente da raça Holandesa. Além disso, apresenta equações para estimar o CMS de animais alimentados com diferentes teores de concentrado na dieta, e também de animais criados a pasto recebendo suplementação.

O Capítulo 3 apresenta diferentes técnicas para medir a proteína degradada no rúmen dos alimentos, incluindo equações para estimar a contaminação microbiana nos resíduos da incubação ruminal de alimentos volumosos e concentrados. Além disso, são apresentadas novas equações para estimar a produção de proteína microbiana, que leva em consideração os consumos de proteína bruta e de NDT das dietas.

O Capítulo 4 apresenta novas equações para estimar o valor energético dos alimentos, em termos de NDT, energia digestível e energia metabolizável, a partir de sua composição química. Nesse capítulo são incluídas equações para estimar as taxas de digestão e de passagem da fibra insolúvel em detergente neutro potencialmente digestível.

No Capítulo 5 é discutida a predição da composição da carcaça e do corpo vazio dos animais, apresentando algumas equações publicadas na edição do BR-CORTE em 2010, que foram reajustadas, sendo recomendadas novas equações para estimar a composição corporal de animais cruzados de leite. Uma nova parte incluída nesse capítulo, discute formas para estimar a composição dos componentes não carcaça. Além disso, são apresentadas algumas técnicas alternativas para estimativa da composição corporal.

O Capítulo 6 é novo e avalia o uso da técnica calorimétrica para estimar a energia líquida dos alimentos e a eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para manutenção, ganho de peso, gestação e lactação. Além disso, apresenta uma equação para estimar a concentração de EM a partir da concentração de energia digestível da dieta. Também são apresentadas equações para estimar a produção de metano.

O Capítulo 7 apresenta atualizações das exigências nutricionais de energia para manutenção e ganho de peso de zebuínos puros ou cruzados de corte e de leite de diferentes classes sexuais. Nesse capítulo são discutidas as exigências para animais terminados em confinamento ou a pasto e também foram estimados os pesos à

maturidade de zebuínos puros e cruzados de diferentes classes sexuais, o que possibilitou usar uma única equação para estimar as exigências de energia líquida para ganho de peso de animais de diferentes classes sexuais e cruzamentos.

O Capítulo 8 apresenta as equações atualizadas para estimar as exigências de proteína metabolizável para manutenção e ganho de peso de bovinos de diferentes cruzamentos e classes sexuais. Destaca-se que as exigências totais de proteína preditas pelo BR-CORTE em 2010 foram consideradas superestimadas quando foram testadas em uma meta-análise. Ao final do capítulo, são apresentados resultados de dois experimentos conduzidos recentemente que compararam o desempenho de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes teores de proteína bruta.

O Capítulo 9 apresenta as exigências dietéticas de minerais. Destaca-se, nesse capítulo, que as exigências de macrominerais foram todas reavaliadas, sendo incluída as exigências de enxofre. Na avaliação de microminerais, o BR-CORTE estimou as exigências líquidas e os coeficientes de retenção verdadeiros de vários microminerais. Ressalta-se que essa publicação apresenta várias informações pouco disponíveis na literatura internacional sobre exigências de microminerais.

O capítulo 10 é novo, sendo nesse apresentadas as exigências de energia e proteína metabolizável para vacas zebuínas adultas para manutenção e gestação. São apresentadas a eficiência de utilização da energia metabolizável para gestação. Além disso, deve-se ressaltar que as exigências de gestação são escassas em todos os sistemas de exigências nutricionais e principalmente para zebuínos.

No Capítulo 11 estão apresentadas as exigências de energia, de proteína metabolizável e de minerais para vacas Nelore lactantes e bezerros lactentes. Nesse capítulo, também foram incluídas equações para estimar o consumo de matéria seca de vacas e bezerros e uma equação foi obtida para estimar a produção de leite de vacas zebuínas.

O Capítulo 12 é novo e discute sobre o manejo ambiental. Esse assunto tem sido muito debatido ultimamente. Inicialmente foram testadas equações descritas na literatura para estimar as excreções de compostos nitrogenados (N) e de fósforo (P). Como essas equações não estimaram adequadamente essas excreções, foram obtidas equações para estimar as excreções de N e P no meio ambiente para as condições tropicais.

Esperamos que este livro ajude produtores e pesquisadores envolvidos na área de gado de corte.

Agradecimentos

Aos órgãos financiadores dessa linha de pesquisa que colaboraram para a realização desse projeto: CNPq, FAPEMIG, CAPES, FINEP e INCT de ciência animal, apresentamos nossos profundos agradecimentos.

Aos professores, pesquisadores e principalmente a todos os estudantes de pós-graduação, bolsistas de iniciação científica e estagiários que contribuíram com o desenvolvimento das pesquisas e geração dos dados presentes nessa publicação, agradecemos.

Às universidades que cederam os arquivos dos experimentos para composição do banco de dados do BR-CORTE, especialmente à Unesp de Jaboticabal e de Dracena, à UEM de Maringá e ao Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG.

Ao bolsista de PDJ, Luiz Fernando Costa e Silva, pela grande contribuição para essa publicação, destacando que, sem sua contribuição, possivelmente parte desse trabalho não teria sido concluído. Gostaria ainda de agradecer a ex-bolsista de PDJ e atual professora do DZO-UFV, Polyana Pizzi Rotta, pela grande contribuição na fase inicial desse trabalho, e à bolsista de PDJ, Laura Franco Prados, pela enorme contribuição na fase final desse trabalho.

A todos os membros do comitê e todos os co-autores dos capítulos que gentilmente dedicaram seu tempo e sabedoria a este projeto.

Às empresas patrocinadoras do workshop para divulgação desta terceira edição: CRMV, Trouw nutrition, BR-NOVA, Exagro, Timac agro, Phibro, Rehagro e Intergado.

Aos estudantes que colaboraram na organização do workshop.

Agradecemos ao Dr. Renato Filgueiras proprietário da MAP – Fazenda Canivete, Felixlândia-MG, pelo fornecimento dos animais Nelore, Angus × Nelore e Simental × Nelore, que constituem a base do banco de dados do BR-CORTE e ao professor Mário Fonseca Paulino pelo fornecimento dos animais Zebuínos super precoces.

Ajuste do peso corporal de bovinos para condições fisiológicas e de alimentação

Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho e Edenio Detmann

O resultado da pesagem de um bovino não representa o real peso de seu corpo. Cerca de 10 a 20% do peso corporal de um bovino na balança é conteúdo do trato gastrointestinal. Essa proporção pode variar dependendo do animal estar alimentado ou em jejum. A relação entre o peso de balança e o peso corporal real de um bovino pode variar também em função da idade. Em fêmeas, essas relações sofrem ainda variação do estágio fisiológico (vazia, lactante, gestante). Para medir crescimento e desempenho ou estimar os requerimentos nutricionais de bovinos, faz-se necessário conhecer com exatidão o peso real de seus constituintes. Esse capítulo descreve modelos matemáticos gerados a partir de experimentos feitos para estimar com a máxima exatidão possível o peso corporal de um bovino em função do estado alimentar e condições fisiológicas.

INTRODUÇÃO

O sistema BR-CORTE e todos os demais sistemas de alimentação de bovinos produzidos no mundo (NRC, ARC, AFRC, CSIRO, INRA, etc.) são frutos de extensa e arduosa pesquisa. Nessas situações, a pesagem dos animais é realizada de maneira rigorosa e precisa, em que as variações de peso são normalmente aferidas por pesagem após um período de jejum ou por meio da pesagem dos constituintes corporais após o abate.

Objetiva-se, por intermédio da pesagem após jejum, ter uma medida mais próxima do real peso corporal do animal (peso de corpo vazio). A pesagem após jejum melhora a exatidão experimental, pois há redução da proporção do peso aferido que é resultado de enchimento (conteúdo do trato gastrointestinal). Variações no conteúdo do trato

gastrointestinal (TGI) são consideradas as maiores fontes de erro em mensurações de ganho de peso em ruminantes (Lofgreen et al., 1962).

As estimativas de exigências nutricionais do BR-CORTE são obtidas em sua maioria por meio de meta-análises de experimentos de abate comparativo. Nesses casos, tem-se a real pesagem do animal, uma vez que imediatamente após o abate, o TGI é lavado e pesado vazio, juntando-se às demais porções do corpo do animal para formar a exata medida da massa de um animal, o peso de corpo vazio (PCVZ). Por representar com exatidão a massa animal, o PCVZ é usado como base para cálculo da maioria das exigências nutricionais no BR-CORTE e também em outros sistemas de alimentação. No entanto, nos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil, raramente procede-se a pesagem dos animais em jejum. São necessários, portanto, meios para estimar acuradamente o peso em jejum e o peso de corpo vazio dos animais em função do seu peso corporal alimentado.

Variações nas relações entre peso alimentado, em jejum e vazio podem ser afetadas por classe sexual, grupo genético e peso do animal. Pouca atenção tem sido dada a essas relações e aos fatores que atuam sobre elas nas edições anteriores dos sistemas de alimentação em uso no mundo.

Esse capítulo foi elaborado buscando estabelecer as relações de pesagens em bovinos de corte, bem como as definições de pesagem, para que a partir da medida obtida no campo, se possa acessar corretamente a medida necessária para estimarem-se as exigências nutricionais do animal.

DEFINIÇÕES DE PESAGEM NA PESQUISA E NA PRÁTICA

Embora no cotidiano refere-se ao peso de um animal, na realidade está sendo considerada sua massa. Massa e peso são grandezas diferentes, sendo a massa uma grandeza inercial e o peso uma grandeza vetorial. Massa é a quantidade de matéria presente em um corpo e medida numa balança, que, no Sistema Internacional de Unidades (SI), tem sua unidade representada em quilogramas (kg). Peso é o resultado da multiplicação entre a massa de um corpo e a aceleração da gravidade local, que depende da atração que um corpo exerce sobre o outro, que é dada pela aceleração da gravidade, cuja unidade padrão no SI é o Newton (N). No entanto, na superfície da Terra, a força gravitacional é constante e por isso as relações entre massa e peso que são usadas não variam. Dessa forma, embora referir-se ao peso de um animal, quando na verdade se está considerando a massa, apesar de ser um erro conceitual, não altera a utilização prática do conceito de massa. Portanto, quando há referência a um animal com peso de 300 kg, considera-se, na verdade, uma massa de 300 kg, ou um peso real de 300 quilogramas força ou, aproximadamente 3000 newtons.

A medida mais simples utilizada para se referir à massa de um animal, é resultado da pesagem com o animal em condições normais de alimentação, realizada a qualquer hora do dia. Tal medida é normalmente referenciada como peso vivo (PV) ou peso corporal (PC), embora não existam diferenças práticas entre as duas. Adota-se nesse sistema o termo PC. Essa medida representa o peso do animal em estado alimentado (peso alimentado), também chamado de “peso cheio”. Embora, no campo, não exista um horário determinado para tomada dessa medida, em condições de pesquisa, de forma a estabelecer uma padronização clara e buscando a menor variabilidade possível, realiza-se a pesagem do animal sempre pela manhã, no início do dia, entre 05:00 e 07:00 horas.

Apesar de o PC ser a medida de pesagem mais utilizada na prática, em pesquisa priorizam-se pesagens em jejum para reduzir o efeito de enchimento e melhorar a

exatidão das mensurações. Pesar os animais após um período definido de jejum de sólidos reduz a porcentagem da medida tomada que representa enchimento do TGI. Encontram-se na literatura referências a pesagens realizadas após jejum variando de 12 a 16 horas. Em todos os trabalhos que compõem a base do Sistema BR-CORTE, as pesagens em jejum são realizadas após 16 horas de jejum de alimentos sólidos, cuja mensuração recebe o nome de peso corporal em jejum (PCJ), por vezes também referido como peso vivo em jejum (PVJ). Em experimentos que visam comparar o ganho de peso obtido por animais submetidos a diferentes tratamentos, o PCJ tem sido considerado a medida mais adequada a ser tomada no início e final do experimento, a partir da qual calcula-se o ganho médio diário em jejum (GMDJ) como sendo a diferença entre a pesagem final e inicial em jejum, dividida pelo número de dias em avaliação. No entanto, tal medida sempre foi chamada de ganho médio diário (GMD), mesmo quando tomada a partir de diferenças entre pesagens em jejum. Diferentemente do GMDJ, o GMD representa, em teoria, o ganho médio diário calculado com base na diferença de peso entre duas pesagens sem jejum (PC). Embora sejam teoricamente diferentes, não têm sido expressas diferenças entre as duas medidas (GMDJ e GMD). Na prática, as diferenças são desprezíveis (0,56%, tomando como base o banco de dados do sistema BR-CORTE), tornando não problemático o uso do GMD tomado a partir de diferentes pesagens de animais em jejum ou alimentados. No entanto, há que se ressaltar que a medida de GMD deve ser obtida a partir da diferença entre duas pesagens ao mesmo estado alimentar. Ou seja, se a pesagem inicial for tomada em jejum, a pesagem final também deve ser realizada em jejum.

Apesar de o PCJ representar melhor a massa de um animal do que o PC, há ainda considerável fração de conteúdo do TGI embutido na medida de PCJ. A medida acurada da massa corporal só pode ser obtida pesando-se o animal totalmente livre de conteúdo do TGI. Como é impossível realizar tal mensuração com animais vivos, o valor de peso de corpo vazio (PCVZ) só é obtido após abate do animal, quando o TGI é lavado e seu

peso somado aos demais constituintes corporais. É a partir do PCVZ que se calcula a maioria dos valores de exigências nutricionais de bovinos, em função de o PCVZ representar a real massa corporal do animal. O acúmulo real de peso corporal obtido após determinado período de avaliação, dividido pelo número de dias em avaliação, é chamado de ganho diário de peso de corpo vazio (GPCVZ).

As estimativas de exigências nutricionais de energia adotadas pelos sistemas de alimentação de bovinos são expressas em unidades de tamanho metabólico (UTM). O tamanho metabólico é um conceito que foi criado para comparar as taxas metabólicas de animais em diferentes tamanhos corporais (Kleiber, 1932, 1947, Brody, 1945, Kleiber, 1965, White e Seymour, 2005). Tal conceito é baseado na observação que a área de superfície de dois corpos de forma e densidade similares, mas de massas diferentes, é proporcional a $\frac{3}{4}$ de seus pesos. Consequentemente, as taxas metabólicas desses diferentes corpos são proporcionais aos seus pesos elevados à potência 0,75 ($PC^{0,75}$), valor esse obtido a partir da comparação da produção de calor em jejum de animais adultos de diferentes espécies (Brody, 1945). No sistema BR-CORTE, o conceito de UTM é usado para expressar as exigências de energia para manutenção, em que o gasto necessário para manutenção é expresso em unidades de peso de corpo vazio metabólico ($PCVZ^{0,75}$).

Outra relação de peso utilizada pelo sistema BR-CORTE é o peso equivalente ou peso de corpo vazio equivalente (PCVZeq). O PCVZeq é uma medida que toma como base o

peso estimado à maturidade dos animais. O peso à maturidade representa o peso no qual o crescimento de massa muscular praticamente cessa, havendo a partir de então crescimento significativo somente por acúmulo de reservas energéticas, podendo também ser obtido a partir de um determinado teor de gordura no corpo. O PCVZeq é, portanto, uma relação utilizada para descrever animais de diferentes classes sexuais ou grupos genéticos na mesma escala de proporção do peso à maturidade. É utilizado para tornar mais simples a expressão das exigências de energia para crescimento, visto que animais de diferentes classes sexuais ou grupos genéticos atingem a maturidade em diferentes PCVZ.

Um resumo das siglas, definições práticas e teóricas das diferentes formas de expressar massa animal utilizadas no sistema BR-CORTE é apresentado na Tabela 1.1. A maneira sugerida para estimar as relações entre as unidades apresentadas na Tabela 1.1 é descrita nos itens posteriores.

BANCO DE DADOS PARA AJUSTES DE PESO

Um banco de dados contendo informações de 40 experimentos realizados no Brasil entre 1991 e 2016 foi utilizado para estabelecer as relações de pesagens (PC até PCVZ e GMD para GPCVZ) para animais em crescimento e terminação do sistema BR-CORTE (Tabela 1.2). Um histograma da distribuição de frequências da variável PCJ é apresentado na Figura 1.1.

Tabela 1.1 - Definições de pesagem usadas no sistema BR-CORTE e sua relação com as definições normalmente encontradas na prática

Sigla adotada no BR-CORTE	Sigla em inglês	Siglas comuns na prática	Definições encontradas	Definição real	Como obter
PC	BW	PV ou PC	Peso vivo, peso corporal, peso alimentado	Massa animal tendo alimento e água permanentemente disponíveis (kg)	Pesar o animal sem jejum de sólidos ou líquidos, entre 05:00 e 07:00 horas
PCJ	SBW	PCJ, PVJ, PJ	Peso vivo em jejum, peso corporal em jejum, peso em jejum	Massa animal aferida após 16 horas de jejum de sólidos (kg)	Pesar o animal pela manhã, após 16 horas de jejum de sólidos
PCVZ	EBW	PCVZ	Peso de corpo vazio	Massa animal livre de conteúdo do trato gastrointestinal ou massa real dos constituintes corporais do animal (kg)	Imediatamente após o abate, lavar o trato gastrointestinal e pesá-lo vazio. Somar o peso do trato gastrointestinal vazio aos demais constituintes corporais (couro, sangue, carcaça, vísceras, cabeça, membros, etc...)
PCVZ ^{0,75}	EBW ^{0,75}	PCM ou UTM	Peso de corpo vazio metabólico, unidade de tamanho metabólico	Massa animal livre de conteúdo do trato gastrointestinal elevada à potência 0,75 ou massa metabólica vazia (kg)	Elevar o PCVZ à potência 0,75
PCVZeq	EQEBW	PCVZeq	Peso de corpo vazio equivalente	Massa animal livre de conteúdo do trato gastrointestinal proporcionalizada ao peso à maturidade de um animal referência	Dividir o PCVZ pelo peso à maturidade do respectivo classe sexual/grupo genético e multiplicar pelo peso referência

RELAÇÕES DE PESAGENS

Após avaliação da aderência à distribuição normal, o primeiro passo para o estabelecimento das relações de pesagem a serem utilizadas no sistema BR-CORTE foi a avaliação do ajuste de modelos que melhor descrevem estatisticamente e biologicamente tais relações. Na edição anterior do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2010) relações

lineares entre PCVZ e PCJ e entre o GPCVZ e o GMDJ haviam sido estabelecidas e apresentadas no capítulo de exigências de energia (Marcondes et al., 2010). A relação entre PC e PCJ não foi estimada no BR-CORTE em 2010 e sugeriu-se a adoção da relação fixa ($PCJ = PC \times 0,96$) usada pelo NRC (2000).

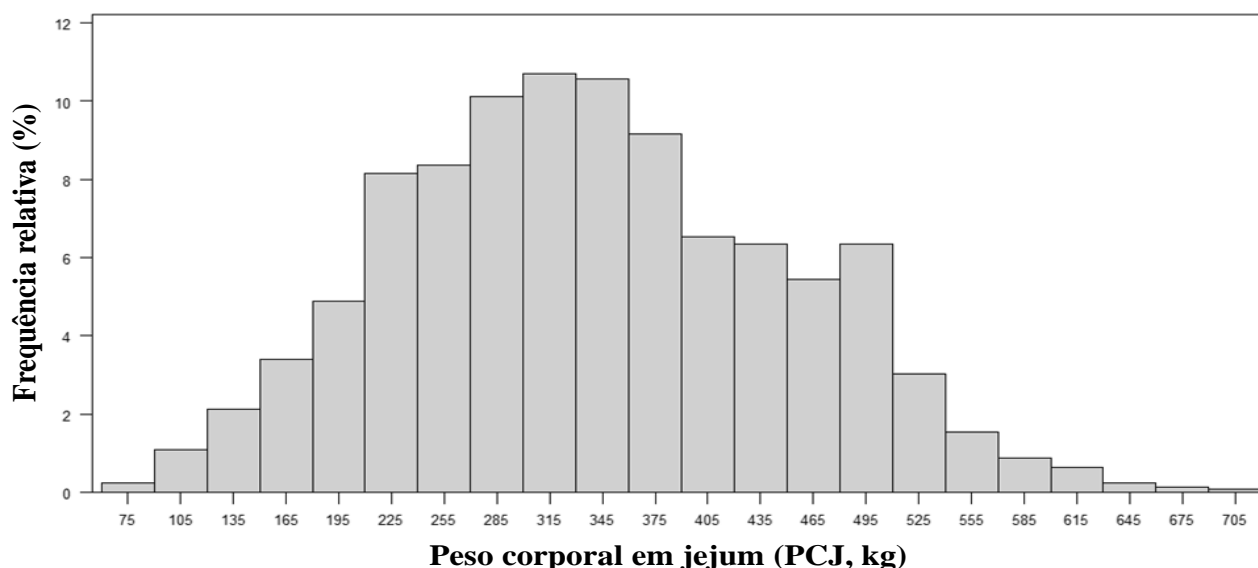


Figura 1.1 - Histograma da distribuição de frequências da variável PCJ.

Tabela 1.2 - Descrição do banco de dados utilizado para estabelecer as relações de pesagem do sistema BR-CORTE

Item	Variável								
	PC (kg)	PCJ (kg)	PCVZ (kg)	GMD (kg/dia)	GMDJ (kg/dia)	GPCVZ (kg/dia)	PCJ/PC	PCVZ/PCJ	GPCVZ/GMDJ
N	409	2855	1514	129	1020	1020	409	1514	953
Menor	81	74	63	-0,24	-0,54	-0,55	0,90	0,76	0,71
Média	381	340	290	0,77	0,91	0,88	0,98	0,88	0,96
Mediana	388	333	285	0,89	0,94	0,90	0,98	0,88	0,96
Maior	710	701	600	1,61	2,66	2,74	1,01	0,97	0,98
Desvio padrão	144	111	93	0,44	0,52	0,52	0,02	0,04	0,21
Coefficiente de variação (%)	38	33	32	58	57	59	2	5	22

O uso de relações de pesagem lineares implica sugerir que as proporções de peso perdido ao jejum no PC e de conteúdo do trato gastrointestinal no PCJ são constantes e não variam com o aumento de peso dos animais. Existem, no entanto, evidências de que tais relações não são lineares (Gionbelli et al., 2015). Em função disso, procedeu-se à avaliação do ajuste de duas estruturas de modelos matemáticos (linear e não linear) às relações entre pesos, considerando-se o exposto na Tabela 1.3. A comparação das estruturas de modelo apresentadas na Tabela 1.3 foi realizada por meio do Critério de Informação de Akaike – AIC (Akaike, 1974). Para todas as relações avaliadas, o uso de modelo não linear, apesar de possuir maior número de parâmetros, apresentou menor valor de AIC, indicando melhor ajuste. Uma análise da relação entre valores preditos e

observados foi realizada por intermédio de ajustamento de regressão linear simples (valores preditos = X, valores observados = Y) para avaliação da qualidade/falta de ajustamento dos modelos não lineares às três relações. Neste caso, a hipótese de que $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$ foi aceita ($P \geq 0,89$). A probabilidade de melhor ajuste do modelo não linear em relação ao linear foi estimada por meio do cálculo de razão da evidência da diferença absoluta entre os valores de AIC estimados para o ajuste das duas estruturas de modelos (Motulsky e Christopoulos, 2003). O resultado da razão de evidência (ou probabilidade relativa) do AIC favorável ao modelo não linear é apresentado também na Tabela 1.3 e pode ser interpretado como a probabilidade de que o modelo não linear apresenta melhor ajuste do que o modelo linear.

Além de melhor ajuste estatístico, a aplicação de modelos não lineares às relações de pesos apresentadas na Tabela 1.3 também é mais adequada do ponto de vista biológico, pois considera que as proporções de peso e de taxa de ganho variam conforme o animal varia de peso. Para a relação entre o PCVZ e o PCJ, por

exemplo, sugere-se que a proporção do PCJ que é representada por enchimento do TGI reduz com o aumento do tamanho do animal. A partir de então, foram testados os efeitos de sistema de alimentação (pasto × confinamento), classe sexual e grupo genético sobre as relações de peso, conforme descrito nos itens a seguir.

Tabela 1.3 - Relações de pesagens, estruturas de modelos avaliadas para descrever as relações de pesagem e valor de razão da evidência do Critério de Informação de Akaike favorável ao uso do modelo não linear

Relação	Modelo linear	Modelo não linear	Razão de evidência do AIC favorável ao modelo não linear
$PCJ = f(PC)$	$PCJ = a \times PC$	$PCJ = a \times PC^b$	89%
$PCVZ = f(PCJ)$	$PCVZ = a \times PCJ$	$PCVZ = a \times PCJ^b$	80%
$GPCVZ = f(GMDJ)$	$GPCVZ = a \times GMDJ$	$GPCVZ = a \times GMDJ^b$	100%

Estimando peso corporal em jejum (PCJ) a partir do peso corporal (PC)

Apesar do entendimento de que a pesagem após jejum de sólidos de 12 a 16 horas apresenta menor valor do que a pesagem do animal alimentado, a necessidade do estabelecimento de uma relação entre PCJ e PC para zebuínos e seus cruzados só foi observada nos últimos anos. Apesar de a diferença entre PC e PCJ não ser maior do que 5%, é extremamente importante considerá-la, pois representa a primeira conexão entre mensurações obtidas em experimentos (PCJ) e mensurações realizadas no dia a dia dos sistemas produtivos (PC).

A partir de 2010, iniciou-se o processo para coleta de dados de PC e PCJ dos mesmos animais em grande parte dos experimentos realizados para compor o banco de dados do BR-CORTE. Tal mensuração requer, no entanto, pesagens em dias diferentes. Dessa maneira, procedeu-se pesagem dos animais em estado alimentado em um dia (PC), e retirada da alimentação sólida 16 horas antes de nova pesagem realizada exatamente no mesmo horário do dia posterior (PCJ). Dessa maneira, foram obtidas 409 medidas de PC e PCJ para os mesmos animais, com intervalo de um dia. O valor de um dia de GMD obtido no período de avaliação no qual tais medidas foram tomadas foi descontado do valor de PCJ para o correto estabelecimento da relação, visto que tais

medidas haviam sido tomadas com um dia de diferença.

Uma vez que a tomada de medidas da relação entre PCJ e PC iniciou recentemente, estavam disponíveis no momento da redação desse capítulo apenas dados de animais dos grupos genéticos Zebuínos e Cruzados de Leite, de animais em regime de confinamento. O número de experimentos realizados com animais de diferentes classes sexuais também foi insuficiente para avaliação do efeito de classe sexual na meta-análise realizada. Portanto, considerou-se apenas o teste da possível diferença entre animais Zebuínos e Cruzados de Leite, independente da classe sexual, mantidos em confinamento.

Modelos não lineares para estimar o PCJ em função do PC foram ajustados aos dados de animais Zebuínos e Cruzados de leite por meio do procedimento NLMIXED do SAS, considerando efeito de medidas repetidas no tempo, quando as mensurações de PC e PCJ foram tomadas no mesmo animal mais de uma vez. Uma razão *F* foi calculada para testar se a estimativa de parâmetros específicos para cada grupo genético melhorava significativamente o ajuste dos dados em relação ao uso de parâmetros únicos para ambos os grupos genéticos. O valor *P* para a distribuição *F* aplicado à razão calculada mostrou haver ganho estatístico para o ajuste de parâmetros diferentes para animais Zebu e Cruzados de Leite em

relação ao uso de parâmetros únicos ($P=0,007$). Procedeu-se então teste dos efeitos de grupo genético sobre cada um dos parâmetros do modelo não linear por meio da função ESTIMATE do procedimento NLIN do SAS. Foram observadas diferenças entre Zebuínos e Cruzados de Leite para os parâmetros a ($P<0,003$) e b ($P<0,004$). Foram geradas, então, duas equações com parâmetros independentes para Zebuínos e Cruzados de Leite, sendo:

$$\text{Zebuínos: } PCJ = 0,8800 \times PC^{1,0175} \quad \text{Eq. 1.1}$$

$$\text{Cruzados de Leite: } PCJ = 0,9664 \times PC^{1,0017} \quad \text{Eq. 1.2}$$

em que PCJ = peso corporal em jejum e PC = peso corporal.

Um exemplo do uso das equações acima para estimar o PCJ de animais de diferentes grupos genéticos a partir de diferentes valores de PC é apresentado na Tabela 1.4. Percebe-se que para animais Zebuínos, a perda proporcional de peso em função de jejum de sólidos de 16 horas é maior quanto menor o tamanho do animal, sendo próxima àquela atribuída pelo NRC (2000) apenas em animais leves (com pesos aproximados de 150 kg). Embora sejam dados de animais em crescimento e terminação, o comportamento da variação da relação em função do aumento de peso é semelhante ao observado para vacas zebuínas adultas (Gionbelli et al., 2015). Em Cruzados de Leite, a relação média entre PCJ e PC é praticamente linear e levemente maior do que a atribuída pelo NRC (2000).

Tabela 1.4 - Exemplo de aplicação da Eq. 1.1 e Eq. 1.2 para estimar o peso corporal em jejum a partir do peso corporal

PC (kg)	PCJ (kg)		PCJ/PC		Diferença de peso (kg)		Redução no PC (%)	
	Zebu	Cruz. Leite	Zebu	Cruz. Leite	Zebu	Cruz. Leite	Zebu	Cruz. Leite
150	144	146	0,961	0,975	5,9	3,8	3,9	2,5
300	292	293	0,972	0,976	8,3	7,3	2,8	2,4
450	441	439	0,979	0,976	9,3	10,6	2,1	2,4
600	591	586	0,984	0,977	9,5	13,8	1,6	2,3

Para Cruzados de Corte, embora não tenha sido possível estabelecer a relação com base em dados reais, sugere-se o uso da Eq. 1.2 (Cruzados de Leite), uma vez que as relações entre PC e enchimento do TGI desses animais são mais semelhantes a mestiços leiteiros do que a zebuínos (Lana et al., 1992). Considera-se também ser mais apropriado o uso da Eq. 1.2 do que a relação fixa adotada pelo NRC (2000) (0,96) por ter sido desenvolvida a partir de dados de animais criados em condições brasileiras.

Para animais criados a pasto, embora as equações aqui propostas tenham sido geradas a partir de dados de animais em confinamento, considera-se mais prudente realizar a conversão de PC para PCJ usando a Eq. 1.1 (os experimentos com animais em pastejo que compõem o BR-CORTE foram realizados em sua maioria com animais Nelore) do que não realizar ou usar a relação fixa de 0,96. A estimativa do PCVZ de animais a pasto é obtida a partir de dados de PCJ de experimentos realizados em

pastejo, onde os animais foram fechados em curral com jejum de sólidos antes da mensuração de PCJ, realizada sempre pela manhã.

Estimando peso de corpo vazio (PCVZ) a partir do peso corporal em jejum (PCJ)

O banco de dados do sistema BR-CORTE para estabelecer para as diversas classes de todos os efeitos fixos testados (sistema de alimentação, classe sexual e grupo genético).

Dados de animais criados a pasto foram contrastados então com dados de animais dos mesmos grupos genéticos (Zebu e Cruzados de Leite) e classes sexuais (machos castrados e não castrados) criados em confinamento por intermédio de meta-análise considerando-se apenas o efeito fixo do sistema de alimentação e os efeitos aleatórios de classe sexual, grupo genético e experimento (o número de experimentos com variação de classe sexual e grupo genético não permitiu realizar comparações para ajustes de parâmetros para

estes efeitos). Observou-se efeito do sistema de alimentação para ambos os parâmetros do modelo não linear ($P < 0,01$). Foi ajustada então uma equação não linear para estabelecer a relação entre PCVZ e PCJ de animais em pastejo, sendo: a relação entre PCVZ e PCJ contém elevado número de informações ($n=1514$, Tabela 1.2). Tal fato permitiu o teste dos efeitos de sistema de alimentação, classe sexual e grupo genético sobre os parâmetros do modelo linear ajustado à relação. O teste da razão F evidenciou haver ganho estatístico ($P < 0,04$) para o ajuste de modelos separados

$$PCVZ = 0,8507 \times PCJ^{1,0002} \quad \text{Eq. 1.3}$$

em que PCVZ = peso de corpo vazio e PCJ = peso corporal em jejum.

Observa-se pela Eq. 1.3 que a relação entre PCVZ e PCJ é praticamente linear em animais criados em pastejo. Embora tenha havido aumento do número de experimentos, a relação também é bastante próxima daquela proposta na edição anterior do BR-CORTE ($PCVZ = 0,863 \times PCJ$).

No caso de animais em confinamento, observou-se efeito significativo da interação entre classe sexual e grupo genético sobre os parâmetros do modelo não linear ($P < 0,003$). No entanto, não foram observadas diferenças entre Cruzados de Leite e Cruzados de Corte para os parâmetros a ($P > 0,70$) e b ($P > 0,63$). Em função disso, foram ajustadas equações independentes considerando as diferenças entre machos não castrados, machos castrados e fêmeas, e entre animais Zebuínos e seus cruzados (Leite ou Corte), conforme segue:

Machos não castrados	Zebuínos	$PCVZ = 0,8126 \times PCJ^{1,0134}$	Eq. 1.4
	Cruzados	$PCVZ = 0,7248 \times PCJ^{1,0314}$	Eq. 1.5

Machos castrados	Zebuínos	$PCVZ = 0,6241 \times PCJ^{1,0608}$	Eq. 1.6
	Cruzados	$PCVZ = 0,6586 \times PCJ^{1,0499}$	Eq. 1.7

Fêmeas	Zebuínos	$PCVZ = 0,6110 \times PCJ^{1,0667}$	Eq. 1.8
	Cruzados	$PCVZ = 0,6314 \times PCJ^{1,0602}$	Eq. 1.9

em que PCVZ = peso de corpo vazio e PCJ = peso corporal em jejum.

Na edição anterior do BR-CORTE, uma única relação linear havia sido proposta para estabelecer a relação entre PCVZ e PCJ de animais em confinamento ($PCVZ = 0,895 \times PCJ$). Considerando as estimativas da Eq. 1.4 a Eq. 1.9, e animais de 150 a 600 kg de PCJ, observa-se que a relação entre PCVZ e PCJ em Zebuínos e seus cruzamentos em confinamento varia de 84,6 a 93,6%, com média de 89,7% (0,897), valor esse semelhante ao adotado para animais em confinamento na edição anterior do BR-CORTE. Embora sugira que a relação entre PCVZ e PCJ possa variar de 85 a 95%, o NRC

(2000) sugere o uso de uma relação fixa de 0,891. No entanto, o uso de múltiplas equações com efeitos de classe sexual e grupo genético para estimar o PCVZ, conforme proposto nessa edição, melhora a exatidão e a precisão das estimativas de PCVZ. Um exemplo de aplicação da Eq. 1.3 (pastejo) e Eq. 1.4 (confinamento) para estimar o PCVZ de machos não castrados zebuínos, em pastejo ou confinamento, é apresentado na Tabela 1.5.

Uma exemplificação da variabilidade nas relações entre PCVZ e PCJ obtidas a partir das Eq. 1.4 a Eq. 1.9 é apresentada na Tabela 1.6.

Tabela 1.5 - Exemplo de aplicação da Eq. 1.3 e Eq. 1.4 para estimar o peso de corpo vazio a partir do peso corporal em jejum de machos não castrados zebuínos em pastejo e em confinamento

PC (kg)	PCJ (kg)	Pasto		Confinamento	
		PCVZ (kg)	PCVZ/PCJ	PCVZ (kg)	PCVZ/PCJ
150	144	123	0,852	125	0,869
300	292	248	0,852	256	0,877
450	441	375	0,852	389	0,882
600	591	503	0,852	523	0,885

Tabela 1.6 - Relação entre o peso de corpo vazio e o peso corporal em jejum (PCVZ/PCJ) de Zebuínos e seus cruzamentos, em confinamento, em diferentes pesos, estimada a partir das Eq. 1.4 a Eq. 1.9

PCJ (kg)	Machos não castrados		Machos castrados		Fêmeas	
	Zebu	Cruzados	Zebu	Cruzados	Zebu	Cruzados
150	0,869	0,848	0,846	0,846	0,853	0,854
300	0,877	0,867	0,883	0,875	0,894	0,890
450	0,882	0,878	0,905	0,893	0,918	0,912
600	0,885	0,886	0,921	0,906	0,936	0,928

Estimando ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) a partir do ganho médio diário (GMD)

Inicialmente, uma avaliação da relação entre o GMDJ (mensurado a partir de duas pesagens em jejum) e o GMD (mensurado a partir de duas pesagens em estado alimentado) mostrou que o intercepto e o coeficiente de inclinação da regressão não diferem de 0 e 1 ($P > 0,14$ e $P > 0,39$, respectivamente). Portanto, sendo as diferenças entre GMDJ e GMD não significativas, o uso de medida única, referenciada unicamente como GMD, pode ser adotada. Ou seja, embora sejam teoricamente diferentes, na prática GMDJ e GMD não diferem.

Não foram observados ganhos estatísticos em relação ao ajuste de um modelo único quando modelos com parâmetros variáveis foram ajustados em função de sistemas de alimentação ($P > 0,16$), classe sexual ($P > 0,24$) ou grupo genético ($P > 0,11$). Ajustou-se, portanto, uma única equação não linear para descrever a relação entre GPCVZ e GMD, conforme segue:

$$GPCVZ = 0,9630 \times GMD^{1,0151} \quad \text{Eq. 1.10}$$

em que GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio e GMD = ganho médio diário ou ganho médio diário em jejum.

Um exemplo de aplicação da Eq. 1.10 é apresentado na Tabela 1.7. Observa-se uma relação entre GPCVZ e GMD variando de 0,943 a 0,971, quando considerados ganhos variando de 0,25 a 1,75 kg/dia. Na edição anterior do BR-CORTE sugeriu-se o uso de uma relação fixa entre GPCVZ e GMD de 0,955 para animais em pastejo e 0,936 e 0,966 para zebuínos de corte e seus cruzamentos, respectivamente, em confinamento. O NRC (2000) utiliza relação fixa de 0,951. Os dados exemplificados na Tabela 1.7 mostram que as estimativas propostas a partir da Eq. 1.10 encontram-se de acordo com os dados da literatura. Há, no entanto, ganho em precisão e acurácia com o uso de uma relação variável entre GPCVZ e GMD, obtida a partir de modelo não linear, conforme proposto para esta edição do BR-CORTE.

Tabela 1.7 - Relação entre o ganho de peso de corpo vazio e o ganho médio diário (GPCVZ/GMD) com base na aplicação da Eq. 1.10

GMD (kg/dia)	GPCVZ (kg/dia)	GPCVZ/GMD	Redução do GMD (%)
0,25	0,24	0,943	5,7
0,50	0,48	0,953	4,7
0,75	0,72	0,959	4,1
1,00	0,96	0,963	3,7
1,25	1,21	0,966	3,4
1,50	1,45	0,969	3,1
1,75	1,70	0,971	2,9

AJUSTES DE PESO PARA VACAS ADULTAS EM FUNÇÃO DO ESTADO ALIMENTAR E DO ESTÁGIO FISIOLÓGICO

As relações de pesagem apresentadas até então são aplicáveis a animais em crescimento e terminação, em condição de homeostase fisiológica. Ou seja, são aplicáveis a animais saudáveis, em fase de crescimento positivo (consumo acima da manutenção), que ainda não atingiram a maturidade fisiológica. No caso de fêmeas que já atingiram a maturidade fisiológica, o ajuste de peso em função do estado alimentar e também fisiológico (gestação ou não) foi descrito por Gionbelli et al. (2015), utilizando vacas Nelore multíparas. O trabalho de Gionbelli et al. (2015) é tomado como base para os ajustes de peso propostos para vacas adultas nessa edição do BR-CORTE, sendo as informações descritas nesse item retiradas do referido trabalho.

Para ajuste de peso de vacas gestantes, Gionbelli et al. (2015) sugeriram o conceito de componente gestação (GEST), que é representado por:

$$\text{GEST} = (\text{UT}_{\text{gest}} - \text{UT}_{\text{ng}}) + (\text{UB}_{\text{gest}} - \text{UB}_{\text{ng}})$$

Eq. 1.11

em que GEST = componente gestação, UT_{gest} = peso do útero grávido, UT_{ng} = peso estimado do útero não grávido, UB_{gest} = peso do úbere da vaca gestante e UB_{ng} = peso estimado do úbere para a vaca em condição não gestante. Ou seja, o valor de GEST compreende o acréscimo de peso no útero ocorrido em função da gestação (útero grávido menos útero não grávido) mais o acréscimo de peso no úbere ocorrido em função da gestação (úbere da vaca em condição de

gestação menos o úbere da vaca em condição não gestante).

O uso do valor de GEST permite estimar o peso de uma vaca gestante que é função da gestação e o peso que é função de tecidos maternos. Ou seja, separa-se, portanto, o “peso gestante” de uma vaca do seu “peso vazio”, independente do estágio de gestação. Em geral, a gestação (referenciada por GEST) passa a ser considerada matematicamente como um componente extra da vaca. Isso permite, por exemplo, calcular o ganho de peso de uma vaca ao longo de um período que foi relativo ao aumento de tecidos maternos e do ganho de peso relativo à gestação. Portanto, criam-se os conceitos de peso gestante (PC_{gest} , PCJ_{gest} e $\text{PCVZ}_{\text{gest}}$) e peso não gestante (PC_{ng} , PCJ_{ng} e PCVZ_{ng}), cujas relações são simplesmente descritas por:

$$\text{PC}_{\text{gest}} = \text{PC}_{\text{ng}} + \text{GEST}$$

$$\text{PCJ}_{\text{gest}} = \text{PCJ}_{\text{ng}} + \text{GEST}$$

$$\text{PCVZ}_{\text{gest}} = \text{PCVZ}_{\text{ng}} + \text{GEST}$$

Os pesos ajustados para condição gestante e não gestante são também a base para os cálculos de exigências nutricionais para vacas adultas para manutenção e gestação, descritos no Capítulo 10.

As equações usadas para estimação dos pesos dos animais alimentados, em jejum ou de corpo vazio, para vacas vazias e gestantes são descritas na Tabela 1.8. A descrição detalhada das siglas usadas nas equações apresentadas na Tabela 1.8 é apresentada na Tabela 1.9. Uma vez que as estimativas das relações de peso de vacas gestantes requerem o uso de várias equações (Tabela 1.8), Gionbelli et al. (2015) prepararam

uma planilha em Excel para facilitar os cálculos. Tal planilha pode ser baixada diretamente a partir do site da revista onde o trabalho foi publicado (trabalho com acesso aberto), através do link:

<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0112111>.

Tabela 1.8 - Equações usadas para ajustar peso de vacas zebuínas gestantes e não gestantes

Variável a ser estimada	Variáveis preditoras	Relação	Equação
Vacas não gestantes			
PCJng	PCng	$PCJng = 0,8084 \times PCng^{1,0303}$	Eq. 1.12
PCVZng	PCJng	$PCVZng = 0,8424 \times PCJng^{1,0122}$	Eq. 1.13
Vacas gestantes			
PCJgest	PCgest	$PCJng = 0,8084 \times PCng^{1,0303}$	Eq. 1.12
PCng	PCgest e GEST	$PCng = PCgest - GEST$	Eq. 1.14
PCJng	PCJgest e GEST	$PCJng = PCJgest - GEST$	Eq. 1.15
GEST	Se $TG \leq 240$: UTfg	Se $TG \leq 240$: $GEST = UT_{fg}$	Eq. 1.16
	Se $TG > 240$: UTfg e UBfg	Se $TG > 240$: $GEST = UT_{fg} + UB_{fg}$	
UTfg	UTg e UTng	$UTfg = UTgest - UTng$	Eq. 1.17
UTgest	TG ou TG e ECC	$UTgest = 0,008010 \times BEZ \times ECC^{0,3225} \times \exp^{((0,02544 - 0,0000286 \times TG) \times TG)}$	Eq. 1.18
		$UTgest = 0,007521 \times BEZ \times \exp^{((0,03119 - 0,00004117 \times TG) \times TG)}$	Eq. 1.19
UTng	PCJgest e UTgest	Se $TG \leq 240$: $UTng = 0,0012 \times (PCJgest - UTgest + 0,6)$	Eq. 1.20
		Se $TG > 240$: $UTng = 0,0012 \times (PCJgest - UTgest + 0,6 - 2)$	
UBng	UTfg, PCJgest e ECC	Se $TG \leq 240$: $UBng = (PCJgest - UTfg) \times 0,00589 \times ECC^{0,2043}$	Eq. 1.21
		Se $TG > 240$: $UBng = (PCJgest - UTfg - 2) \times 0,00589 \times ECC^{0,2043}$	
UBfg	UBng e TG	Se $TG \leq 240$: $UBfg = 0$	Eq. 1.22
		Se $TG > 240$: $UBfg = UBng \times \exp^{((TG - 238) \times 0,0109)} - UBng$	
PCVZgest	PCVZng e GEST	$PCVZgest = PCVZng + GEST$	Eq. 1.23
PCVZng	PCJng	$PCVZng = 0,8424 \times PCJng^{1,0122}$	Eq. 1.13

Tabela 1.9 - Lista de siglas (ordenada alfabeticamente) usadas nas equações apresentadas na Tabela 1.8 e suas definições

Sigla	Definição
ECC	Escore de condição corporal (escala de 1 a 9). Quando não estiver disponível, usar ECC=5
GEST	Componente gestação (kg)
BEZ	Peso estimado do bezerro ao nascer (kg). Sugere-se usar o peso médio de bezerros do rebanho para o qual as estimativas estiverem sendo realizadas
PCVZgest	Peso de corpo vazio gestante (kg)
PCVZng	Peso de corpo vazio não gestante (kg)
PCgest	Peso corporal gestante (kg)
PCng	Peso corporal não gestante (kg)
PCJgest	Peso corporal em jejum gestante (kg)
PCJng	Peso corporal em jejum não gestante (kg)
TG	Tempo de gestação (dias)
UBfg	Peso do úbere que aumentou em função da gestação (kg)
UBng	Peso do úbere para condição não gestante (kg)
UTfg	Peso do útero que aumentou em função da gestação (kg)
UTgest	Peso do útero grávido (kg)
UTng	Peso do útero para condição não gestante (kg)

Para exemplificar a aplicação das equações e relações apresentadas na Tabela 1.8 (Gionbelli et al., 2015), tomou-se como base uma vaca Nelore, com 450 kg de PC (peso obtido a campo, sem jejum), ECC = 4,5 e com 5 meses de gestação (TG = 150 dias). Supondo que a mesma vaca tenha sido pesada novamente 4 meses depois, quando foram obtidos os seguintes dados: PC = 520 kg, ECC

= 5 e TG = 270. Considera-se ainda que o peso médio ao nascimento dos bezerros de tal rebanho seja de 35 kg (BEZ = 35 kg). Com as equações e relações apresentadas na Tabela 1.8 pode-se estimar o peso em jejum, peso de corpo vazio e peso de constituintes maternos e também de componentes da gestação, nas duas pesagens realizadas, conforme segue:

Primeira pesagem	Segunda pesagem (4 meses depois)
PC = 450 kg / ECC = 4,5 / TG = 150 dias / BEZ = 35 kg	PC = 520 kg / ECC = 5 / TG = 270 dias / BEZ = 35 kg
PCJgest = 0,8084 × PCgest ^{1,0303} (Eq. 1.12) PCJgest = 0,8084 × 450 ^{1,0303} = 437,76 kg	PCJgest = 0,8084 × PCgest ^{1,0303} (Eq. 1.12) PCJgest = 0,8084 × 520 ^{1,0303} = 508,07 kg
UTgest = 0,00801 × BEZ × ECC ^{0,3225} × exp ^{((0,02544 - 0,0000286 × TG) × TG)} (Eq. 1.18) UTgest = 0,00801 × 35 × 4,5 ^{0,3225} × exp ^{((0,02544 - 0,0000286 × 150) × 150)} = 10,87 kg	UTgest = 0,00801 × BEZ × ECC ^{0,3225} × exp ^{((0,02544 - 0,0000286 × TG) × TG)} (Eq. 1.18) UTgest = 0,00801 × 35 × 1,68 × exp ^{((0,02544 - 0,0000286 × 270) × 270)} = 56,33 kg
UTng = 0,0012 × (PCJgest - UTgest + 0,6) (Eq. 1.20) UTng = 0,0012 × (437,76 - 10,87 + 0,6) = 0,51 kg	UTng = 0,0012 × (PCJgest - UTgest + 0,6 - 2) (Eq. 1.20) UTng = 0,0012 × (508,07 - 56,33 + 0,6 - 2) = 0,54 kg
UTfg = UTg - UTng (Eq. 1.17) UTfg = 10,87 - 0,51 = 10,36 kg	UTfg = UTgest - UTng (Eq. 1.17) UTfg = 56,33 - 0,54 = 55,79 kg
UBng = (PCJg - UTfg) × 0,00589 × ECC ^{0,2043} (Eq. 1.21) UBng = (437,76 - 10,36) × 0,00589 × 4,5 ^{0,2043} = 3,42 kg	UBng = (PCJgest - UTfg) × 0,00589 × ECC ^{0,2043} (Eq. 1.21) UBng = (508,07 - 55,79) × 0,00589 × 5 ^{0,2043} = 3,68 kg
UBfg = 0 kg (Eq. 1.22)	UBfg = UBng × exp ^{((TG-238) × 0,0109)} - UBng (Eq. 1.22) UBfg = 3,68 × exp ^{((270-238)×0,0109)} - 3,68 = 1,54 kg
GEST = UTfg (Eq. 1.16) GEST = 10,36 kg	GEST = UTfg + UBfg (Eq. 1.16) GEST = 55,79 + 1,54 = 57,33 kg
PCJng = PCJgest - GEST (Eq. 1.15) PCJng = 437,76 - 10,36 = 427,40 kg	PCJng = PCJgest - GEST (Eq. 1.15) PCJng = 508,07 - 57,33 = 450,75 kg
PCVZng = 0,8424 × PCJng ^{1,0122} (Eq. 1.13) PCVZng = 0,8424 × 427,40 ^{1,0122} = 387,66 kg	PCVZng = 0,8424 × PCJng ^{1,0122} (Eq. 1.13) PCVZng = 0,8424 × 450,75 ^{1,0122} = 409,10 kg
PCVZgest = PCVZng + GEST (Eq. 1.23) PCVZgest = 387,66 + 10,36 = 398,01 kg	PCVZgest = PCVZng + GEST (Eq. 1.23) PCVZgest = 409,10 + 57,33 = 466,42 kg
Interpretação: Ao longo de 120 dias a vaca ganhou 70 kg de peso (520 - 450). Nesse período, no entanto, a vaca aumentou 46,97 kg de peso relativo à gestação (57,33 - 10,36). Isso corresponde a um ganho médio diário de 0,39 kg relativo à gestação. O ganho de peso vazio relativo a tecidos maternos no período foi de apenas 21,44 kg (409,10 - 387,66), que corresponde a um ganho médio diário de 0,18 kg relativo à deposição de tecidos maternos. Ou seja, do ganho de peso de corpo vazio total que a vaca teve no período (68,41 kg), 68,7% foi relativo à gestação e 31,3% relativo à deposição de tecidos maternos.	

REFERÊNCIAS

- Akaike, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE T Automat Contr*, AC-19:716-723, 1974.
- Brody, S. *Bioenergetics and growth*. NY: Reinhold, 1964. 1007 p.
- Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Chizzotti, M. L.; Rodrigues, F. C.; Zanetti, D.; Gionbelli, T. R. S.; Machado, M. G. Achieving Body Weight Adjustments for Feeding Status and Pregnant or Non-Pregnant Condition in Beef Cows. *PLoS One*, 9:e115724, 2015.

- Kleiber, M. Body size and metabolism. *Hilgardia*, 6:315-353, 1932.
- Kleiber, M. Body size and metabolic rate. *Physiological Reviews*, 27:511-541, 1947.
- Kleiber, M. Metabolic body size. In: Proceedings of Energy Metabolism, 3, 11.1965, Troon, Scotland. *Proceedings...* Troon, Scotland: Academic Press, 427-435, 1965.
- Lana, R. P.; Fontes, C. A. A.; Peron, A. J.; Silva, D. J.; Paulino, M. F.; Queiróz, A. C. Gastrointestinal tract fill and its relationship with body weight and weight gain, in bovines of seven breed groups. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 21:510-517, 1992.
- Lofgreen, G. P.; Hull, J. L.; Otagaki, K. K. Estimation of the empty body weight of beef cattle. *Journal of Animal Science*, v.21, p.20, 1962.
- Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Valadares Filho, S. C.; Gionbelli, M. P.; Paulino, P. V. R.; Paulino, M. F. Energy requirements of Zebu beef cattle. In: Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P.V.R. (Ed). *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle*. 2.ed. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 81-106, 2010.
- Motulsky, H.; Christopoulos, A. *Fitting Models to Biological Data using Linear and Nonlinear Regression*. San Diego, CA, USA: GraphPad Software Inc., 351 p. 2003.
- National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Updated 7th. ed. Washington, DC, USA: National Academy Press, 242 p. 2000.
- Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle - BR-CORTE*. 2.ed. Visconde do Rio Branco, MG, Brazil: Suprema Gráfica e Editora, 185 p. 2010.
- White, C. R.; Seymour, R. S. Review - Allometric scaling of mammalian metabolism. *The Journal of Experimental Biology*, 208:1611-1619, 2005.

Regulação e predição de consumo de matéria seca

José Augusto Gomes Azevêdo, Sebastião de Campos Valadares Filho, Luiz Fernando Costa e Silva, Alana Batista dos Santos, Lígia Lins Souza, Polyana Pizzi Rotta, Luciana Navajas Rennó, Ivanor Nunes do Prado

INTRODUÇÃO

O consumo de matéria seca (CMS) é a variável mais importante que afeta o desempenho animal (Waldo e Jorgensen, 1981), pois garante ao organismo, nutrientes adequados e substratos energéticos para as reações bioquímicas que contribuem nas oscilações do metabolismo celular, especialmente em bovinos para produção de carne, tendo em vista a importância econômica e o complexo sistema digestivo com suas funções metabólicas peculiares (Forbes, 2007).

Em bovinos para produção de carne, variações no consumo de alimentos ocorrem durante seu ciclo de crescimento para manter um equilíbrio dinâmico do meio interno frente aos constantes desafios apresentados pelas necessidades metabólicas e ambientais.

Limitações no consumo de alimentos podem impedir que as exigências nutricionais sejam supridas. Como a maior parte dos nutrientes da dieta de bovinos de corte é utilizada para suprir as exigências de manutenção, pequena alteração no consumo de alimentos pode ocasionar limitações na eficiência dos processos produtivos, e conseqüentemente, a taxa de crescimento irá diminuir. Com isso, o potencial genético para ganho de peso não será alcançado e a lucratividade da atividade pecuária estará comprometida. Além disso, poderão surgir problemas associados com estresse alimentar, sanidade e distúrbios digestivos.

REGULAÇÃO DO CONSUMO DE ALIMENTOS POR BOVINOS

Fatores neuro-hormonais

O cérebro é o órgão que coordena o comportamento alimentar. Segundo Konturek et al. (2005), há indicação de que o núcleo do trato solitário (NTS), no tronco cerebral, serve como porta de entrada para sinais neurais vindos do trato gastrointestinal até o centro

regulador de consumo no hipotálamo. Estes autores sugerem também, que o corpo amigdaloide, a córtex pré-frontal, bem como a área postrema (zona de disparo quimiorreceptora ou "centro do vômito") têm sido considerados responsáveis por distúrbios alimentares e armazenamento ou conservação inadequada de energia. Além disso, tanto o núcleo arqueado (ARC) como o núcleo paraventricular (PVN) são importantes centros no controle da ingestão de alimentos, pois são os locais onde vários hormônios, liberados a partir do trato gastrointestinal e tecido adiposo, convergem para regular o consumo alimentar e o gasto energético (Crespo et al., 2014).

Hetherington e Ranson (1940) e Anand e Brobeck (1951) foram os primeiros a propor o modelo constituído do centro da fome no hipotálamo lateral (LHA) e da saciedade na região ventromedial hipotalâmica. No hipotálamo, a sua área lateral possui neurônios que induzem o animal a iniciar um novo ciclo de alimentação, enquanto estímulos na sua área ventromedial induzem a saciedade (Mayer e Thomas, 1967). Há indícios de que a região do hipotálamo lateral, conhecida como "centro da fome", estaria sempre apta para induzir a fome, isto é, esta região seria cronicamente ativa, e sua atividade estaria transitoriamente inibida pelo "centro da saciedade", no hipotálamo ventromedial (Konturek et al., 2005). Assim, o consumo de alimentos seria estimulado por ausências de sinais de saciedade (Allen et al., 2005).

Acredita-se que ao invés de cada núcleo hipotalâmico atuar sobre o controle da homeostase energética, estes atuam de forma sistêmica, onde os sinais entre os mesmos são transmitidos por neuropeptídios específicos. O ARC desempenha papel importante na integração dos sinais que regulam o consumo (Stanley et al., 2005).

Uma série de sistemas complexos mantém a homeostase energética a fim de manter o peso corporal e disponibilizar energia suficiente para todos os processos metabólicos (Dietrich e Horvath, 2009). Segundo Forbes e Provenza (2000), os animais regulam o seu consumo diário de maneira que não proporcione um desconforto metabólico ou físico.

Após o consumo de alimentos, os sinais dos receptores localizados na faringe e nas vias orogástricas são encaminhados para o sistema nervoso central (SNC), no tronco cerebral. Posteriormente, mecanismos de distensão gástrica, estimulação química de receptores na mucosa gastrointestinal e vários hormônios são liberados a partir da mucosa gastrointestinal (Konturek et al., 2005). Adicionalmente, na parede da região anterior dorsal do rúmen-retículo existem receptores capazes de enviar informações, via fibras aferentes, projetadas para os centros de controle do consumo alimentar no NTS (Leek, 1986).

Desta forma, o SNC recebe (através do NTS) inúmeros impulsos neurais e de hormônios de órgãos periféricos, especialmente a partir da mucosa do trato gastrointestinal, do tecido adiposo e do pâncreas que estão envolvidos no controle alimentar a curto e longo prazos, além de informações sobre o gasto de energia em resposta às constantes alterações no balanço energético (Konturek et al., 2005).

Os peptídeos intestinais sinalizam para o hipotálamo através do ARC para mediar estímulos de apetite (+), que não são ativados pelos neurônios que secretam neuropeptídeo Y (NPY) e peptídeo agouti-associado (AgRP), ou efeitos inibidores do apetite (-) através de neurônios que contêm a pró-opiomelanocortina (POMC) precursora do hormônio estimulante de α -melanócito (α -MSH) e do peptídeo da produção do transcrito regulado pela cocaína e anfetamina (CART) para o centro da fome no LHA e centro de saciedade no PVN no hipotálamo medial (Currie et al., 2005).

Em um dos trabalhos específicos sobre o centro de controle do consumo em ruminantes, Miner (1992) sugere que o NPY

é um neurotransmissor envolvido na regulação do consumo pelo SNC. O NPY / AgRP e a POMC / CART no núcleo arqueado do hipotálamo têm papéis-chaves na regulação do balanço energético. A ativação dos neurônios NPY/AgRP tem um efeito orexigênico, promovendo o consumo de alimentos, enquanto que os neurônios POMC/CART têm efeito contrário, ou seja, anorexigênico. POMC é ativado através de modificação pós-transcricional ao α -MSH. Estes dois circuitos de neurônios recebem sinais de hormônios circulantes.

O resumo do controle neuro-hormonal sobre o controle de alimentos descrito por Bell et al. (2005) sugere que:

- Leptina é secretada pelo tecido adiposo, e seus níveis circulatórios são proporcionais à reserva adiposa do corpo, seus efeitos são exercidos através do receptor da leptina (LEPR), inibindo os neurônios NPY/AgRP e estimulando os neurônios POMC/CART;
- O pâncreas secreta insulina, que tem uma influência anorexigênica sobre o ARC, contudo o aumento dos níveis plasmáticos de insulina é estimulado pelo NPY;
- Grelina, em sua maioria (60%) é produzida pelo estômago, e estimula os neurônios NPY/AgRP através dos receptores que secretam o hormônio do crescimento (GH);
- O peptídeo YY 3-36 (PYY3-36) é secretado no trato gastrointestinal distal, tendo afinidade e se ligando a receptores Y2 (Y2Rs), produz efeitos inibitórios nos neurônios NPY/AgRP, portanto, constitui potente sinal anorexigênico periférico;
- Os neurônios NPY/AgRP também têm um efeito inibitório nos neurônios POMC/CART através da liberação de ácido γ -aminobutírico (GABA), que pode ser estimulado pela ligação da grelina ao GH;
- Os sinais orexigênicos e anorexigênicos, que são produzidos pelos neurônios NPY/AgRP e POMC/CART, respectivamente, são então enviados para neurônios efetores de fluxo de segunda ordem, que também recebem modificações aferentes de sinais de dopamina, serotonina e endocanabinóides; e
- Estes neurônios efetores expressam receptores que incluem o receptor Y1 (Y1R) e o receptor de melanocortina 4 (MC4R).

Entre os peptídeos anorexígenos, o primeiro reconhecido inibidor da ingestão alimentar foi a colecistocinina (CCK), o produto das células endócrinas I do duodeno-jejuno. A CCK é um hormônio mediador fisiológico da inibição do consumo de alimentos a curto prazo. Ela colabora com os sinais provenientes de mecanorreceptores do trato gastrointestinal que são gerados pela distensão do trato digestivo, sendo transmitido ao cérebro através do nervo vago aferente (Konturek et al., 2005).

Porém, em ruminantes existe um tempo maior entre o consumo e a chegada dos alimentos ao duodeno, local onde é produzido a CCK. Assim, CCK é menos importante nestes animais do que em animais que apresentam estômago simples. No entanto, observou-se aumento das concentrações plasmáticas de CCK em vacas 3 horas após a alimentação (Choi e Palmquist, 1996), indicando que a CCK também tem alguma função no controle do consumo alimentar em ruminantes.

Todos estes moduladores estão interagindo e juntos estabelecem um balanço total entre consumo de alimentos e o gasto energético e dessa forma provocam estímulos ao animal de começar ou não um novo ciclo alimentar.

Fatores psicogênicos

A regulação psicogênica sobre o consumo de alimentos, como percepção e aprendizagem, envolve o comportamento animal em resposta a fatores inibidores ou estimuladores no alimento, ou no manejo alimentar, que não estão relacionados ao valor energético do alimento, nem ao efeito de enchimento. Os fatores psicogênicos que alteram o consumo de alimentos consistem em sabor, odor e textura do alimento; visão; estado emocional; interações sociais e aprendizagem animal, sendo que a de maior impacto na modulação psicogênica da ingestão de alimentos é a palatabilidade (Mertens, 1994).

Fatores relacionados ao animal

a) Peso corporal

O peso corporal (PC) é um fator determinante no CMS de bovinos. Galyean e

Hubbert (1992) observaram que o PC inicial representou 59,8% da variação do CMS em dietas com concentrações de ELM que variaram de 1 a 2,4 Mcal / kg MS. Em uma ampla discussão sobre modelos de predição de CMS, Pittroff e Kothmann (2001) avaliaram 12 diferentes equações e independente do grau de complexidade e sofisticação matemática das mesmas, 10 dessas levaram em consideração o peso corporal, denotando a grande importância da inclusão dessa variável nas equações de predição do CMS.

b) Grupo genético

Segundo o NRC (1987), a seleção genética para desempenho produziu animais com maior potencial de CMS e sugeriu que fatores de ajuste na predição do CMS sejam realizados. Allen (1992) afirmou que raças continentais podem consumir 10% a mais do que as raças britânicas e, com base nesta informação, o AFRC (1993) propôs fatores de ajuste na predição de CMS para várias raças puras.

O NRC (2000), no seu modelo de predição de CMS, adotou os ajustes para raça propostos por Fox et al. (1988). Eles propuseram que a predição de CMS deve ser aumentada em 8% para raça Holandesa e 4% para animais cruzados das raças Holandesa e britânicas. O NRC (2000) não sugere alteração no CMS para raças zebuínas.

c) Composição corporal

A composição corporal dos bovinos em confinamento não é constante e muda ao longo do tempo de confinamento e com aumento no PC. A composição corporal, especificamente a porcentagem de gordura corporal, parece ser o principal componente a afetar o CMS (NRC, 1987). Segundo Grant e Helferich (1991), isto se deve à desaceleração do crescimento muscular e ao desenvolvimento mais rápido do tecido adiposo, com a elevação do PC. Fox et al. (1988) sugeriram alteração no CMS, quando os bovinos apresentarem percentual de gordura do corpo vazio superior a 21,3%. Jorge et al. (1997) observaram maior percentual de gordura corporal (24,41) para animais Nelore em relação à cruzados de

corte (21,62%) e cruzados leiteiros (19,50%). Fox et al. (1988) sugeriram redução de 3, 10, 18 e 27% no CMS, quando o percentual de gordura do corpo vazio estiver, respectivamente, com 23,8; 26,5; 29,0 e 31,5%.

d) Classe sexual

Marcondes et al. (2008), Vêras et al. (2008) e Lage et al. (2012) não verificaram influencia das classes sexuais: fêmeas, machos castrados e machos não castrados para o CMS, porém Paulino et al. (2008) observaram que o CMS foi superior nas fêmeas, em relação aos machos não castrados, sendo que o CMS de machos castrados não diferiu de ambos.

O NRC (1984) sugeriu que a predição de CMS deveria ser diminuída em 10% para novilhas com condição corporal média. A explicação para redução no CMS é porque as novilhas atingem maturidade fisiológica antes dos machos (NRC, 2000), e assim poderá ter maior acúmulo de gordura corporal antes dos machos. Como a gordura exerce influência indireta no CMS, pela secreção de leptina pelos adipócitos, hormônio que tem sido correlacionado às reduções no consumo (Nkrumah et al., 2005), espera-se que a capacidade de CMS das fêmeas diminua com o aumento do PC. Dessa forma o efeito de classe sexual não pode ser considerado isoladamente já que a condição corporal ou o percentual de gordura corporal exerce uma influência direta sobre as classes sexuais. Para Huuskonen et al. (2013), a influência da classe sexual sobre o CMS pode ser confundida com outros efeitos experimentais aleatórios.

Fatores ambientais

O clima do Brasil é diversificado em consequência de fatores variados, como a fisionomia geográfica, a extensão territorial, o relevo e a dinâmica das massas de ar. Este último fator é de suma importância porque atua diretamente tanto na temperatura quanto na pluviosidade, provocando as diferenças climáticas regionais. No entanto, o rebanho bovino do Brasil encontra-se em maior densidade na região tropical com

temperaturas normalmente acima de 25°C, já que a distribuição do rebanho bovino se concentra principalmente nos estados de Mato Grosso, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás, os quais juntos representam mais de 40% (Alvares et al., 2013; Teixeira e Hespanhol, 2015).

Quanto aos fatores ambientais, Fox et al. (1988) sugeriram que em temperaturas variando entre 25 a 35°C, a predição do CMS fosse reduzida em 10% e acima de 35°C reduzida em 35%.

Ingvartsen et al. (1992), avaliando o efeito do comprimento do dia sobre a capacidade de CMS, observaram que o CMS esperado pode ser 1,5 a 2% maior em dias longos e 1,5 a 2% menor em dias curtos.

Fatores de manejo e dietéticos

Existe uma relação entre a concentração energética da dieta e o CMS por bovinos para produção de carne, baseado no conceito que em dietas menos digestíveis, ou seja, com baixa energia (alta fibra), o CMS é controlado por fatores conhecidos como enchimento ruminal e impedimento físico da passagem da digesta, enquanto para dietas com alta digestibilidade, alta energia (baixa fibra), o CMS é controlado pela demanda energética do animal e por fatores metabólicos (NRC, 1987).

A forte correlação entre a fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e a fase de regulação física do consumo se dá principalmente em virtude do alto volume ocupado pela fração da parede celular das forragens (Mertens, 1994), bem como as suas características de baixa densidade e de degradação mais lenta, quando comparada ao conteúdo celular (Van Soest, 1994; NRC, 2001). A distensão no compartimento rúmen-reticular provocada pelo enchimento estimula receptores na camada muscular localizados, principalmente, em nível de retículo e saco cranial (Allen, 1996, 2000), em que mecanorreceptores são excitados por estímulos mecânicos e químicos e tensorreceptores respondem à distensão em si (Allen, 2000), estimulando o final do período de alimentação.

No entanto, esta abordagem tem sido criticada, porque assume intrinsecamente,

que os mecanismos físicos e metabólicos são independentes um do outro. Tal consideração é fisiologicamente improvável, uma vez que, os sinais reguladores funcionam de forma integrada, para criação de sinal positivo ou negativo sobre a ingestão voluntária de matéria seca (Detmann et al., 2014).

Associam-se ao mecanismo físico, o consumo de FDN ou a sua concentração na dieta (Detmann, 2010), portanto, uma única estimativa do teor de FDN não é suficiente para entender ou prever o consumo voluntário em bovinos (Detmann et al., 2014). Assim, a separação de um total de FDN em FDN indigerida e FDN potencialmente degradável (FDN_{pd}) pode melhorar as associações com o consumo voluntário (Huhtanen et al., 2007; Harper e McNeill, 2015). Para condições tropicais, Detmann et al. (2003) sugeriram que a ingestão de FDN acima de 13,53 g/kg PC regularia o consumo por mecanismos físicos, no entanto, Oliveira et al. (2011) relataram que a fonte de forragem deve ser considerada e indicaram valor médio de 13,2 g/kg PC para silagem de milho e 9,4 g/kg PC para cana-de-açúcar e recomendaram a discriminação qualitativa das frações da FDN e lignina para sua utilização eficaz em modelos de predição de CMS.

Para condições tropicais, Detmann et al. (2014) relacionaram o CMS com o teor de matéria orgânica digestível (MOD) e de FDN indigerida e, observaram efeito quadrático: $CMS (g/kg) = -5,50 + 0,092 \times MOD - 0,00007 \times MOD^2$, com ponto de máxima de 658 g de MOD/kg de MS e efeito linear decrescente: $CMS (g/kg) = 27,8 - 0,016 \times FDN \text{ indigerida}$, respectivamente. Esses autores verificaram que o ponto de equilíbrio entre a regulação física e química de consumo para bovinos de corte ocorreu com CMS de 20,86 g/kg PC, sendo esse valor observado para dietas com teor de MOD de 660 g/kg de MS e de FDN indigerida de 228 g/kg de MS. Isto demonstra que o CMS é simultaneamente regulado por limitações físicas e fisiológicas.

A deficiência de proteína (menor que 7 a 8% PB) é outra característica dietética que pode diminuir o CMS, já que torna-se limitante para que os microrganismos ruminais apresentem plena capacidade de

utilização dos carboidratos fibrosos da forragem tropical (Lazzarini et al., 2009; Sampaio et al., 2009). Com uma dieta pobre em nitrogênio e rica em fibra oriunda da forragem, o fornecimento de uma suplementação com nitrogênio aumenta o CMS (Galyean e Goetsch, 1993).

Portanto, os fatores que controlam o consumo de alimentos são complexos, verdadeiramente multifatoriais e não existe um consenso de como os ruminantes regulam esta importante atividade (Forbes, 2007).

Neste sentido, todos esses fatores deveriam ser levados em consideração, quando se deseja prever matematicamente o real comportamento biológico do consumo de matéria seca por bovinos para produção de carne em condições tropicais. Contudo, nenhum tipo de equação será aplicável se as condições de alimentação (disponibilidade de alimento, taxa de lotação, espaço no cocho, tempo de acesso ao alimento, frequência de alimentação, etc.) estiverem limitando o consumo (Mertens, 1992).

PREDIÇÃO DO CONSUMO DE MATÉRIA SECA POR BOVINOS EM CONFINAMENTO

Para que possa ser planejado um eficiente programa de alimentação capaz de encontrar o melhor manejo alimentar para atender as exigências nutricionais, é necessário prever com maior precisão e acurácia o nível de consumo voluntário por bovinos em crescimento e terminação sob alimentação *ad libitum*.

Um modelo de predição de CMS é uma representação simplificada do complexo sistema de ingestão voluntária de alimentos (Keady et al., 2004). Considerando que fosse possível incluir todos os fatores fisiológicos, ambientais, dietéticos e de manejo que interferem no CMS, possivelmente o modelo obtido seria difícil de ser interpretado biologicamente.

ESTADO DA ARTE SOBRE A PREDIÇÃO DE CONSUMO MATÉRIA SECA

Durante muito tempo, os modelos de predição de CMS propostos pelo NRC (1984,

2000) foram os mais utilizados no Brasil. No entanto, os modelos propostos pelo NRC (1984, 2000) foram desenvolvidos principalmente com animais *Bos taurus*. Conforme o ANUALPEC (2015), 80% do rebanho brasileiro é composto de gado Zebu, com estimativa de 150 milhões de cabeças de zebuínos. A contribuição das raças zebuínas para a produção de carne e leite no Brasil em um sistema de produção auto-sustentável é devido às características de fertilidade, rusticidade, adaptabilidade ao ambiente tropical e aos sistemas de produção de carne brasileira, sendo a raça Nelore a predominante nos sistemas de produção de carne no Brasil.

Fox et al. (1988) observaram que o grupo genético é reconhecidamente um dos fatores que interfere no CMS. Com base nesse trabalho, o NRC (1987) e o AFRC (1993) passaram a adotar o fator de ajuste relacionado ao grupo genético nas equações de predição de CMS, por identificar raças de bovinos com maior potencial de consumo que outras. Além disso, estimulantes anabolizantes foram usados nos bovinos do banco de dados do modelo de predição de CMS proposto pelo NRC (1984, 2000). No Brasil, a proibição do uso de anabolizantes para qualquer finalidade teve início em 1961 e atualmente vigora a Portaria Ministerial nº 51 (Brasil, 1991) que proíbe a produção, importação, comercialização e o uso de produtos para fins de crescimento e ganho de peso dos animais de abate. Para os compostos não esteroidais com atividade anabolizante, a proibição se estende, inclusive, para fins terapêuticos.

Segundo Neal et al. (1984), os modelos de predição do CMS deveriam ser testados em condições semelhantes àqueles em que se destina serem utilizados. Portanto, não há um único modelo que se aplica em todas as situações, existindo necessidade de desenvolver e validar modelos de predição do CMS em condições tropicais. Por isso, equações para predizer o CMS de bovinos de corte em condições brasileiras e com zebuínos (raça Nelore) foram desenvolvidas e validadas por Valadares Filho et al. (2006a), que aliados às exigências de energia, proteína e minerais resultou na publicação intitulada Exigências nutricionais de Zebuínos e Tabelas de

Composição de Alimentos – BR-CORTE, descrito por Valadares Filho et al. (2006b).

No BR-CORTE (2006), para construir o banco de dados de animais zebuínos (principalmente da raça Nelore) foram utilizadas 15 dissertações e/ou teses. No banco de dados de animais Cruzados de corte, foram utilizadas 10 dissertações e/ou teses gerando um total de 273 unidades experimentais. Assim, foram recomendadas as seguintes equações de predição do CMS:

- Zebuínos:

$$\text{CMS (kg/dia)} = -2,4001 + 0,0201 \times \text{PC} + 4,8195 \times \text{GMD} - 1,5176 \times \text{GMD}^2$$

- Cruzados de corte:

$$\text{CMS (kg/dia)} = -1,4105 + 0,0171 \times \text{PC} + 5,4125 \times \text{GMD} - 1,8691 \times \text{GMD}^2,$$

em que PC = peso corporal médio (kg) e GMD = ganho de peso médio diário (kg/dia).

Os modelos de CMS propostos indicaram que os valores preditos foram equivalentes aos observados em condições práticas de alimentação de bovinos de corte confinados em condições tropicais.

Ribeiro et al. (2008) avaliaram o CMS por grupos genéticos de zebuínos e compararam os valores observados com os preditos por meio dos sistemas NRC (2000), CNCPS 5.0 e BR-CORTE (2006). Estes autores observaram que o sistema brasileiro (BR-CORTE, 2006) mostrou-se mais eficiente nas predições do CMS por raça e para os zebuínos como um todo.

Valadares Filho et al. (2006a) também observaram falta de ajuste para os modelos propostos pelo NRC (1984, 2000) em predizer o CMS de bovinos de corte em condições tropicais. Nesse sentido, as equações propostas pelo NRC (1984, 2000) seriam incapazes de explicar maior porcentagem da variação observada no CMS, quando comparadas às equações adotadas pelo BR-CORTE (2006).

Os pesquisadores coletam os dados a partir de múltiplos estudos publicados e tentam estabelecer um modelo quantitativo que melhor explica as observações.

Geralmente, existem diferenças entre os estudos devido aos objetivos e ignorando estas diferenças numa análise conjunta dos dados, tem-se como consequência que a estimativa dos parâmetros (intercepto e inclinação) dos modelos de regressão pode ser tendenciosa. Neste sentido, foi proposto no BR-CORTE (2010) descrito por Valadares Filho et al. (2010), o uso da meta-análise para integrar o efeito de estudo e efeitos aleatórios das interações como componentes de um modelo misto (St-Pierre, 2001) e gerar modelos de predição de CMS mais precisos e acurados. Então, na segunda edição das Tabelas Brasileiras de Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados, BR-CORTE (2010), o banco de dados sobre CMS foi ampliado; e os modelos mais utilizados pelo NRC foram avaliados, bem como novas equações para prever o CMS, usando a meta-análise, foram desenvolvidas e validadas.

Os dados incluíram 561 observações a partir de 27 teses e/ou dissertações (estudos) que foram publicados na Universidade Federal de Viçosa e na Universidade de São Paulo. No BR-CORTE (2010), observou-se que as equações propostas pelo NRC não foram adequadas para prever o CMS para bovinos em condições tropicais e sugeriu-se o uso das seguintes equações de predição do CMS:

- Zebuínos:

$$\text{CMS (kg/dia)} = -2,7878 + 0,08789 \times \text{PC}^{0,75} + 5,0487 \times \text{GMD} - 1,6835 \times \text{GMD}^2;$$

- Cruzados:

$$\text{CMS (kg/dia)} = -2,6098 + 0,08844 \times \text{PC}^{0,75} + 4,4672 \times \text{GMD} - 1,3579 \times \text{GMD}^2,$$

em que $\text{PC}^{0,75}$ = peso corporal médio metabólico ($\text{kg}^{0,75}$) e GMD = ganho de peso médio diário (kg/dia).

O principal grupo que atuou nas mudanças em relação à predição de CMS por bovinos para produção de carne na 8ª edição das Exigências Nutricionais de Bovinos de Corte do BCNRM (2016) foi liderado pelo Professor e Pesquisador Michael L. Galyean, da *Texas Tech University, Department of Animal and Food Sciences*.

Seu grupo publicou recentemente 4 artigos sobre esse tema. O primeiro, “Avaliação das equações de predição do consumo de matéria seca e do desempenho do NRC (1996) de bovinos confinados”, por McMeniman et al. (2009). Nesse artigo objetivou-se avaliar os modelos de predição do CMS do NRC (1996). Eles utilizaram um banco de dados contendo 3.363 registros de baias coletivas, representando 632.306 bovinos em 3 confinamentos comerciais coletados por um período de 4 anos (2003 a 2006), e concluíram que as equações propostas pelo NRC (1996) não foram úteis para prever o CMS de bovinos em confinamento comercial e sugeriram a necessidade de desenvolvimento de novas equações com maior exatidão e precisão.

O segundo artigo foi sobre “Desenvolvimento e avaliação de equações de consumo de matéria seca em períodos médios de dados baseados em confinamento comercial”, por McMeniman et al. (2010). Esses autores propuseram modelos de predição de CMS que levaram em consideração a classe sexual e informação previa do CMS no início do confinamento.

No terceiro artigo, Galyean et al. (2011) publicaram “Previsibilidade do desempenho de bovinos confinados em crescimento”. Esses autores validaram as equações propostas por McMeniman et al. (2010) e sugeriram equações que fossem utilizadas para predição de CMS por bovinos de corte em confinamento alimentados em dietas com alto concentrado.

No quarto artigo, “Avaliação dos modelos atuais e desenvolvimento de equação”, por Anele et al. (2014), foram desenvolvidas novas equações, porém, segundo Anele et al. (2014), estas equações forneceram apenas melhorias modestas na melhor das hipóteses e, em alguns casos, não ofereceram nenhuma vantagem real em relação às equações propostas pelo NRC (1996) para prever o CMS de bovinos de corte em crescimento ou terminação.

Anele et al. (2014) relataram que foi decepcionante saber que sua pesquisa pouco conseguiu melhorar a capacidade preditiva do CMS, e reconheceram a dificuldade no desenvolvimento de predições precisas sobre o CMS por bovinos de corte em crescimento e terminação. Isto, sem dúvida, é a influencia dos complexos fatores que controlam o CMS que tornam difícil explicar, adequadamente, o

comportamento biológico do CMS, utilizando modelos matemáticos e algumas variáveis independentes.

De acordo com os resultados apresentados por Anele et al. (2014), o BCNRM (2016) recomendou a continuidade do uso da equação proposta pelo NRC (2000) para prever o consumo de energia líquida de manutenção (CELM, Mcal/dia) e posteriormente estimar o CMS, que pode ser obtido dividindo o CELM pela concentração de energia líquida de manutenção da dieta (ELm):

- Para animais sobreano (*Yearlings*):

$$\text{CELM (Mcal/dia)} = \text{PC}^{0,75} \times (0,2435 \times \text{ELm} - 0,0466 \times \text{ELm}^2 - 0,0869),$$

em que $\text{PC}^{0,75}$ = o peso corporal médio metabólico para o período de alimentação. Para dietas com concentração de $\text{ELm} \leq 0,95$ Mcal/kg MS, o BCNRM (2016) recomendou a divisão do resultado dessa equação do consumo de ELm por 0,95.

No entanto, devido aos resultados dessa equação sub ou superestimarem o CMS dependendo das condições dietéticas e do animal conforme relatado por Anele et al. (2016), o BCNRM (2016) recomenda que a equação de CMS em função do peso corporal descrita por Anele et al. (2014) também seja usada para prever o CMS de bovinos de corte em crescimento ou terminação: $\text{CMS (\% PCm)} = 1,2425 + 1,9218 \times \text{ELm} - 0,7259 \times \text{ELm}^2$ ($R^2 = 0,6188$), em que PCm = peso corporal médio (kg). O BCNRM sugere que não há nenhuma razão para recomendar uma única equação para estimar o CMS.

Baseado no trabalho de validação relatado por Galyean et al. (2011), o comitê do BCNRM (2016) recomenda usar as equações descritas por McMeniman et al. (2010), com ajustes para classe sexual, para estimar o CMS de bovinos em confinamento alimentados com dietas de alto grão ($\geq 2,06$ Mcal de Elm e $\geq 1,4$ Mcal/kg de Elg):

- Novilhos:

$$\text{CMS (kg/dia)} = 3,83 + 0,0143 \times \text{PCJi};$$

- Novilhas:

$$\text{CMS (kg/dia)} = 3,184 + 0,01536 \times \text{PCJi},$$

em que PCJi, o peso médio em jejum inicial.

No NRC (2000) já se considerou que os métodos descritos para prever o CMS foram planejados para fornecer uma orientação geral. Não existe uma equação capaz de ser aplicada em todas as situações de produção. O correto seria desenvolver modelos de predição do CMS específicos para determinada situação de produção. Assim, tais modelos seriam capazes de explicar maior porcentagem da variação observada no CMS, quando comparado a um modelo generalizado.

Apesar de o Brasil possuir um rebanho de corte de tamanho praticamente estagnado, a melhoria das condições produtivas tem aumentado os índices de produtividade. Para que esses índices possam continuar aumentando de forma a reduzir os custos produtivos e tornar o produto final mais acessível ao consumidor, é necessária a constante atualização e validação dos conhecimentos gerados na pesquisa. Isso faz com que o maior número de fontes de variação possa ser conhecido e considerado. Da mesma forma, o aumento no número de dados de consumo individual de bovinos, oriundos de pesquisa em condições tropicais, faz com que os procedimentos estatísticos para estimar o CMS fiquem mais sensíveis às variações provenientes dos diversos fatores de produção.

DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS NA PREDIÇÃO DE NOVOS MODELOS PARA BOVINOS CONFINADOS

O Brasil é um país com dimensões continentais, que possui uma ampla diversificação climática e possibilita a criação de bovinos predominantemente de raças zebuínas, mas também, a utilização de grupos genéticos distintos e especializados na produção de carne, em cruzamentos, visando os benefícios do vigor híbrido para aumentar a produtividade do rebanho.

Além disso, no Brasil, uma parcela significativa da carne produzida é oriunda dos machos provenientes de rebanhos leiteiros, os quais são utilizados para recria e engorda como gado de corte. Diante dessa diversidade genética existente entre os bovinos criados no Brasil e sabendo que fisiologicamente existem diferenças no potencial de crescimento e nas exigências nutricionais, separou-se o banco de dados em três grupos genéticos para predição

de novos modelos para estimar o CMS por bovinos em condições tropicais: Zebuínos (animais predominantemente Nelore), Cruzados de Corte (animais oriundos de cruzamentos com raças especializadas para produção de carne, com predominância de Angus x Nelore) e Cruzados de Leite (animais oriundos de cruzamentos de zebuínos com raças especializadas para produção de leite, principalmente a raça Holandesa).

Para gerar os modelos de predição do CMS capazes de serem representativos biologicamente e explicar a maior porcentagem da variação observada no CMS de bovinos em condições tropicais é preciso ter um banco de dados atualizado. Para isso, o banco de dados que foi utilizado para predição do CMS do BR-CORTE (2010) foi ampliado, passando de 360 para 649 unidades experimentais (UE) com zebuínos e de 201 para 679 UE com bovinos cruzados de corte ou de leite (Tabela 2.1). O banco de dados passou para 1.328 UE, oriundas de pesquisa com bovinos em crescimento ou terminação, com registro de consumo individual e que foram respeitados um período de adaptação para minimizar o impacto do crescimento compensatório sobre CMS. As referências completas da origem do banco de dados utilizados para desenvolvimento das equações, podem ser acessadas no Apêndice 2.1 em www.brcorte.com.br.

Procedeu-se à análise descritiva (Triola, 1999) dos dados (Tabela 2.1), com o propósito de obter o perfil do conjunto de dados pelas medidas de tendência central e de dispersão. De forma geral, as amplitudes totais das diferentes variáveis presentes no banco de dados utilizado para desenvolvimento das equações de predição do

CMS (Tabela 2.1) representam amplamente as características brasileiras dos sistemas de produção de bovinos de corte em confinamento, possibilitando variações de baixo a alto PC inicial, PC final, GMD, CMS e com variações nos consumos de FDN e PB. Dessa forma, permitem projeções representativas, face ao universo de dietas empregadas para bovinos destinados à produção de carne em condições tropicais e suas possíveis interações com grupo genético e interferência nos padrões de regulação de CMS.

Utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson para medir a intensidade da relação linear entre o CMS e as demais variáveis quantitativas. A análise de correlação revelou que, dentre os maiores coeficientes encontrados, destacam-se aqueles que explicam a relação linear entre o CMS e aqueles relacionados aos pesos dos bovinos e ao desempenho, apresentando coeficientes positivos e significativos ($P < 0,05$). As variáveis relacionadas às dietas (FDN e PB, g/kg), além de apresentarem baixos coeficientes de correlação, independente do grupo genético avaliado, a FDN não apresentou coeficientes significativos ($P > 0,05$) e a PB só apresentou significância para os grupos genéticos dos zebuínos e cruzados de leite. Diante dos resultados da correlação de Pearson adotou-se como variáveis para serem utilizadas nos modelos de predição de CMS, o $PC^{0,75}$ e o GMD.

Seguindo as recomendações de St-Pierre (2001), verificou-se inicialmente a existência do efeito de estudo no banco de dados. Observou-se efeito de estudo ($P < 0,0001$) e esse foi considerado nas análises posteriores.

Tabela 2.1 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para predição do consumo de matéria seca e variáveis relacionadas ao consumo de nutrientes para zebuínos, e cruzados de corte e de leite

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Zebuínos					
Duração, dias	649	106	45,1	42,0	271
Peso corporal inicial, kg	649	308	72,8	110	475
Peso corporal final, kg	649	400	84,4	125	580
GMD, kg/dia	649	0,92	0,42	-0,36	1,84
Consumo					
Matéria seca, kg/dia	649	7,39	2,12	1,29	13,2
FDN, kg/dia	472	3,17	1,17	0,79	7,61
FDNi, kg/dia	388	1,24	0,55	0,13	2,43
Proteína bruta, kg/dia	472	0,98	0,28	0,29	1,74
NDT, kg/dia	470	4,84	1,56	1,00	10,2
Cruzados de corte					
Duração, dias	270	112	35,6	55,0	232
Peso corporal inicial, kg	270	352	55,3	215	580
Peso corporal final, kg	270	455	78,6	220	607
GMD, kg/dia	270	1,22	0,48	-0,19	2,37
Consumo					
Matéria seca, kg/dia	270	8,57	1,94	2,46	12,5
FDN, kg/dia	188	3,25	1,24	0,83	6,97
FDNi, kg/dia	30	0,81	0,16	0,50	1,09
Proteína bruta, kg/dia	163	1,15	0,28	0,30	1,67
NDT, kg/dia	141	5,52	1,50	1,74	9,22
Cruzados de leite					
Duração, dias	409	107	53,7	30,0	242
Peso corporal inicial, kg	409	323	77,3	139	494
Peso corporal final, kg	409	429	87,5	206	661
GMD, kg/dia	409	1,06	0,52	-0,13	2,64
Consumo					
Matéria seca, kg/dia	409	8,03	2,41	2,18	15,1
FDN, kg/dia	265	2,86	1,17	0,65	6,14
FDNi, kg/dia	30	0,98	0,26	0,42	1,44
Proteína bruta, kg/dia	264	0,99	0,35	0,18	2,01
NDT, kg/dia	138	5,64	1,63	2,53	9,45

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão; GMD: ganho de peso médio diário; FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; FDNi: FDN indigestível; NDT: nutrientes digestíveis totais.

Foram desenvolvidas equações para predição do CMS em função dos grupos genéticos:

Zebuínos

$$\text{CMS (kg/dia)} = -1,7824 + 0,07765 \times \text{PC}^{0,75} + 4,0415 \times \text{GMD} - 0,8973 \times \text{GMD}^2$$

($R^2 = 0,821$) (Equação 2.1)

Cruzados de corte

$$\text{CMS (kg/dia)} = -0,6273 + 0,06453 \times \text{PC}^{0,75} + 3,871 \times \text{GMD} - 0,614 \times \text{GMD}^2$$

($R^2 = 0,626$) (Equação 2.2)

Cruzados de leite

$$\text{CMS (kg/dia)} = -2,8836 + 0,08435 \times \text{PC}^{0,75} + 4,5145 \times \text{GMD} - 0,9631 \times \text{GMD}^2$$

($R^2 = 0,788$) (Equação 2.3)

O coeficiente negativo para a variável GMD^2 (kg/dia) para todas as equações ajustadas indicou que as estimativas para CMS apresentam um platô. A explicação para este fato pode estar diretamente relacionada com a concentração de energia das dietas utilizadas. Partindo do princípio de que para alcançar GMD máximo, a concentração energética da dieta deverá estar alta, inibindo o CMS, como sugere a teoria da regulação para a ingestão de energia proposta por Mertens (1994).

Considerando a importância desse efeito, o NRC (2000) propôs equações que incluíram as variáveis ELM e ELM^2 . No entanto, devido às dificuldades práticas de se determinar a ELM antes de saber quais os alimentos irão compor a dieta, Thornton et al. (1985) desenvolveram um modelo para prever CMS, que incluiu peso corporal inicial e dias de confinamento (DC). Para esses autores, o CMS é representado na forma de uma curva em que o CMS inicial aumenta gradativamente em função dos DC até atingir um platô e posteriormente, decresce nos últimos DC devido ao aumento do conteúdo de gordura corporal dos animais confinados. A concentração de gordura na carcaça começa em ritmo lento no início do período de alimentação, mas acumula-se em ritmo rápido no final do período de alimentação (Simpfendorfer, 1974).

VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DE CONSUMO DE MATÉRIA SECA

Os resultados de pesquisa provenientes de valores médios (experimentos independentes) publicados entre 2005 até outubro de 2014 na Revista Brasileira de Zootecnia, Boletim da Indústria Animal e Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (referências completas podem ser acessadas no apêndice 2.2 em www.brcorte.com.br), foram compilados e utilizados para compor o banco de dados para a validação das equações de predição do CMS por zebuínos, e cruzados de corte e de leite terminados em confinamento nas condições tropicais (Tabela 2.2).

Na Tabela 2.2 é possível observar dispersão das variáveis utilizadas no banco de dados para validação das equações de predição do CMS e os valores mínimos e máximos para os PC, GMD e CMS indicam que ampla quantidade de dietas foi utilizada. Pode-se observar que o critério de seleção empregado foi eficaz, permitindo boa representatividade, pois não interferiu nos valores médios das variáveis utilizadas para o desenvolvimento das equações de predição do CMS. É importante destacar que, neste banco de dados da validação, existem informações de diferentes estados do Brasil, possibilitando maior representatividade do rebanho nacional.

Com base nas relações observadas entre os valores observados e os preditos pelas equações em função dos grupos genéticos: zebuínos, cruzados de corte e de leite (Tabela 2.3) pode-se observar que os valores de probabilidade tanto para o intercepto, quanto para inclinação não diferiram ($P > 0,05$) de zero e 1, respectivamente, isto é, os valores de CMS preditos (Tabela 2.3) pelas equações desenvolvidas são equivalentes aos CMS observados em condições práticas de alimentação de bovinos de corte, confinados em condições tropicais. Os consumos de matéria seca estimados para zebuínos, e cruzados de corte corporais e ganhos de peso encontram-se na Tabela 2.4.

Tabela 2.2 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para validação das equações desenvolvidas para predição do consumo de matéria seca para zebuínos, e cruzados de corte e de leite

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Zebuínos					
Duração, dias	78	95,4	27,5	56,0	194
Peso corporal inicial, kg	78	364	43,5	251	438
Peso corporal final, kg	78	479	37,2	404	583
GMD, kg/dia	78	1,20	0,24	0,63	1,75
Consumo de matéria seca, kg/dia	78	8,79	1,06	6,04	10,8
Cruzados de corte					
Duração, dias	111	103	29,6	21,0	199
Peso corporal inicial, kg	111	326	62,8	18	463
Peso corporal final, kg	111	464	48,2	340	579
GMD, kg/dia	111	1,38	0,25	0,76	2,15
Consumo de matéria seca, kg/dia	111	8,83	1,44	6,11	12,7
Cruzados de leite					
Duração, dias	48	81,8	12,3	56,0	102
Peso corporal inicial, kg	48	259	94,4	67,9	380
Peso corporal final, kg	48	336	116	151	499
GMD, kg/dia	48	0,95	0,38	0,14	1,72
Consumo de matéria seca, kg/dia	48	6,69	2,24	2,80	11,1

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão; GMD: ganho de peso médio diário.

Tabela 2.3 - Estatística para relação entre os valores observados e os preditos pelas equações para zebuínos, e cruzados de corte e de leite

Variável	Zebuínos	Cruzados de corte	Cruzados de leite
Intercepto	-0,8375	-1,5386	0,6697
Valor P ¹ (Ho: a = 0)	0,5313	0,2022	0,0710
Inclinação	1,0759	1,1316	0,9449
Valor P ² (Ho: b = 1)	0,6108	0,3150	0,3112
r ²	0,4085	0,4087	0,8704
Viés médio	-0,1586	-0,3329	0,3189
CCC	0,5522	0,5262	0,9234
QMEP	0,6874	1,3306	0,7557
Decomposição do QMEP			
Quadrado do vício	0,0252 (3,66%)	0,1108 (8,33%)	0,1017 (13,46%)
Magnitude de flutuação aleatória	0,0023 (0,33%)	0,0113 (0,85%)	0,0146 (1,93%)
Modelo de flutuação aleatória	0,6600 (96,01%)	1,2085 (90,82%)	0,6395 (84,62%)

CCC: coeficiente de correlação concordante; QMEP: quadrado médio do erro de predição. ¹ Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro a = 0 (Neter et al., 1996). ² Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro b = 1 (Neter et al., 1996).

Tabela 2.4 - Consumos de matéria seca estimados para zebuínos, e cruzados de corte e de leite terminados em confinamento, obtidas para diferentes pesos corporais e ganhos de peso

Peso corporal (kg)	Ganho de peso (kg/dia)	Consumo de matéria seca (kg)		
		Zebuínos (Equação 2.1)	Cruzados de corte (Equação 2.2)	Cruzados de leite (Equação 2.3)
200	0,75	4,87	5,36	4,45
	1,00	5,49	6,06	5,15
	1,25	6,00	6,68	5,74
	1,50	6,39	7,23	6,21
	1,75	6,67	7,70	6,55
250	0,75	5,63	5,99	5,26
	1,00	6,24	6,69	5,97
	1,25	6,75	7,31	6,56
	1,50	7,14	7,85	7,02
	1,75	7,42	8,32	7,37
300	0,75	6,34	6,58	6,04
	1,00	6,96	7,28	6,75
	1,25	7,46	7,90	7,33
	1,50	7,86	8,45	7,80
	1,75	8,14	8,92	8,15
350	0,75	7,03	7,15	6,79
	1,00	7,65	7,85	7,49
	1,25	8,15	8,47	8,08
	1,50	8,54	9,02	8,55
	1,75	8,83	9,49	8,89
400	0,75	7,69	7,70	7,51
	1,00	8,31	8,40	8,21
	1,25	8,81	9,02	8,80
	1,50	9,21	9,57	9,27
	1,75	9,49	10,0	9,61
450	0,75	8,33	8,24	8,20
	1,00	8,95	8,93	8,91
	1,25	9,45	9,56	9,50
	1,50	9,85	10,10	9,96
	1,75	10,1	10,6	10,3
500	0,75	8,95	8,75	8,88
	1,00	9,57	9,45	9,59
	1,25	10,08	10,08	10,17
	1,50	10,5	10,6	10,6
	1,75	10,8	11,1	11,0

Predição e validação do consumo de matéria seca em dietas com relação volumoso: concentrado definida

Dietas com alto teor de concentrado tornaram-se economicamente viáveis nos últimos anos em função da elevação no custo de produção de volumosos, redução temporária no preço dos concentrados e ao aumento da

oferta de coprodutos da indústria (Cervieri et al., 2009). Com o crescente uso de dietas de alto teor de concentrado para bovinos confinados no Brasil, torna-se necessário manejo nutricional adequado e para que isto aconteça é fundamental predizer o CMS.

Para seleção dos dados, foram considerados válidos aqueles que possuíam informações sobre: classe sexual, pesos corporais (PC) inicial e final, consumo de matéria seca

(CMS), ganho médio diário (GMD) e concentração de concentrado ou volumoso na dieta total. As referências completas da origem do banco de dados utilizados para desenvolvimento das equações podem ser acessadas no Apêndice 2.3 em www.brcorte.com.br.

A estatística descritiva das variáveis utilizadas para a validação da predição do consumo de matéria seca de bovinos alimentados com teores de concentrado conhecido encontra-se na Tabela 2.5). Foram obtidas as seguintes equações para os grupos genéticos:

Zebuínos:

$$\text{CMS (kg/dia)} = -1,303 + 0,0029 \times \text{NC} - 0,00005 \times \text{NC}^2 + 0,0843 \times \text{PC}^{0,75} + 2,243 \times \text{GMD} - 0,271 \times \text{GMD}^2$$

($R^2 = 0,797$) (Equação 2.4)

Cruzados de corte:

$$\text{CMS (kg/dia)} = -4,8196 + 0,0081 \times \text{NC} - 0,00011 \times \text{NC}^2 + 0,1239 \times \text{PC}^{0,75} + 2,8189 \times \text{GMD} - 0,775 \times \text{GMD}^2$$

($R^2 = 0,717$) (Equação 2.5)

em que NC, é o teor de concentrado na dieta (% da MS total da dieta); $\text{PC}^{0,75}$, peso corporal médio metabólico, em kg; GMD, ganho de peso médio diário, em kg/dia.

Tabela 2.5 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para o desenvolvimento da equação de predição do consumo de matéria seca de bovinos alimentados com teores de concentrado conhecidos

Item	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Zebuínos					
Consumo de matéria seca, kg/dia	983	7,55	2,07	2,05	13,8
Peso corporal, kg	983	362	88,3	133	647
Peso corporal metabólico, kg	983	82,9	15,8	39,2	128,2
Ganho de peso médio diário, kg/dia	983	0,97	0,41	-0,14	2,26
Nível de concentrado, %	983	45,6	24,0	0,00	85,0
Cruzados de corte					
Consumo de matéria seca, kg/dia	432	8,22	1,73	2,75	12,9
Peso corporal, kg	432	383	61,8	231	538
Peso corporal metabólico, kg	432	86,4	10,6	59,3	112
Ganho de peso médio diário, kg/dia	432	1,32	0,34	0,48	2,44
Nível de concentrado, %	432	61,9	21,6	25,0	100

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão.

Para a validação dos resultados, utilizou-se banco de dados independente com 106 unidades experimentais para zebuínos e 137 para cruzados de corte (Tabela 2.6). Os dados foram obtidos de publicações entre 2005 e 2015 na Revista Brasileira de Zootecnia, Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, Semina: Ciências Agrárias, Acta Scientiarum, Animal Sciences, Revista Ciência Agronômica, Journal of Animal Science e Boletim da Indústria

Animal, cujas referências podem ser acessadas no Apêndice 2.4 em www.brcorte.com.br.

Na seleção desse banco de dados não se preocupou em estabelecer seleção para dietas com alto concentrado justamente para verificar a sensibilidade do modelo de predição em diferentes proporções de concentrado na dieta e isto pode ser observado na estatística descritiva do banco de dados da validação (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para a validação da predição do consumo de matéria seca de bovinos alimentados com diferentes teores de concentrado

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Zebuínos					
Consumo de matéria seca, kg/dia	106	8,68	1,61	2,96	12,3
Peso corporal, kg	106	416	53,5	223	494
Peso corporal metabólico, kg	106	91,9	9,18	57,7	105
Ganho de peso médio diário, kg/dia	106	1,19	0,30	0,15	1,75
Nível de concentrado, %	106	62,1	20,3	0,00	95,4
Cruzados de corte					
Consumo de matéria seca, kg/dia	137	8,98	1,47	6,11	13,60
Peso corporal, kg	137	394	48,2	265	520
Peso corporal metabólico, kg	137	88,3	8,18	65,6	109
Ganho de peso médio diário, kg/dia	137	1,40	0,27	0,76	2,17
Nível de concentrado, %	137	55,0	17,9	11,0	100

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão.

O resultado observado na Tabela 2.7 indicou que a equação de predição do CMS com teor de concentrado conhecido pode ser utilizada com segurança. Assim, considerando que o formulador de dietas saiba qual a

concentração de concentrado será utilizada na dieta, ou tenha uma relação de volumoso: concentrado definida, o BR-CORTE sugere que essa equação possa ser utilizada.

Tabela 2.7 - Estatística para relação entre os valores observados e os preditos pelas equações de predição de CMS por bovinos alimentados com diferentes teores de concentrado

Item	Zebuínos	Cruzados de corte
Intercepto	-1,3568	0,9373
Valor P ¹ (Ho: a = 0)	0,0623	0,2379
Inclinação	1,1577	0,9390
Valor P ² (Ho: b = 1)	0,0582	0,5064
r ²	0,6552	0,4377
Viés médio	0,0105	0,4144
Coefficiente de correlação concordante	0,7602	0,5920
Quadrado médio do erro de predição	0,9254	1,3961
Decomposição do quadrado médio do erro de predição		
Quadrado do vício	0,0001 (0,01%)	0,1717 (12,30%)
Magnitude de flutuação aleatória	0,0315 (3,41%)	0,0040 (0,29%)
Modelo de flutuação aleatória	0,8938 (96,58%)	1,2203 (87,41%)

¹ Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro a = 0 (Neter et al., 1996). ² Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro b = 1 (Neter et al., 1996).

Com base nas equações 2.4 e 2.5 são apresentados na Tabela 2.8, os consumos de matéria seca estimados para zebuínos e cruzados de corte terminados em

confinamento obtidos para diferentes pesos corporais e ganhos de peso, considerando três teores de concentrado (30; 60 e 90%) na dieta.

Tabela 2.8 - Consumos estimados de matéria seca para zebuínos e cruzados de corte terminados em confinamento obtidos para diferentes pesos corporais e ganhos de peso, considerando três teores de concentrado (30; 60 e 90%)

Peso corporal (kg)	Ganho de peso (kg/dia)	Concentrado (%)	Consumo de matéria seca (kg)	
			Zebuínos (Equação 2.4)	Cruzados de corte (Equação 2.5)
200	0,5	30	4,28	3,13
		60	4,23	3,08
		90	4,09	2,82
	1,0	30	5,19	3,96
		60	5,15	3,90
		90	5,01	3,65
	1,5	30	5,98	4,40
		60	5,93	4,34
		90	5,79	4,09
300	0,5	30	5,87	5,47
		60	5,82	5,42
		90	5,68	5,17
	1,0	30	6,79	6,30
		60	6,74	6,25
		90	6,60	5,99
	1,5	30	7,57	6,74
		60	7,52	6,69
		90	7,38	6,43
400	0,5	30	7,33	7,62
		60	7,28	7,57
		90	7,15	7,32
	1,0	30	8,25	8,45
		60	8,20	8,40
		90	8,07	8,14
	1,5	30	9,03	8,89
		60	8,99	8,84
		90	8,85	8,58
500	0,5	30	8,71	9,64
		60	8,66	9,59
		90	8,52	9,33
	1,0	30	9,62	10,47
		60	9,58	10,42
		90	9,44	10,16
	1,5	30	10,41	10,91
		60	10,36	10,86
		90	10,22	10,60

Predição e validação do consumo de matéria seca por bovinos criados a pasto recebendo níveis moderados de suplementação

O Brasil é um país de dimensões continentais, sendo o quinto do mundo em extensão territorial, com uma área de 8,5 milhões de km², sendo que 172,3 milhões de hectares são

destinados à pastagem (IBGE, 2007). Além disso, apresenta uma grande diversidade de clima e vegetação, que aliado à extensão territorial possibilita que os sistemas de produção de carne bovina sejam caracterizados pelo uso de forragem como dieta basal. A grande maioria do sistema de produção de carne bovina brasileiro é produzido com animais sob condição de

pastagem e apenas 11,1% foram terminados em confinamento (ABIEC, 2014) dos 42 milhões de bovinos abatidos no Brasil em 2014 (Anualpec, 2015).

De acordo com Paulino et al. (2005), deve haver grande destaque quanto à utilização sustentável das pastagens para produção de bovinos de corte, uma vez que esses recursos representam a principal e mais econômica fonte de nutrientes para os animais.

Predizer o consumo por bovinos criados a pasto não é uma tarefa fácil. Em sua revisão, Coleman et al. (1999) observaram que o CMS de bovinos em pastejo varia em função tanto da qualidade e das características físicas da forragem e também, devido ao estado fisiológico do animal.

Para Lardy et al. (2004), a principal limitação em estabelecer modelos de predição de CMS para bovinos em pastejo é que as principais pesquisas foram realizadas com estimativas indiretas, utilizando indicadores externos e internos para prever o CMS. Além disso, animais que pastejam têm a capacidade de avaliar a forragem disponível e selecionar uma dieta que atenda as suas necessidades nutricionais (Coleman e Sollenberger, 2007; Launchbaugh e Doherty, 2007). Então, a seletividade acaba interferindo na possibilidade de quantificar a composição química da dieta dos animais em pastejo e desta forma, prever com exatidão quais os nutrientes ingeridos por esses animais.

Portanto, deve ser considerado que as estimativas de predição de CMS por bovinos em pastejo sejam mais complexas do que a dos animais confinados e o bom senso deve prevalecer ao utilizar as equações desenvolvidas. O pasto deve ser entendido como um componente do sistema de produção com elevada complexidade, uma vez que este fornece substratos aos animais e é passível de apresentar uma variação qualitativa e quantitativa ao longo do ano, influenciada principalmente por fatores abióticos (e.g., precipitação, temperatura e radiação solar) (Detmann et al., 2004).

A utilização das gramíneas tropicais como única fonte de proteína e energia é inviável

para o atendimento das exigências nutricionais de bovinos em crescimento ou terminação (Moore, 1999). Isso ocorre porque as pastagens, geralmente, não contêm todos os nutrientes essenciais nas proporções adequadas para atender às exigências nutricionais dos animais. Portanto, sistemas de alimentação combinando forragem basal e suplemento concentrado se fazem necessários a fim de viabilizar o ajuste nutricional e melhorar a produção animal à pasto.

Moore (1980) relatou três efeitos possíveis de serem identificados entre suplementação e consumo de forragem: aditivo; associativo e substitutivo. No primeiro, o consumo de forragem permanece constante, independente do nível de suplementação, mas o consumo total aumenta na mesma proporção do nível suplementado; no efeito associativo, o consumo total também aumenta, mas há redução do consumo de forragem; já no substitutivo, o consumo total permanece constante, porém, há redução no consumo de forragem, que é substituído pelo consumo de suplemento.

O efeito substitutivo obtido com a suplementação é diretamente proporcional à qualidade da forragem, sendo maior com forragens de alta qualidade em comparação a forragens de baixa qualidade (Minson, 1990). Havendo substituição, é desejável que sejam assumidos valores inferiores a 1,0 g/g, observando-se redução do consumo de pasto, mas ampliação do consumo total (Costa et al., 2011).

Diante da importância da estimativa de CMS de bovinos em condições tropicais criados a pasto e recebendo suplementação sugere-se o uso do modelo de predição específico que leve em consideração o CMS do suplemento (CMSs, kg/dia). Para o desenvolvimento desta equação utilizou-se um banco de dados, cujas referências completas podem ser acessadas no apêndice 2.5 em www.brcorte.com.br.

Nas informações referentes à estatística descritiva do banco de dados (Tabela 2.9), observou-se ampla variação das informações para que pudessem ser geradas equações de predição em mais abrangentes situações de campo.

Tabela 2.9 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para predição do consumo de matéria seca para zebuínos criados à pasto

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Peso corporal médio, kg	946	274	86,0	102	568
Peso corporal metabólico, kg	946	66,9	15,5	32,1	116
Ganho de peso médio diário, kg/dia	929	0,49	0,30	-0,39	1,14
Consumo					
Matéria seca, kg/dia	944	5,20	2,08	1,21	14,6
Suplemento, kg/dia	948	0,78	0,61	0,00	4,42

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão.

Foi possível estabelecer a seguinte equação de predição do CMS para Zebuínos em pastejo, recebendo suplementação, em condições tropicais:

Zebuínos suplementados a pasto:

$$\text{CMS (kg/dia)} = -1,912 + 0,900 \times \text{CMSs} + 0,094 \times \text{PC}^{0,75} + 1,070 \times \text{GMD} - 1,395 \times \text{GMD}^2 \quad (R^2 = 0,600) \quad (\text{Equação 2.6})$$

em que CMSs, é o consumo de suplemento em kg/dia; $\text{PC}^{0,75}$, o peso corporal metabólico, em kg e; GMD, o ganho de peso médio diário, em kg/dia.

Para a validação dessa equação, utilizou-se um banco de dados independente oriundo dos periódicos: Revista Brasileira de Zootecnia, Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, Semina: Ciências Agrárias, Asian Australasian Journal of Animal Science, Bioscience Journal, Acta Scientiarum. Animal Sciences, Enciclopédia

Biosfera e Pesquisa Agropecuária Brasileira, cujas referências completas podem ser acessadas no apêndice 2.6 em www.brcorte.com.br.

De forma geral, as amplitudes totais das variáveis presentes no banco de dados para validação da equação de predição de CMS por Zebuínos à pasto (Tabela 2.10) representam as características brasileiras dos sistemas extensivo de produção de bovinos de corte à pasto e suplementados, sendo representativas para serem utilizadas na validação da equação.

Observou-se que as respostas aos valores observados e preditos confirmam a exatidão e precisão, uma vez que a equação estimou corretamente o CMS representado pela não significância do intercepto e inclinação e pelo baixo valor do quadrado médio do erro de predição (Tabela 2.11), indicando possibilidade de ser aplicada para animais criados a pasto e suplementados.

Tabela 2.10 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para validação da equação de predição do consumo de matéria seca para Zebuínos criados à pasto

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Peso corporal médio, kg	135	335	80,3	133	474
Peso corporal metabólico, kg	135	77,9	14,6	39,2	102
Ganho de peso médio diário, kg/dia	135	0,59	0,27	-0,18	1,34
Consumo					
Matéria seca, kg/dia	135	6,93	2,24	1,98	12,3
Suplemento, kg/dia	135	1,25	1,22	0,00	5,32

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão.

Tabela 2.11 -Estatística para relação entre os valores observados e os preditos pela equação de predição de consumo de matéria seca por bovinos criados à pasto

Item	Zebuínos criados à pasto
Intercepto	0,5336
Valor P ¹ (Ho: a = 0)	0,1675
Inclinação	0,9699
Valor P ² (Ho: b = 1)	0,5911
r ²	0,69
Viés médio	0,3348
Coefficiente de correlação concordante	0,8124
Quadrado médio do erro de predição	1,651
Decomposição do Quadrado médio do erro de predição	
Quadrado do vício	0,1121 (6,79%)
Magnitude de flutuação aleatória	0,0034 (0,20%)
Modelo de flutuação aleatória	1,5355 (93,01%)

¹ Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro a = 0 (Neter et al., 1996). ² Valor da probabilidade para teste de hipótese onde valor do parâmetro b = 1 (Neter et al., 1996).

Ressalta-se que a equação 2.6 deve ser usada para prever o CMS em animais na recria ou que recebem níveis moderados de concentrado (até 4,5 kg/dia), e que apresentem ganhos de peso moderados (até 1,15 kg/dia). Deve-se considerar ainda, que grande parte dos dados usados para construir essa equação foram obtidos em períodos de seca.

Os consumos estimados pela equação 2.6 podem ser observados na Tabela 2.12, onde é possível observar variações de combinações entre peso corporal, ganho de peso diário e consumo de suplemento.

DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES PARA PREDIZER O CONSUMO DE MATÉRIA SECA RESIDUAL E O GANHO DE PESO RESIDUAL DE ZEBUÍNOS NO BRASIL

O Brasil ocupa posição de destaque como fornecedor de proteína animal para a população mundial, já que nos últimos anos vem sendo o maior ou o segundo maior exportador em quantidade de carne bovina, possuindo o maior rebanho comercial de bovinos do mundo com cerca de 200 milhões de cabeças (Anualpec, 2015).

Paralelo a esse crescimento, a pecuária de corte brasileira tem passado por profundas transformações no mercado interno,

principalmente a partir do momento em que houve aumento de competitividade e das exigências de mercado por produção de carne sustentável, sob todos os aspectos (econômico, social e ambiental) e, também, por produção de carne de baixo custo e de alta qualidade, entendendo-se, agora, como qualidades nutricionais e de segurança alimentar.

Para se adequar a essas mudanças, os empresários do setor agropecuário têm sido cada vez mais exigidos a usar tecnologias coerentes com os ambientes biológicos e sócio-econômicos, garantindo desenvolvimento sustentável, segurança alimentar e conciliação de produção com conservação ambiental.

Para alcançar esse patamar é preciso aumentar a eficiência dos sistemas de produção na pecuária que garanta incrementos na produtividade e redução dos impactos ambientais, ou seja, não há demanda apenas para produção de carne, mas sim, de alimentos com elevado valor agregado, produzido a baixo custo e de forma ambientalmente correta, com baixa emissão de gases de efeito estufa e de resíduos, e sem a necessidade de utilização de áreas atualmente ocupadas com vegetação nativa ou destinadas à produção de grãos.

Tabela 2.12 - Consumos de matéria seca estimados para bovinos terminados a pasto de diferentes pesos corporais, ganhos de peso e consumos de suplemento (CMSs)

Peso corporal (kg)	Ganho de peso (kg/dia)	CMSs (kg/dia)	CMStotal (Eq. 2.6)	
200	0,00	0,00	3,09	
		0,80	3,81	
		1,60	4,53	
	0,50	0,00	3,27	
		0,80	3,99	
		1,60	4,71	
	1,00	0,00	2,76	
		0,80	3,48	
		1,60	4,20	
	300	0,00	0,00	4,86
			1,20	5,94
			2,40	7,02
0,50		0,00	5,05	
		1,20	6,13	
		2,40	7,21	
1,00		0,00	4,54	
		1,20	5,62	
		2,40	6,70	
400		0,00	0,00	6,50
			1,60	7,94
			3,20	9,38
	0,50	0,00	6,68	
		1,60	8,12	
		3,20	9,56	
	1,00	0,00	6,17	
		1,60	7,61	
		3,20	9,05	
	500	0,00	0,00	8,03
			2,00	9,83
			4,00	11,6
0,50		0,00	8,21	
		2,00	10,0	
		4,00	11,8	
1,00		0,00	7,70	
		2,00	9,50	
		4,00	11,3	

Diante dos novos desafios para aumentar a eficiência nos sistemas de produção de carne sustentável, assume-se como papel fundamental a eficiência de utilização dos nutrientes das dietas. O uso eficiente dos nutrientes da dieta é uma das premissas dos sistemas de produção animal sustentáveis, visto que isto pode, potencialmente, minimizar ou mesmo evitar perdas excessivas de nutrientes, prejudiciais

ao meio ambiente, com reflexos na viabilidade econômica da atividade pecuária.

Neste sentido, a seleção de indivíduos geneticamente superiores na eficiência alimentar torna-se uma necessidade urgente de ser implementada. Para isto, o conhecimento do consumo de matéria seca (CMS) e das exigências nutricionais dos bovinos representa a base da Nutrição de Precisão, visto que dietas balanceadas adequadamente, de acordo com as

necessidades diárias de energia, proteína e minerais, proporcionam o uso racional dos alimentos e, conseqüentemente, contribuem para a minimização dos impactos ambientais e dos custos de produção, otimizando a competitividade, lucratividade e sustentabilidade da pecuária de corte. Mas também saber como selecionar os melhores indivíduos, utilizando esta ferramenta, é uma tarefa que vem sendo desenvolvida de forma diferente por muitos pecuaristas.

O uso de informações sobre consumo alimentar residual (CAR) como ferramenta alternativa para a identificação de animais mais eficientes tem sido utilizado nos programas de melhoramento genético de bovinos de corte no Brasil. No entanto, segundo Berry e Crowley (2012), o CAR não está correlacionado com o GMD, e embora o CAR possa ser um bom indicador da eficiência alimentar, ele pode não ter aceitação por parte dos produtores, pois, ao selecionar os melhores indivíduos pelo CAR, eles podem estar selecionando indivíduos de crescimento lento e que consomem quantidades relativamente pequenas de MS. O ganho de peso corporal residual (GR) (Crowley et al., 2010) é semelhante ao CAR, e com o inconveniente de estar selecionando indivíduos com rápidas taxas de crescimento, porém que consomem grandes quantidades de matéria seca. Pensando nos inconvenientes de

cada um desses fatores, Berry e Crowley (2012) propuseram um índice chamado de consumo e ganho residual (GCAR), onde levaria em consideração a seguinte equação: $GCAR = -CAR + GR$.

Para que esta proposta tenha impacto no melhoramento do rebanho nacional, é preciso modelos de predição do CMS e GMD que sejam confiáveis para serem utilizados pelos melhoristas. Com base no banco de dados dos animais zebuínos (Tabela 2.1), desenvolveram-se modelos de predição do CMS e GMD de zebuínos no Brasil:

$$CMS \text{ (kg/dia)} = -1,5187 + 0,07941 \times PC^{0,75} + 2,6519 \times GMD \text{ (R}^2 = 0,813) \quad \text{(Equação 2.7)}$$

$$GMD \text{ (kg/dia)} = 0,3285 - 0,01113 \times PC^{0,75} + 0,2041 \times CMS \text{ (R}^2 = 0,598) \quad \text{(Equação 2.8)}$$

Para verificar a distribuição dos valores de CAR e GR do banco de dados, estabeleceu-se a relação entre o CAR e o ganho de peso (Figura 2.1) e GR e o ganho de peso (Figura 2.2).

Na seleção dos 10% melhores animais presentes nesse banco de dados, observaram-se diferenças entre os valores de CAR, GR e GCAR (Tabela 2.13).

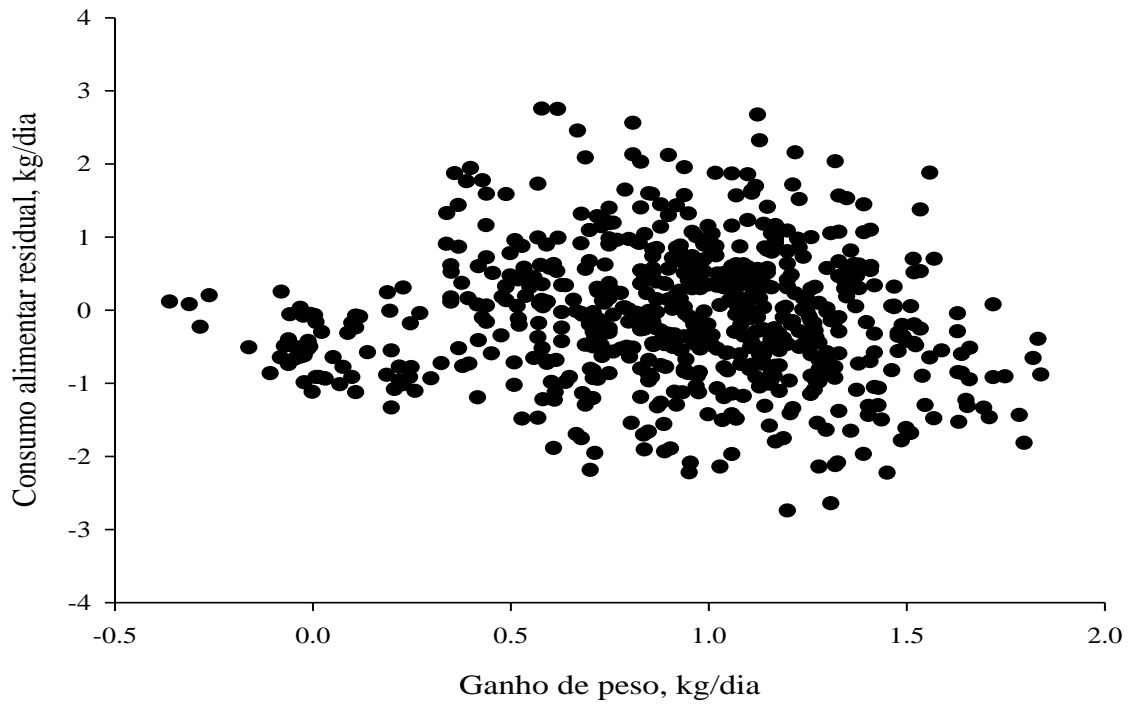


Figura 2.1 - Consumo alimentar residual em função do ganho de peso de bovinos zebuínos.

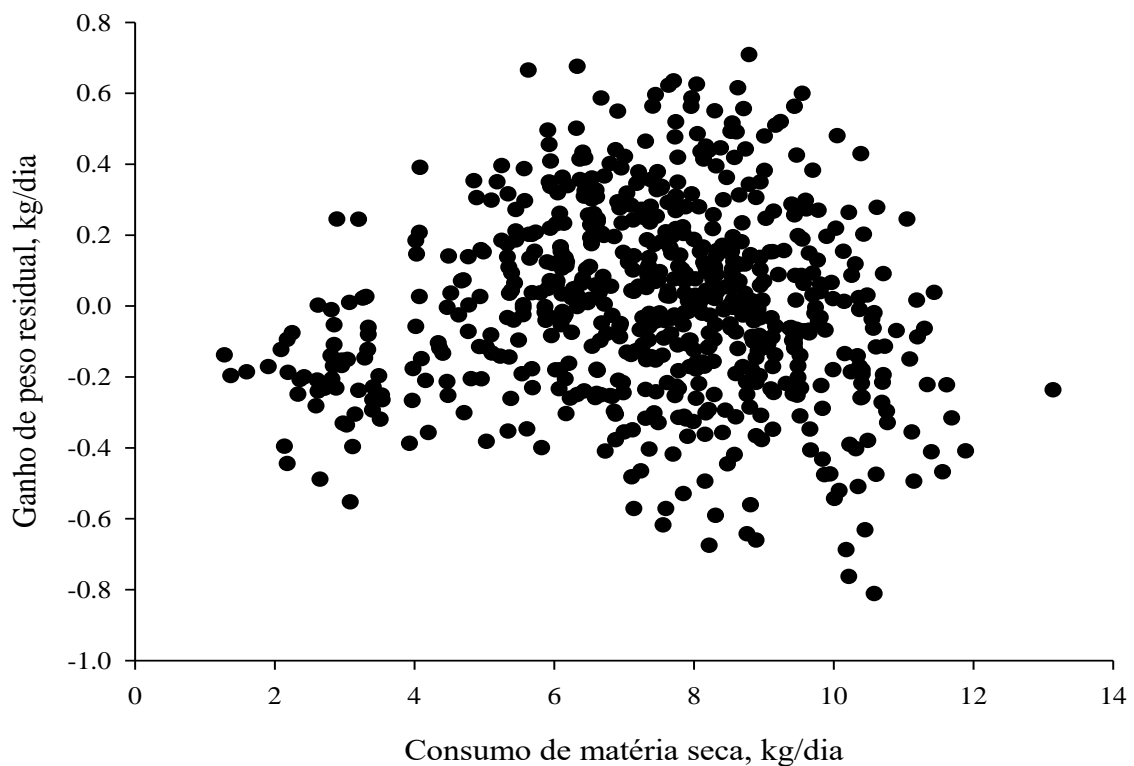


Figura 2.2 - Ganho de peso residual em função do consumo de matéria seca de bovinos zebuínos.

Tabela 2.13 - Estatística descritiva para os valores dos 10% melhores indivíduos do banco de dados de zebuínos para consumo alimentar residual, ganho de peso residual e consumo e ganho residual em conjunto

Variável	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Consumo alimentar residual					
Peso corporal inicial, kg	64	327	60,7	199	448
Peso corporal final, kg	64	439	58,4	300	548
Peso corporal médio, kg	64	393	54,7	257	483
Ganho de peso médio diário, kg/d	64	1,12	0,37	0,20	1,80
Consumo de matéria seca, kg/dia	64	6,96	1,25	4,03	9,56
Ganho de peso residual					
Peso corporal inicial, kg	64	308	61,5	158	446
Peso corporal final, kg	64	441	67,5	210	548
Peso corporal médio, kg	64	374	58,6	184	483
Ganho médio diário, kg/d	64	1,41	0,24	0,84	1,84
Consumo de matéria seca, kg/dia	64	7,62	1,32	4,09	10,4
Consumo e ganho residual					
Peso corporal inicial, kg	64	325	60,8	199	448
Peso corporal final, kg	64	444	55,8	300	548
Peso corporal médio, kg	64	390	52,6	257	483
Ganho de peso médio diário, kg/d	64	1,21	0,33	0,53	1,80
Consumo de matéria seca, kg/dia	64	7,11	1,21	4,09	9,56

N: número de unidades experimentais; DP: desvio padrão.

Pode-se observar que, em média, a seleção para CAR seleciona os animais de menor CMS em relação à seleção do ganho de peso residual. Já para o ganho de peso residual houve a seleção dos animais para o maior GMD em relação à seleção para CAR. No entanto, quando a seleção dos 10% melhores foi realizada pelo CGR existiu uma convergência entre os valores de CAR e GR para seleção dos melhores indivíduos com CMS e GMD intermediários entre os valores médios observados para CAR e GR, possibilitando menores variações entre os valores mínimos e máximos.

Com banco de dados independente originado da pesquisa de Zanetti et al. (2016, dados da tese de DS ainda não publicados), onde eles utilizaram tourinhos jovens, com idade contemporânea de oito meses, gerados na mesma estação de monta e sendo confinados *ad libitum* recebendo, em baias

individuais, dieta com 60% de concentrado, com coleta de dados após período de adaptação, para evitar o ganho de peso compensatório, e frutos de trabalho de seleção genética para ganho de peso de animais da raça Nelore, observou-se que se for utilizada a equação 2.7 para obtenção do CAR ou a equação 2.8 para obtenção do GR, observará que 77,5% dos tourinhos teriam CAR negativa, sendo 50% representado com CAR variando de 0 até -0,5 kg/dia. Na seleção para GR, notou-se que 80% deles tinha GR positivo e com variação de 0 até 0,5 kg/dia.

Ao selecionar os animais com os dez maiores valores de GCAR (Tabela 2.14), pode-se verificar a eficácia das equações desenvolvidas para predição do CMS e GMD em programas de melhoramento genético de bovinos de corte, sendo que os mais eficientes encontram-se numa situação intermediária entre os melhores CAR e os melhores GR.

Tabela 2.14 - Valores de ganho e consumo alimentar residual (GCAR), consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GR), consumo de matéria seca (CMS) e ganho de peso médio diário (GMD) dos 10 melhores Zebuínos para GCAR

Animal	GCAR	CAR	GR	GMD	CMS
1	3,47	-0,77	0,33	1,33	7,81
2	3,46	-0,73	0,34	1,35	7,77
3	3,13	-0,85	0,27	1,17	7,37
4	2,80	-0,58	0,32	1,12	7,40
5	2,24	-0,53	0,27	1,35	8,36
6	2,25	-0,68	0,23	1,12	7,10
7	2,09	-0,43	0,29	1,38	8,18
8	1,84	-0,47	0,25	1,15	6,62
9	1,70	-0,59	0,20	1,07	6,92
10	1,24	-0,38	0,21	1,17	7,26

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As equações para predição do consumo de matéria seca para bovinos confinados em condições tropicais são:

$$\text{Zebuínos: CMS (kg/dia)} = -1,7824 + 0,07765 \times \text{PC}^{0,75} + 4,0415 \times \text{GMD} - 0,8973 \times \text{GMD}^2 \quad (\text{Equação 2.1})$$

$$\text{Cruzados de corte: CMS (kg/dia)} = -0,6273 + 0,06453 \times \text{PC}^{0,75} + 3,871 \times \text{GMD} - 0,614 \times \text{GMD}^2 \quad (\text{Equação 2.2})$$

$$\text{Cruzados de leite: CMS (kg/dia)} = -2,8836 + 0,08435 \times \text{PC}^{0,75} + 4,5145 \times \text{GMD} - 0,9631 \times \text{GMD}^2 \quad (\text{Equação 2.3})$$

Alternativamente, podem-se usar as equações abaixo, quando se conhece o teor de concentrado a ser usado na formulação da dieta:

$$\text{Zebuínos: CMS (kg/dia)} = -1,303 + 0,0029 \times \text{NC} - 0,00005 \times \text{NC}^2 + 0,0843 \times \text{PC}^{0,75} + 2,243 \times \text{GMD} - 0,271 \times \text{GMD}^2 \quad (\text{Equação 2.4})$$

$$\text{Cruzados de corte: CMS (kg/dia)} = -4,8196 + 0,0081 \times \text{NC} - 0,00011 \times \text{NC}^2 + 0,1239 \times \text{PC}^{0,75} + 2,8189 \times \text{GMD} - 0,775 \times \text{GMD}^2 \quad (\text{Equação 2.5})$$

Para predizer o consumo de matéria seca por **bovinos em pastejo** é indicada a seguinte equação:

$$\text{CMS (kg/dia)} = -1,912 + 0,900 \times \text{CMSs} + 0,094 \times \text{PC}^{0,75} + 1,070 \times \text{GMD} - 1,395 \times \text{GMD}^2 \quad (\text{Equação 2.6})$$

Para utilizar em programas de **melhoramento genético de zebuínos**, sugerem-se as seguintes equações de predição:

$$\text{CMS (kg/dia)} = -1,5187 + 0,07941 \times \text{PC}^{0,75} + 2,6519 \times \text{GMD} \quad (\text{Equação 2.7})$$

$$\text{GMD (kg/dia)} = 0,3285 - 0,01113 \times \text{PC}^{0,75} + 0,2041 \times \text{CMS} \quad (\text{Equação 2.8})$$

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Danilo Domingues Millen da Universidade Estadual Paulista – Campus Dracena (UNESP), à professora Telma Berchielli da Universidade Estadual Paulista – Campus Jaboticabal (UNESP), ao professor Ivanor Nunes do Prado

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira das Indústrias exportadoras de Carne – ABIEC. *Exportações Brasileiras de Carne Bovina*. 2014. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/texto.asp?id=8>. Acesso em 23 de junho de 2016.
- Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 159p, 1993.
- Allen, D. Rationing Beef Cattle. Chalcombe Publications, Church Lane, Kingston, UK, 79 p, 1992.
- Allen, M. S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 83:1598-1624, 2000.
- Allen, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, 74:3063-3075, 1996.
- Allen, M. S.; Bradford, B. J.; Harvatine, K. J. The cow as a model to study food intake regulation. *Annual Review of Nutrition*, 25:523-547, 2005.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; De Moraes, G.; Leonardo, J.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:711-728, 2013.
- Anand, B. K.; Brobeck, J. R. Localization of a "feeding center" in the hypothalamus of the rat. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 77:323-324, 1951.
- Anele, U. Y.; Dobby, E. M.; Galyean, M. L. Predicting dry matter intake by growing and finishing beef cattle: Evaluation of current methods and equation development. *Journal of Animal Science*, 92:2660-2667, 2014.
- ANUALPEC – *Anuário da Pecuária Brasileira*. 22 Ed. São Paulo: Instituto FNP. 280 p. 2015.
- da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e ao professor Fabiano Alvim Barbosa da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (EV- UFMG) pela disponibilidade de dados de consumo individual de bovinos provenientes de pesquisas nessas Instituições.
- Bell, C. G.; Walley, A. J.; Froguel, P. The genetics of human obesity. *Nature Reviews Genetics*, 6:221-234, 2005.
- Berry, D. P.; Crowley, J. J. Residual intake and body weight gain: a new measure of efficiency in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 90:109-115, 2012.
- Beef Cattle Nutrient Requirements Model – BCNRM. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Eighth Revised Edition. Washington, D.C: The National Academies Press, 494 p, 2016.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. Portaria 51, de 24 de maio de 1991. Proíbe a produção, importação, comercialização e uso de substâncias naturais ou artificiais, com atividade anabolizante, ou outras, dotadas dessa atividade para fins de crescimento e ganho de peso dos animais de abate. *Diário Oficial*, Brasília, 1991.
- Cervieri, R. C.; Carvalho, J. C. F.; Martins, C. L. Evolução do manejo nutricional nos confinamentos brasileiros: importância da utilização de subprodutos da agroindústria em dietas de maior inclusão de concentrado. In: Simpósio Internacional de Nutrição de Ruminantes – *Recentes avanços na nutrição de bovinos confinados*, Botucatu, 2009, Anais... Botucatu: Simpósio de Nutrição de Ruminantes, 2-22, 2009.
- Choi, B. R.; Palmquist, D. L. High fat diets increase plasma cholecystokinin and pancreatic polypeptide, and decrease plasma insulin and feed intake in lactating cows. *The Journal of Nutrition*, 126:2913-2919, 1996.
- Coleman S. W.; Sollenberger, L. E. Plant-herbivore interactions. In: Barnes, R. F.; Nelson, C. J.; Lick, C. W. (Ed.) *Forages: The Science of Grassland Agriculture*, Blackwell Publishing, Ames, I.A., 2:123-136, 2007.
- Coleman, S. W.; Lippke, H.; Gill, M. Estimating the nutritive potential of forages. In: Jung, H. G., Fahey Jr., C. G. (Ed.) Nutritional ecology of herbivores: Proc. Vth Int. Symp. Nutr. Herbivores. *Am. Soc. Anim. Sci.*, Savoy, IL, 647-695, 1999.

- Costa, V. A. C.; Detmann, E.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Carvalho, I. P. C.; Monteiro, L. P. Consumo e digestibilidade em bovinos em pastejo durante o período das águas sob suplementação com fontes de compostos nitrogenados e de carboidratos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 8, p.1788-1798, 2011.
- Crespo, C. S.; Cachero, A. P.; Jiménez, L. P.; Barrios, V.; Ferreira, E. A. Peptides and food intake. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 5:58, 2014.
- Crowley, J. J.; Mcgee, M.; Kenny, D. A.; Crews Jr, D. H.; Evans, R. D.; Berry, D. P. Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance-tested beef bulls. *Journal of Animal Science*, 88:885-894, 2010.
- Currie, P. J.; Mirza, A.; Fuld, R.; Park, D.; Vasselli, J. R. Ghrelin is an orexigenic and metabolic signaling peptide in the arcuate and paraventricular nuclei. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 289:R353-R358, 2005.
- Detmann, E. Fibra na nutrição de novilhas leiteiras. In: Pereira, E. S., Pimentel, P. G., Queiroz, A. C., Mizubuti, I. Y. (Ed.). *Novilhas leiteiras*. Gráfica: Fortaleza, 253–302, 2010.
- Detmann, E.; Paulino, M. F.; Zervoudakis, J. T.; Cecon, P. R.; Valadares Filho, S. C.; Gonçalves, L. C.; Cabral, L. S.; Melo, A. J. N. Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para terminação de novilhos mestiços em pastejo durante a época seca: desempenho produtivo e características de carcaça. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33:169-180, 2004.
- Detmann, E.; Queiroz, A. C. D.; Cecon, P. R.; Zervoudakis, J. T.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Cabral, L. S.; Lana, R. P. Consumo de fibra em detergente neutro por bovinos em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32:1763-1777, 2003.
- Detmann, E.; Gionbelli, M. P.; Huhtanen, P. A. meta-analytical evaluation of the regulation of voluntary intake in cattle fed tropical forage-based diets. *Journal of Animal Science*, 92:4632-4641, 2014.
- Dietrich, M. O.; Horvath, T. L. Feeding signals and brain circuitry. *European Journal of Neuroscience*, 30:1688-1696, 2009.
- Forbes, J. M. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. *Nutrition Research Reviews*, 20:132-146, 2007.
- Forbes, J. M.; Provenza, F. D. Integration of learning and metabolic signals into a theory of dietary choice and food intake. In: Cronje, P. (Ed.) *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. CAB International, Wallingford, U.K, 3-19, 2000.
- Fox, D. G.; Sniffen, C. J.; O'Conner, J. D. Adjusting nutrient requirements of beef cattle for animal and environmental variations. *Journal of Animal Science*, 66:1475-1495, 1988.
- Galyean, M. L.; Dilorenzo, N.; McMeniman, J. P.; Defoor, P. J. Alpha beef cattle nutrition symposium: Predictability of feedlot cattle growth performance. *Journal of Animal Science*, 89:1865-1872, 2011.
- Galyean, M. L.; Hubbert, M. E. Predicting intake by beef cattle—Relationship of dry matter intake to initial weight. *Clayton Livest. Res. Ctr. Prog. Rep*, 80, 1992.
- Galyean, M. L.; Goetsch, A. L. Utilization of forage fiber by ruminants. In: Jung, H. G.; Buxton, D. R.; Hatfield, R. D.; Ralph, J. (Ed.) *Forage cell wall structure and digestibility*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 33-71, 1993.
- Grant, A. L.; Helferich, W. G. An overview of growth. In: Pearson, A. M.; Dutson, T. R. (Eds.). *Growth regulation in farm animals*. London: Elsevier Applied Science, 1-15, 1991.
- Harper, K. J.; McNeill, D. M. The Role of iNDF in the Regulation of Feed Intake and the Importance of Its Assessment in Subtropical Ruminant Systems (the Role of iNDF in the Regulation of Forage Intake). *Agriculture*, 5:778-790, 2015.
- Hetherington, A. W.; Ranson, S. W. Hypothalamic lesions and adiposity in the rat. *The Anatomical Record*, 78:149-172, 1940.
- Huhtanen, P.; Rinne, M.; Nousiainen, J. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: A revision of the relative silage dry matter intake index. *Animal*, 1:758–770, 2007.
- Huuskonen, A.; Huhtanen, P.; Joki-Tokola, E. The development of a model to predict feed intake by growing cattle. *Livestock Science*, 158:74-83, 2013.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Censo agropecuário 1920/2006*. Até 1996, dados extraídos de: Estatística do Século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=AGRO02>. Acesso em 20 Junho 2015.

- Ingvartsen, K. L.; Andersen, H. R.; Foldager, J. Random variation in voluntary dry matter intake and the effect of day length on feed intake capacity in growing cattle. *Acta Agriculturae Scandinavica A – Animal Sciences*, 42:121-126, 1992.
- Jorge, A. M.; Fontes, C. A. A.; Soares, J. E., Freitas, J. D.; Rodrigues, L. R. R.; Queiroz, A. C.; Resende, F. D. Características quantitativas da carcaça de bovinos e bubalinos, abatidos em diferentes estádios de maturidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26:1039-1047, 1997.
- Keady, T.; Mayne, C.; Kilpatrick, D. An evaluation of five models commonly used to predict food intake of lactating dairy cattle. *Livestock Production Science*, 89:129-138, 2004.
- Konturek, P. C.; Konturek, J. W.; Czesnikiewicz-Guzik, M.; Brzozowski, T.; Sito, E.; Konturek, S. J. Neuro-hormonal control of food intake: basic mechanisms and clinical implications. *Journal of Physiology and Pharmacology: An Official Journal of the Polish Physiological Society*, 56:5-25, 2005.
- Lage, I. N. K.; Paulino, P. V. R.; Pires, C. V.; Villela, S. D. J.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Maia, B. A.; Silva, L. H. P.; Teixeira, C. R. V. Intake, digestibility, performance, and carcass traits of beef cattle of different gender. *Tropical Animal Health and Production*, 44:361-367, 2012.
- Lardy, G. P.; Adams, D. C.; Klopfenstein, T. J.; Patterson, H. H. Building beef cow nutritional programs with the 1996 NRC beef cattle requirements model. *Journal of Animal Science*, 82:E83-E92, 2004.
- Launchbaugh, K. L.; Dougherty, C. T. Grazing animal Behavior. In: Barnes, R. F.; Nelson, C. J.; Lick, C. W. (Ed.) *Forages: The Science of Grassland Agriculture*. v. 2, n.6, Blackwell Publishing, Ames, IA, 675–686, 2007.
- Lazzarini, I.; Detmann, E.; Sampaio, C. B.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Souza, M. A.; Oliveira, F. A. Dinâmicas de trânsito e degradação da fibra em detergente neutro em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade e compostos nitrogenados. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária*, 61:635-647, 2009.
- Leek, B.F. Sensory receptors in the ruminant alimentary tract. In: Milligan, L. P.; Grovum, W. L.; Dobson, A. (Eds.) *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Prentice Hall, New Jersey, 3–17, 1986.
- Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Detmann, E.; Paulino, M. F.; Diniz, L. L.; Santos, T. R. Consumo e desempenho de animais alimentados individualmente ou em grupo e características de carcaça de animais Nelore de três classes sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:2243-2250, 2008.
- Mayer, J.; Thomas, D. W. Regulation of food intake and obesity. *Science*, v. 156, n. 3773, p. 328-337, 1967.
- McMeniman, J. P., Defoor, P. J.; Galyean, M. L. Evaluation of the National Research Council (1996) dry matter intake prediction equations and relationships between intake and performance by feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 87:1138, 2009.
- McMeniman, J. P.; Tedeschi, L. O.; Defoor, P. J.; Galyean, M. L. Development and evaluation of feeding-period average dry matter intake prediction equations from a commercial feedlot data base. *Journal of Animal Science*, 88:3009-3017, 2010.
- Mertens, D. R. Análise da fibra e sua utilização na avaliação de alimentos e formulação de rações. In: Simpósio Internacional de Ruminantes, 1992, Lavras. *Anais... Lavras: SBZ*, 188-219, 1992.
- Mertens, D. R. Regulation of forage intake. In: Fahey Jr., G. C.; Collins, M.; Mertens, D. R.; Moser, L. E. (Eds.) *Forage Quality, Evaluation and Utilization*. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science of America, Soil Science of America, 450-493, 1994.
- Miner, J. L. Recent advances in the central control of intake in ruminants. *Journal of Animal Science*, 70:1283-1289, 1992.
- Minson, D. J. *Forage in ruminant nutrition*. San Diego: Academic Press, 483 p, 1990.
- Moore, J. E. Forage crops. In: Hoveland, C. S. (Ed.) *Crop quality, storage and utilization*. Madison: ASA and CSSA, 61-91, 1980.
- Moore, J. E.; Brant, M. H.; Kunkle, W. E.; Hopkins, D. I. Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. *Journal of Animal Science*, 77:122-135, 1999.
- National Research Council – NRC. Beef cattle. In: *Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals*. Washington, DC, 56-74, 1987.

- National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. Updated 7th ed. National Academy Press, Washington, DC, 244 p, 2000.
- National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7th. rev. ed. Washington, DC, 244 p, 1996.
- National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 6th. ed. Washington: National Academy Press, 90 p, 1984.
- National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th. rev. ed. Washington, D.C: National Academy Press, 381 p, 2001.
- Neal, H. D. C.; Thomas, C.; Cobby, J. M. Comparison of equations for predicting voluntary intake by dairy cows. *The Journal of Agricultural Science*, 103:1-10, 1984.
- Neter, J.; Kutner, M. H.; Nachtsheim, C. J.; Wasserman, W. *Applied Linear Statistical Models*, 4th Ed. New York: McGraw-Hill. 1996.
- Nkrumah, J. D.; Li, C.; Yu, J.; Hansen, C.; Keisler, D. H.; Moore, S. S. Polymorphisms in the bovine leptin promoter associated with serum leptin concentration, growth, feed intake, feeding behavior, and measures of carcass merit. *Journal of Animal Science*, 83:20-28, 2005.
- Oliveira, A. S. D.; Detmann, E.; Campos, J. M. D. S.; Pina, D. D. S.; Souza, S. M. D.; Costa, M. G. Meta-analysis of the impact of neutral detergent fiber on intake, digestibility and performance of lactating dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:1587-1595, 2011.
- Paulino, M. F.; Moraes, E.; Zervoudakis, J. T.; Alexandrino, E.; Figueiredo, D. Fontes de energia em suplementos múltiplos de auto-regulação de consumo na recria de novilhos mestiços em pastagens de *Brachiaria decumbens* durante o período das águas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:957-962, 2005.
- Paulino, P. V. R.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Valadares, R. F. D.; Fonseca, M. A.; Vêras, R. M. L.; Oliveira, D. M. Desempenho produtivo de bovinos Nelore de diferentes classes sexuais alimentados com dietas contendo dois níveis de oferta de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:1079-1087, 2008.
- Pittroff, W.; Kothmann, M. M. Quantitative prediction of feed intake in ruminants II. Conceptual and mathematical analysis of models for cattle. *Livestock Production Science*, 71:151-169, 2001.
- Ribeiro, J. S.; Ladeira, M. M.; Gonçalves, T. M.; Whately, M. A.; Bassi, M. S.; Vallone, M. M. Avaliação das predições de consumo de matéria seca obtidas por meio dos sistemas de exigências nutricionais para grupos zebuínos confinados. In: 45ª Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2008, Lavras. *Anais... 45ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. Lavras, 2008.
- Sampaio, C. B.; Detmann, E.; Lazzarini, I.; Souza, M. A. D.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C. Rumen dynamics of neutral detergent fiber in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:560-569, 2009.
- Simpfendorfer, S. *Relationship of body type, size, sex and energy intake to the body composition of cattle*. Dissertation. Cornell University., Ithaca, New York, 1974.
- Stanley, S.; Wynne, K.; McGowan, B.; Bloom, S. Hormonal regulation of food intake. *Physiological reviews*, 85:1131-1158, 2005.
- St-Pierre, N. R. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science*, 84:741-755, 2001.
- Teixeira, J. C.; Hespanhol, A. N. A trajetória da pecuária bovina brasileira. *Caderno Prudentino de Geografia*, 36:26-38, 2015.
- Thornton, J. H.; Owens, F. N.; Gill, D. R. Feed intake by feedlot beef steers: Influence of initial weight and time on feed. Annual report-Oklahoma *Agricultural Experiment Station* (USA), MP-117, 320, 1985.
- Triola, M. F. *Introdução à estatística*. Tradução Alfredo Alves de Farias. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 133, 1999.
- Valadares Filho, S. C.; Azevêdo, J. A. G.; Pina, D. S.; Detmann, E.; Valadares, R. F. D. Predição do consumo de matéria seca de bovinos de corte em condições tropicais. In: VIII Congresso Internacional de Zootecnia e X Congresso Nacional de Zootecnia, Recife, 2006a, *Anais... Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco*, 1-26, 2006a.

- Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhães, K. A. *Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos – BR-CORTE*. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, Suprema Gráfica Ltda, 142 p, 2006b.
- Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados – BR-CORTE*. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, Suprema Gráfica Ltda, 193 p, 2010.
- Van Soest, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 476 p, 1994.
- Véras, R. M. L.; Valadares Filho, S. C.; Azevêdo, J. A. G.; Detmann, E.; Paulino, P. V. R.; Barbosa, A. M.; Marcondes, M. I. Níveis de concentrado na dieta de bovinos Nelore de três condições sexuais: consumo, digestibilidade total e parcial, produção microbiana e parâmetros ruminais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:951-960, 2008.
- Waldo, D. R.; Jorgensen, N. A. Forages for high animal production: nutritional factors and effects of conservation. *Journal of Dairy Science*, 64:1207-1229, 1981.
- Zanetti, D. *Water intake, environmental contaminants, and mineral balance in Nelore cattle* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 162p., Dados não publicados.

Degradação ruminal da proteína dos alimentos e síntese de proteína microbiana

Stefanie Alvarenga Santos, Polyana Pizzi Rotta, Luiz Fernando Costa e Silva, Ana Clara Baião Menezes, Douglas dos Santos Pina, Sebastião de Campos Valadares Filho

Os ruminantes representam um grupo de animais que tem como característica principal a ingestão de dietas que sofrem modificações no interior do rúmen por microrganismos anaeróbicos. Esses microrganismos encontram no rúmen condições ideais para seu desenvolvimento e durante seu crescimento utilizam as proteínas da dieta do ruminante como fonte alimentar. À medida que a digesta ruminal flui pelo trato gastrointestinal, esses microrganismos se tornam fonte de proteína para digestão no intestino delgado dos ruminantes. Sendo assim, para encontrar uma recomendação adequada das exigências proteicas para bovinos é necessário conhecer o tipo de modificação imposta por esses microrganismos e a quantidade de proteína de origem microbiana que chega ao intestino delgado a partir de determinada dieta.

INTRODUÇÃO

O *pool* de proteínas potencialmente fermentáveis no rúmen inclui os compostos nitrogenados da dieta, além da proteína endógena da saliva, descamação de células epiteliais e microrganismos ruminais que sofreram lise e permanecem no rúmen (NRC, 2001). Este *pool* proteico que sofre modificações significativas nesse compartimento é denominado de proteína degradável no rúmen (PDR). Assim, a nutrição proteica dos ruminantes é dependente da magnitude e perfil desse *pool*, que chega ao intestino delgado para absorção na forma de aminoácidos juntamente com a proteína da dieta que não sofre degradação no rúmen, também chamada de proteína não degradada no rúmen (PNDR). O conjunto de todos esses aminoácidos que estão disponíveis para digestão e posterior absorção intestinal compõe a proteína metabolizável (PM). Dessa forma, a obtenção dos valores de exigências nutricionais

de PM e proteína bruta (PB) para bovinos de corte, parte da premissa de que se deve conhecer as modificações que o rúmen impõe aos compostos nitrogenados da dieta. Para isso faz-se necessário conhecer a proteína microbiana que é produzida no rúmen ao se fornecer determinada dieta, conhecer os fatores que alteram a eficiência de produção dessa proteína, bem como entender a digestão e absorção dessa proteína no trato gastrointestinal.

Na literatura são encontrados diferentes métodos para se estimar a partição do nitrogênio da dieta em PDR e PNDR, bem como sua digestibilidade intestinal. Esses métodos incluem avaliações *in vivo*, *in situ* e uma variedade de métodos *in vitro* (Schwab et al., 2003). Levando-se em consideração a exatidão dos métodos, o método *in vivo* apresenta como característica o fornecimento de estimativas fidedignas do que ocorre na digestão dos nutrientes. Contudo, técnicas *in vivo* requerem grande quantidade de alimentos, grande número de repetições para serem contornadas as variações referentes ao animal e não permitem gerar resultados para alimentos concentrados fornecidos isoladamente. Dessa forma, essa técnica se aplica, na maioria das situações, apenas para o estudo das dietas. Além disso, muitos dos ensaios *in vivo* preconizam o uso de animais fistulados não apenas no rúmen, como também em outros compartimentos como abomaso e íleo, que representam fontes estressantes e podem alterar o desempenho animal (Harmon e Richards, 1997). Assim, o ônus para se obter um número adequado de repetições aliado ao custo de manutenção dos animais e ao número de amostras, pode tornar os estudos *in vivo* onerosos. Isso tem levado ao crescente interesse pelo uso de técnicas *in vitro* e *in situ* (Broderick e Cochran, 2000).

Assim, a validação de protocolos que permitam o uso de técnicas *in vitro* e *in situ* de forma acurada e precisa, é uma alternativa para obtenção de estimativas da degradação da proteína ruminal. A estimativa da síntese total de nitrogênio microbiano também pode ser realizada utilizando-se técnicas *in vivo* com o uso de indicadores microbianos, também associadas às desvantagens operacionais e conflitantes com os princípios do bem-estar animal. Dessa forma, técnicas alternativas como o uso dos derivados de purina urinários podem ser usadas para se quantificar o fluxo de nitrogênio microbiano que deixa o rúmen e chega ao intestino delgado para absorção na forma de aminoácidos. A proteína microbiana sintetizada no rúmen pode suprir a maior parte dos aminoácidos requeridos para a manutenção e crescimento de bovinos (Titgemeyer e Merchen, 1990), levando-se em consideração ainda que a dieta pode interferir na eficiência com que ocorre o crescimento microbiano e conseqüentemente no suprimento de aminoácidos. Além disso, a capacidade de se mensurar a produção e eficiência microbiana em função da dieta ofertada é uma ferramenta essencial na estimativa das exigências de PM, bem como a determinação da digestibilidade intestinal da proteína verdadeira microbiana, uma vez que os ácidos nucléicos não são utilizados na síntese de tecidos corporais e proteínas do leite (AFRC, 1993). Portanto esses ácidos nucléicos devem ser descontados ao se estimar as exigências de PM para bovinos de corte. Assim, o objetivo desse capítulo foi discutir as principais técnicas envolvidas na estimativa dos teores de PDR e PNDR dos alimentos, incluindo os efeitos da contaminação microbiana nos resíduos da incubação ruminal, avaliar as técnicas usadas para quantificar a proteína microbiana e os fatores que afetam a sua produção, e desenvolver equações para estimar a produção de proteína microbiana.

DEGRADAÇÃO RUMINAL DA PROTEÍNA

Técnicas in situ

Dentre as maiores divergências encontradas na estimação da degradação ruminal da proteína está a escolha da técnica a ser utilizada. A técnica *in situ* trata-se da

mensuração do desaparecimento ruminal dos alimentos por intermédio da adição dos ingredientes no interior de sacos com uma porosidade conhecida por onde os microrganismos ruminais acessam o alimento e o degradam, permitindo assim a quantificação do resíduo não degradado. Os sacos por sua vez são incubados na digesta ruminal de um animal fistulado, o que caracteriza a denominação da técnica de *in situ* (Orskov et al., 1980). O estudo da degradabilidade ruminal é de extrema importância no conhecimento da modificação que os alimentos sofrem no interior do rúmen. No caso da PB, a mesma pode ser degradada e transformada em proteína microbiana. Em estudos de digestibilidade ruminal, a PB da dieta pode apresentar digestibilidade negativa, próxima de zero ou positiva, em função da eficiência da proteína microbiana. Neste caso o estudo da degradabilidade é essencial para o entendimento das modificações impostas a esse nutriente dentro do rúmen.

De acordo com Nocek (1988), a utilização da técnica *in situ* permite o contato íntimo do alimento teste com o ambiente ruminal. Não há melhor maneira de simular o ambiente ruminal durante determinadas condições de temperatura, pH, substrato, tamponamento e populações microbianas. Porém, como limitação, o alimento estudado não é submetido a todas as etapas digestivas como a mastigação, ruminação e passagem. De acordo com López (2005), outras limitações podem ser relatadas pois nem todo o material que deixa o saco pode ser considerado degradável, assim como nem todo o material remanescente é considerado indegradável. Além disso, o autor relata que o saco pode ser considerado um compartimento independente no rúmen, sendo que o tecido representa uma barreira que, por um lado, permite a degradação do alimento sem que o mesmo seja perdido no ambiente ruminal, e por outro lado impõe obstáculo para simulação das condições ruminais no interior do mesmo. Mesmo assim, de acordo com Nocek (1988), essa técnica tem sido utilizada durante vários anos e é a base para que se possa prever a digestão em vários sistemas de alimentação e suas comparações. Para isso, a técnica passou por diversas fases para sua padronização, se tornando técnica precisa

e reprodutível. Assim ao longo de 20 anos muitos autores descreveram os pontos críticos e algumas padronizações que tornaram o método o mais verossímil possível, os quais serão discutidos a seguir.

a) Perda de material não degradado

A perda de material no interior do saco no rumen é um ponto crítico, pois partículas inferiores ao tamanho dos poros do saco podem ser perdidas mesmo sem que haja degradação prévia. Esse evento pode causar superestimação da fração solúvel ou mesmo da sua taxa de degradação ruminal. Entretanto, a redução do tamanho de partículas pela moagem facilita o acesso microbiano, uma vez que o alimento não passa pelos processos de mastigação e ruminação. Para minimizar o problema, alguns autores recomendaram incubações *in situ*, utilizando-se tamanhos de partícula entre 1,5 e 3 mm de diâmetro (Huntington e Givens, 1995; Broderick e Cochran, 2000).

Utilizando forrageiras tropicais, Casali et al. (2008) recomendaram tamanhos de partícula de 2 mm para incubação *in situ* para maior precisão nas estimativas das frações degradáveis. Estes autores verificaram que o tamanho de 3 mm reduziu a precisão dos resultados provavelmente em virtude da menor superfície específica para ação microbiana. O NRC (2001) também sugeriu a padronização de incubações *in situ*, utilizando-se partículas moídas a 2 mm. Assim nesta edição do BR-CORTE recomenda-se a moagem com peneiras de 2 mm para realização de ensaios *in situ*, embora, para realização de análises químicas seja utilizada a porosidade de 1 mm, conforme determinado por Valente et al. (2011) para resultados mais acurados para fibra em detergente neutro (FDN). Porém, mesmo com a padronização do tamanho de partícula, existem perdas de material não digerido, assim, alguns autores recomendaram a correção dos dados de degradação *in situ* pela lavagem dos sacos em água e determinação da perda imediata de partículas (López et al., 1994 e France et al., 1997).

Hvelplund e Weisbjerg (2000) descreveram um protocolo para estimar a extensão da perda de partículas e correção das

frações da degradação por intermédio da diferença entre a perda de material dos sacos de nylon, quando esses foram apenas lavados com água e a solubilidade verdadeira mensurada em papel de filtro. A mensuração da solubilidade em água deve ser realizada adicionando-se 0,5 g de amostra em 40 ml de água, que devem permanecer por 1h à temperatura ambiente. Após esse tempo, o material deve ser transferido para papel de filtro livre de nitrogênio para quantificação do N solúvel em água. A correção para perda de partículas pode ser realizada, utilizando equações propostas por Weisbjerg et al. (1990):

$$DEG_{cor}(ti) = DEG(ti) - P \times \left[1 - \frac{DEG(ti) - P + SOL}{1 - (P + SOL)} \right]$$

$$a_{cor} = a - P$$

$$b_{cor} = b + P \times \left[\frac{b}{1 - (P + SOL)} \right]$$

$$c_{cor} = c$$

em que: $DEG_{cor}(ti)$ = degradabilidade corrigida no tempo de incubação ti ; $DEG(ti)$ = degradabilidade mensurada no tempo de incubação ti ; P = perda de partículas; SOL = solubilidade em água; a_{cor} = fração solúvel corrigida; b_{cor} = fração insolúvel potencialmente degradável corrigida; c_{cor} = taxa de degradação corrigida; a , b , c = frações mensuradas sem correção.

b) Contaminação microbiana nos resíduos da incubação ruminal de alimentos volumosos e concentrados

Após finalização de um ensaio de degradação ruminal *in situ*, os sacos passam por um processo de lavagem para imediata paralisação da degradação microbiana e também para remoção de digesta ruminal e resíduos microbianos aderidos ao alimento ou aos sacos. Porém, alguns autores (Nocek e Grant, 1987; Vanzant et al., 1998; Michalet-Doreau e Ould-Bah, 1992) relataram que é relativamente difícil alcançar a completa remoção da massa microbiana aderida às

partículas, pois a adesão microbiana específica é necessária ao início de processo de colonização das partículas. Dessa forma, a contaminação microbiana nos resíduos de incubação representa importante fonte de variação, implicando na superestimação dos resíduos e frações indegradáveis, com consequente subestimação da fração potencialmente degradável. Especialmente, para a fração proteica de volumosos de baixo teor proteico, a contaminação microbiana implica em maior impacto nas estimativas das frações degradáveis.

Entretanto, os procedimentos para estimação da contaminação microbiana demandam a utilização de indicadores microbianos, que são de alto custo e elevam o tempo final para análises químicas, desencorajando a maior parte dos pesquisadores em realizar tal procedimento em suas incubações. As técnicas atuais utilizadas para correção da contaminação microbiana se baseiam em eliminar as células bacterianas do resíduo (Michalet-Doreau e Ould-Bah, 1992) ou marcar as células microbianas para posterior isolamento e quantificação de microrganismos aderidos aos resíduos (Nocek, 1988). Vários indicadores microbianos podem ser utilizados nesse procedimento, como o ácido diaminopimélico, RNA, ^{35}S e ^{15}N . O ^{15}N tem sido amplamente utilizado como indicador para quantificar a produção microbiana, já que é um isótopo estável, de baixo risco ambiental, de baixo custo em relação a outros isótopos, por marcar todos os *pools* de N microbiano e por não marcar a proteína do animal até que os aminoácidos microbianos marcados sejam incorporados aos seus tecidos (Broderick e Merchen, 1992). No entanto, deve-se enfatizar o alto custo dessa técnica e a dificuldade de se determinar a contaminação microbiana em todos os ensaios envolvendo incubações *in situ*. Uma solução para minimizar esses entraves seria a elaboração de um protocolo de correção que não necessite do uso de indicadores microbianos em todos os procedimentos, elevando a exatidão das estimativas sem elevar o custo experimental.

Para isso, Machado et al. (2013) conduziram estudo, utilizando ^{15}N como indicador microbiano para estudar a contaminação microbiana em resíduos de

incubação de alimentos volumosos. Esses autores apresentaram um protocolo matemático para correção dos resíduos de incubação ruminal *in situ* e ainda para correção das frações degradáveis, que será adotado nessa edição do BR-CORTE. Os autores relataram que a fração solúvel (A) e a potencialmente degradável (B) de volumosos de menor teor proteico podem ser subestimadas quando não corrigidas. Os autores recomendaram as equações a seguir:

$$(1) A_{PBCC} = 1,99286 + 0,98256 \times A_{PBSC}$$

$$(2) B_{PBCC} = -17,2181 - 0,0344 \times B_{PBSC} + 0,65433 \times PB + 1,03787 \times FDN + 2,66010 \times PIDN - 0,85979 \times FDNi$$

$$(3) kd_{PBCC} = 0,04667 + 0,35139 \times kd_{PBSC} + 0,0020 \times PB - 0,00055839 \times FDN - 0,00336 \times PIDN + 0,00075089 \times FDNi$$

em que A_{PBCC} = fração solúvel da PB corrigida para contaminação microbiana, A_{PBSC} = fração solúvel da PB sem correção para contaminação microbiana, B_{PBCC} = fração potencialmente degradável da PB corrigida para contaminação microbiana, B_{PBSC} = fração potencialmente degradável da PB sem correção para contaminação microbiana, kd_{PBCC} = taxa de degradação da fração B corrigida para contaminação microbiana, kd_{PBSC} = taxa de degradação da fração B sem correção para contaminação microbiana, $PIDN$ = proteína insolúvel em detergente neutro, FDN = fibra insolúvel em detergente neutro e $FDNi$ = FDN indigestível.

Machado et al. (2013) recomendaram ainda que o percentual de contaminação microbiana nos tempos de incubação para alimentos volumosos com diferentes teores de PB pode ser obtido através da seguinte equação:

$$\%C = 79,21 \times (1 - e^{-0,0555 \times t}) \times e^{-0,0874 \times PB}$$

em que %C = estimativa da percentagem de contaminação microbiana, t = tempo de residência do alimento no rúmen em horas, PB = percentual de proteína bruta no alimento expresso na base da MS.

Assim, para corrigir os resíduos não degradados dos alimentos incubados antes da

obtenção das estimativas das frações, os mesmos autores recomendaram a equação descrita a seguir:

$$RND_c = RND \times \left(\frac{100 - \%C}{100} \right)$$

em que RND_c = resíduo não degradado corrigido (g); RND = resíduo de incubação aparente (g), e $\%C$ = percentual de contaminação microbiana em relação à amostra incubada inicialmente.

Assim, recomenda-se que em ensaios *in situ*, as estimativas de degradação ruminal da PB, obtidas para volumosos tropicais, sejam corrigidas para contaminação microbiana para que sejam geradas estimativas acuradas das frações solúvel ou potencialmente degradável dos alimentos estudados e das respectivas taxas de degradação.

Para determinar o impacto da contaminação microbiana em resíduos de incubação *in situ* de alimentos concentrados, Menezes (2016) conduziu estudo, utilizando ^{15}N como indicador microbiano e avaliou 12 alimentos concentrados, sendo 6 concentrados proteicos e 6 energéticos. Embora tenha ocorrido contaminação microbiana nos resíduos da incubação (Figura 3.1), o autor não relatou diferença significativa ($P > 0,05$) entre as frações da degradação A, B e kd corrigidas ou não para contaminação microbiana após 72 horas de incubação ruminal (Tabela 3.1). Observou-se que percentualmente, as maiores contaminações foram obtidas para o milho desintegrado com palha e sabugo e os farelos de girassol e de trigo, que são alimentos que possuem maiores teores de FDN. Os dados observados por esse autor evidenciaram que em alimentos concentrados a contaminação microbiana representa contribuição irrelevante aos resíduos de incubação, resultando na recomendação aos pesquisadores que a

correção para essa contaminação não deve gerar grandes alterações nos teores de PDR e PNDR.

Por outro lado, Beckers et al. (1995) encontraram efeito da contaminação microbiana na degradabilidade proteica de alimentos concentrados. Os autores relataram, que entre os alimentos estudados (farelo de trigo, farinha de carne e ossos e farelo de soja), a contaminação microbiana representou menos de 5% dos resíduos, mas que esta porcentagem se eleva proporcionalmente com passar dos tempos de incubação. Alexandrov (1998) relatou que a adesão microbiana em resíduos de alimentos concentrados com reduzido conteúdo de constituintes da parede celular e reduzido teor de PB é inferior aos resíduos com altos níveis de fibra, demonstrando o papel da FDN na adesão microbiana e consequente contaminação dos resíduos.

Estes fatos ficam evidentes em trabalhos que avaliaram a contaminação microbiana em resíduos de incubação de alimentos volumosos como Machado et al. (2013), Krawielitzki et al. (2006) e Dixon e Chanchai (2000), sendo que os resíduos se tornam proporcionalmente mais contaminados com proteína microbiana à medida que os tempos de incubação avançaram. Entretanto, esse aumento da contaminação não é linear pois Krawielitzki et al. (2006), avaliando 20 diferentes alimentos volumosos e concentrados, observaram que a contaminação microbiana apresenta comportamento exponencial em função dos tempos estudados. Esses autores também concluíram que o nível de contaminação microbiana é positivamente correlacionado com os níveis de FDN do alimento, o que reforça o fato de que alimentos fibrosos favorecem a adesão microbiana no interior dos sacos de incubação e precisam ser estudados com maior cautela por parte dos pesquisadores.

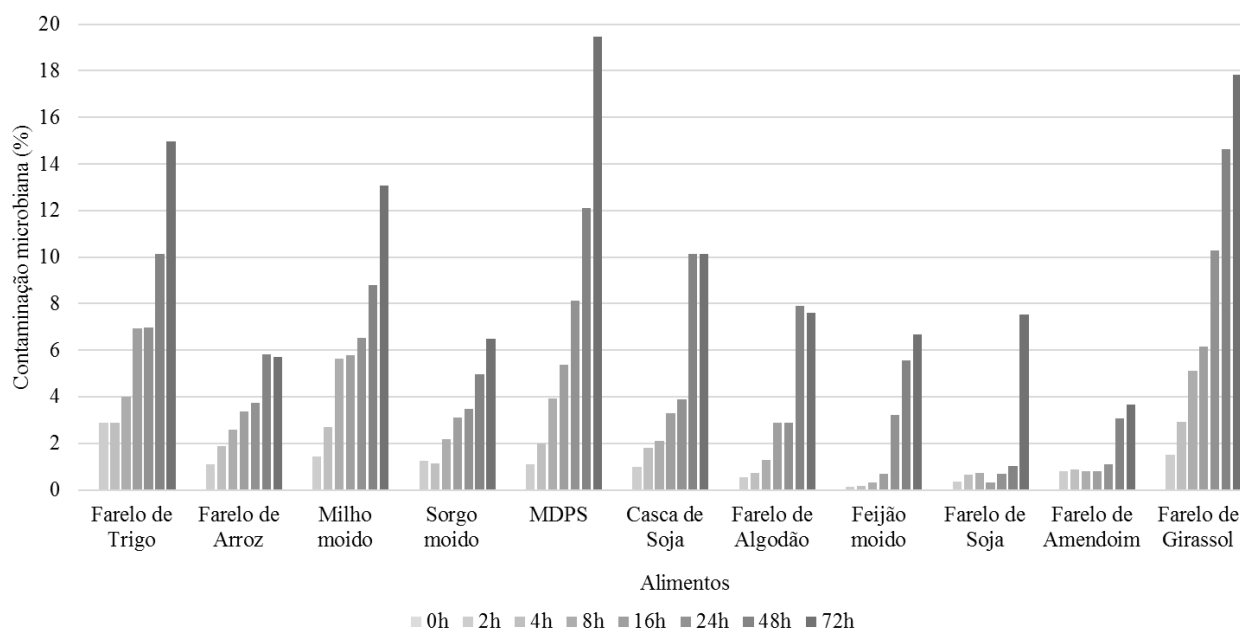


Figura 3.1 - Contaminação microbiana em resíduos obtidos após 72 horas de incubação in situ de concentrados proteicos e energéticos em bovinos. MDPS = milho desintegrado com palha e sabugo (Adaptada de Menezes, 2016).

c) *Delineamento experimental e tempos de incubação*

Os protocolos experimentais adotados por Machado et al. (2013) e Menezes (2016) representam alternativas adequadas para avaliação da degradação ruminal *in situ* em alimentos. Esses autores utilizaram repetidas incubações dos mesmos alimentos em animais distintos, utilizando o delineamento em quadrado latino (DQL) como principal instrumento para coleta de dados. De acordo com Machado et al. (2013), o DQL pode ser utilizado para organizar a coleta de dados no campo, permitindo mensurar a degradação de diferentes alimentos, eliminando o efeito de confundimento do animal. O DQL pode ser utilizado para controlar as fontes de variação e evitar erros experimentais oriundos da variabilidade entre os animais estudados em um determinado ensaio. Machado et al. (2013) ressaltaram que o DQL não precisa ser obrigatoriamente utilizado para estimar a variabilidade ou comparar os efeitos das fontes de variação, mas sim para proceder uma coleta de dados menos viesada.

Quando o objetivo da incubação ruminal for obter dados para estimar a digestibilidade intestinal da PNDR, Menezes (2016), por meio de análise de agrupamento, recomendaram tempos necessários para se determinar a PDR de alimentos concentrados proteicos de $9,9 \pm 2,91$ h de incubação, ao considerar $k_p = 0,05 \text{ h}^{-1}$, e de $7,5 \pm 2,11$ h de incubação considerando $k_p = 0,08 \text{ h}^{-1}$. Já para alimentos concentrados energéticos, o autor obteve dois subgrupos, sendo que milho moído, sorgo moído e milho desintegrado com palha e sabugo apresentaram os seguintes tempos necessários para determinação da PDR, $15,4 \pm 3,88$ h para $k_p = 0,05 \text{ h}^{-1}$ e $10,4 \pm 2,79$ horas de incubação para $k_p = 0,08 \text{ h}^{-1}$. Já para os farelos de trigo e de arroz e a casca de soja, foram estimados os tempos de incubação de $6,8 \pm 2,24$ h para $k_p = 0,05 \text{ h}^{-1}$, e de $5,36 \pm 1,65$ horas de incubação para $k_p = 0,08 \text{ h}^{-1}$. Assim, nota-se que as recomendações da literatura para utilização de um tempo de 16h (Calsamiglia et al., 1995) para obter a PDR dos alimentos, possivelmente não podem ser aplicadas para todos os alimentos em conjunto (Tabela 3.2).

Tabela 3.1 - Frações solúvel (a) e potencialmente degradável (b) da proteína bruta e taxa de degradação da fração b (kd) corrigidas e não-corrigidas para contaminação microbiana em ingredientes concentrados energéticos e protéicos

Alimentos	Parâmetros ¹	Não-corrigido	Corrigido	P-valor ²
Farelo de trigo	A	31,2 ± 2,02	31,1 ± 2,02	0,993
	B	63,7 ± 2,21	63,3 ± 2,21	
	kd	0,332 ± 0,0260	0,324 ± 0,0250	
Farelo de arroz	A	36,9 ± 2,63	36,9 ± 2,63	0,995
	B	44,8 ± 2,87	44,0 ± 2,87	
	kd	0,336 ± 0,0490	0,335 ± 0,0500	
Milho grão	A	30,9 ± 1,60	30,3 ± 1,58	0,910
	B	68,8 ± 3,39	69,7 ± 5,77	
	kd	0,037 ± 0,0050	0,033 ± 0,0030	
Sorgo grão	A	35,1 ± 1,48	34,6 ± 1,46	0,973
	B	64,3 ± 2,29	64,7 ± 2,49	
	kd	0,021 ± 0,0020	0,020 ± 0,0020	
MDPS ³	A	24,3 ± 2,51	24,2 ± 2,47	0,958
	B	70,1 ± 4,41	69,9 ± 4,88	
	kd	0,043 ± 0,0070	0,039 ± 0,0070	
Casca de soja	A	17,3 ± 3,87	17,2 ± 3,87	0,997
	B	67,3 ± 4,27	66,4 ± 4,27	
	kd	0,200 ± 0,0300	0,200 ± 0,0310	
Farelo de algodão	A	27,3 ± 2,07	27,2 ± 2,07	0,997
	B	62,2 ± 2,31	61,6 ± 2,31	
	kd	0,154 ± 0,0150	0,154 ± 0,0150	
Farelo de soja	A	27,0 ± 2,25	27,0 ± 2,25	0,999
	B	70,6 ± 2,51	70,5 ± 2,51	
	kd	0,152 ± 0,0140	0,152 ± 0,0140	
Feijão	A	23,8 ± 2,82	23,7 ± 2,82	0,999
	B	73,4 ± 3,43	73,6 ± 3,43	
	kd	0,092 ± 0,0120	0,091 ± 0,0120	
Farelo de amendoim	A	26,8 ± 3,35	26,7 ± 3,34	0,999
	B	65,0 ± 3,79	64,9 ± 3,79	
	kd	0,134 ± 0,0210	0,132 ± 0,0200	
Farelo de girassol	A	18,0 ± 4,61	30,1 ± 3,67	0,738
	B	63,8 ± 4,95	50,2 ± 4,44	
	kd	0,145 ± 0,0280	0,121 ± 0,0290	

¹Parâmetros estimados pelo modelo Orskov e McDonald (1979). ²P-valor – Teste de identidade dos modelos (Regazzi, 1993). ³MDPS – milho desintegrado com palha e sabugo. Adaptada de Menezes (2016).

No entanto, deve-se ressaltar que provavelmente esses tempos não sejam suficientes para se estudar a degradabilidade da PB de volumosos tropicais. Alguns trabalhos nacionais (Martins et al., 1999; Cabral et al., 2005; Pires et al., 2006) utilizaram os tempos de degradação *in situ* de 48 horas para concentrados e 72 horas para volumosos. Detmann et al. (2008) relataram que existem diferenças na dinâmica da degradação ruminal de alimentos

volumosos tropicais e temperados, o que leva a inferir que essas diferenças refletem nos tempos de incubação necessários para se alcançar os valores assintóticos dos resíduos de incubação ruminal nestes dois grupos de alimentos. Apesar de serem encontrados trabalhos avaliando tempos necessários à determinação de frações fibrosas em incubação *in situ* (Casali et al., 2008), são escassos os trabalhos avaliando tempos necessários para determinação da PDR dos alimentos volumosos tropicais.

Tabela 3.2 - Período de incubação necessário (horas) para estimação da proteína degradável no rúmen (PDR) de alimentos concentrados, considerando duas taxas de passagem

Alimentos ⁴	Taxa de passagem ruminal									
	0,05 h ⁻¹					0,08 h ⁻¹				
	TII ¹	TIM ²	EPM ³	Intervalo de confiança		TII ¹	TIM ²	EPM ³	Intervalo de confiança	
Inferior				Superior	Inferior				Superior	
Milho grão	15,2					10,3				
1 Sorgo grão	16,3	15,4	0,46	13,4	17,4	10,6	10,4	0,12	9,80	10,9
MDPS ⁵	14,8					10,2				
Farelo de trigo	6,20					5,00				
2 Farelo de arroz	6,10	6,80	0,60	4,20	9,30	4,90	5,40	0,41	3,60	7,10
Casca de soja	7,90					6,20				
Farelo de algodão	9,10					7,00				
Farelo de soja	9,20					7,00				
3 Feijão	11,4	9,90	0,41	8,80	11,1	8,30	7,50	0,25	6,80	8,20
Farelo de amendoim	9,80					7,40				
Farelo de girassol	10,2					7,60				

¹TII = Tempo de incubação individual; ²TIM = Tempo de incubação médio; ³EPM = Erro padrão da média;

⁴Alimentos agrupados em *Cluster*; ⁵Milho desintegrado com palha e sabugo. Adaptada de Menezes (2016).

d) Condições internas nos sacos de incubação

De acordo com López (2005), as condições no interior do saco de incubação devem ser similares ao restante do rúmen. Dessa forma a escolha apropriada do tecido para confecção dos sacos deve ser criteriosa. O material deve ser sintético e absolutamente refratário à degradação microbiana. Segundo Nocek (1997), a porosidade apropriada de um saco constitui ajuste entre limitar o influxo de conteúdo ruminal, não associado ao alimento avaliado, permitindo-se, no entanto, o influxo de populações microbianas para degradação, enquanto, ao mesmo tempo, limita-se a saída de partículas alimentares não degradadas. Por

muitos anos foi utilizado como padrão para incubação o tecido de nylon com porosidade variando entre 40 a 60 μm , conforme recomendado por Nocek (1997). Entretanto, esta porosidade vem sendo questionado em estudos nacionais e internacionais. Hvelplund e Weisbjerg (2000) recomendaram a utilização de sacos de nylon com porosidade entre 30 a 50 μm no estudo da degradação *in situ* da PB. Entretanto, estudos comparando estimativas da degradação proteica em sacos de diferentes porosidades não foram encontrados na literatura consultada. Assim, até que mais estudos sejam conduzidos para avaliar a porosidade ideal dos sacos de nylon para melhor obtenção de estimativas da PDR

dos alimentos, recomenda-se o uso de náilon com porosidade de 40 a 60 μm .

A área de superfície de contato dos sacos incubados em relação à amostra também é uma variável importante levando em consideração as condições internas de degradação *in situ*. De acordo com Nocek (1988), a quantidade ótima de amostra é aquela que proporciona quantidade suficiente para análises químicas ao final do processo, sem que haja enchimento excessivo do saco ao ponto de atrasar a adesão microbiana, elevando a fase de latência e subestimando as taxas digestão. Após revisão de literatura, o autor recomendou para a maior parte dos alimentos uma amostra de 10 a 20 mg/cm^2 de saco, ressaltando que para alimentos concentrados o maior valor pode ser crítico devido a elevada densidade e rápida degradação, podendo haver intensa produção de gases por unidade de tempo. Assim, apesar de ter surgido na década de 80, o estudo de Nocek (1988) ainda não foi refutado, sendo até hoje utilizado como referência nos estudos de incubação *in situ*.

Técnicas *in vitro*

A técnica *in vitro* vem sendo utilizada na nutrição de ruminantes ao longo de muitos anos e de acordo com Hungate (1966), os primeiros estudos dataram da década de 20. Calsamiglia et al. (2000) afirmaram que são necessários procedimentos alternativos às técnicas *in situ*, que sofre extensiva variabilidade em função do tipo de dieta e dos animais utilizados entre diferentes ensaios. Esses autores relataram que a avaliação de plantas forrageiras *in situ* apresenta dificuldades adicionais como: o alto teor de constituintes solúveis em água, muitas vezes perdidos como material degradável, e maior impacto da contaminação microbiana nos resíduos, uma vez que os microrganismos têm elevada adesão por partículas fibrosas. Diversas técnicas *in vitro* podem ser encontradas na literatura para determinação da degradação proteica, dentre elas as culturas em sistema anaeróbico fechado ou *Batch culture* e a utilização de métodos químico-enzimáticos que simulam a digestão do trato gastrointestinal, as quais serão discutidas a seguir.

a) Método do inibidor *in vitro*

Especificamente, para estimação da degradação da PB, uma técnica comum é a mensuração da produção de amônia no inóculo ruminal (Broderick, 1982; NRC, 1985). A vantagem do procedimento é a simplicidade, entretanto apresenta uma série de desvantagens. O crescimento microbiano e a captação da amônia ocorrem simultaneamente à degradação proteica e liberação de amônia, ou seja, a concentração de amônia no inóculo é o resultado do balanço entre a degradação proteica e a captação de amônia para síntese de proteína microbiana. Broderick (1987), levando em consideração essas limitações, descreveu um método que tem como princípio inibir a captação de aminoácidos pelos microrganismos após deaminação (sulfato de hidrazina e cloranfenicol), permitindo assim a mensuração real da produção líquida de amônia a partir da degradação. O método preconiza a mensuração da concentração de amônia e aminoácidos no meio antes que haja qualquer captação dos mesmos. Este procedimento foi denominado método do inibidor *in vitro* (Broderick e Cochran, 2000). Segundo Calsamiglia et al. (2000), esse método é o mais indicado para estimação da taxa de degradação da PB e suas demais frações por apresentar dados compatíveis com modelos cinéticos de primeira ordem.

Stern et al. (1997) relataram que o sulfato de hidrazina é um inibidor não competitivo da fosfoenolpiruvato carboxiquinase, bloqueando a gliconeogênese e impedindo os microrganismos de utilizarem esqueletos de carbono de aminoácidos como fonte de glicose. Já o cloranfenicol é um antibiótico que interrompe a síntese proteica microbiana pelo bloqueio da fase de tradução. A vantagem destes compostos é que os mesmos não inibem as reações proteolíticas, permitindo assim estudar a dinâmica da degradação proteica. O método do inibidor *in vitro* preconizado inicialmente por Broderick et al. (1987) passou por uma série de padronizações e Broderick et al. (2004) descreveram uma série de adaptações à técnica com a finalidade de elevar a acurácia dos resultados. Assim esses autores sugeriram a modificação de algumas etapas do método

como um pré-tratamento do líquido ruminal por meio de diálise, o que elevaria o número de microrganismos associados às partículas, elevando assim a viabilidade da cultura e reduzindo a variabilidade entre rodadas analíticas. Broderick et al. (2004) relataram que a pré-incubação eleva a precisão das estimativas de degradação proteica devido à elevação na biomassa microbiana viável. Por outro lado, outros procedimentos testados, como a inclusão de vitaminas e ácidos graxos voláteis não proporcionaram melhoria na técnica original e não foram recomendados.

b) Métodos enzimáticos

A hidrólise ruminal da proteína no rúmen ocorre por intermédio de enzimas microbianas que reduzem o tamanho desses compostos ou mesmo transformam a natureza química dessas moléculas. As principais enzimas, proteases, peptidases e deaminases, bem como a estrutura tridimensional da proteína e a acessibilidade de suas ligações determinarão a taxa e a extensão da degradação das proteínas no rúmen (Calsamiglia et al., 2000). Além disso, a interação entre diferentes tipos de enzimas produzidas por diferentes tipos de microrganismos é um fator importante na eficiência da degradação proteica. Kohn e Allen (1995a) relataram ainda a importância de enzimas que agem sobre outros compostos como os carboidratos. Segundo esses autores, a presença do amido e da FDN interfere na degradação da proteína muitas vezes promovendo barreira mecânica, o que leva a inferir que a adição de enzimas como celulasas e amilases às culturas *in vitro* pode elevar a eficiência da degradação das enzimas proteolíticas. Segundo Stern et al. (1997), as técnicas enzimáticas apresentam como principal vantagem a completa independência do uso de animais, o que resulta em menor variabilidade, simplificando sua padronização. Em contraste, esses autores destacaram que a validade biológica pode ser limitada e pode apresentar atividade enzimática incompleta quando comparada à atividade ruminal.

As duas aproximações básicas para fazer estimativas da digestão ruminal *in vitro* envolvem a incubação com microrganismos

ruminais (métodos *in vitro* ruminais) ou enzimas livres de células (métodos *in vitro* não ruminais). A primeira técnica utiliza digesta ruminal, geralmente obtida a partir de animais fistulados, e a segunda é baseada no uso de enzimas disponíveis comercialmente, com a intenção de se obter resultado semelhante ao encontrado com o líquido ruminal (Broderick e Cochran, 2000). Em ambos os casos, a taxa de degradação proteica é mensurada a partir da taxa de acúmulo de aminoácidos e amônia, que representam os produtos da degradação proteica (Schwab et al., 2003).

Assim, existe a necessidade de se discutir vantagens e desvantagens de se utilizar enzimas extraídas comercialmente ou preparações de células microbianas ruminais. De acordo com Calsamiglia et al. (2000), extratos enzimáticos proteolíticos oriundos do líquido ruminal podem ser fisiologicamente mais eficientes na degradação proteica *in vitro*. Mahadevan et al. (1987) propuseram extração enzimática, utilizando diferentes compostos como acetona, butanol ou mesmo lavagem em água gelada. Esses autores relataram eficiência de recuperação entre 30 a 35% da atividade proteolítica do líquido ruminal integral e podem ser estocadas a -20° C por pelo menos um ano sem perder sua atividade proteolítica. Kohn e Allen (1995a) relataram que a principal limitação do método inicialmente proposto é que as proteínas não enzimáticas apresentam interferência significativa nas preparações enzimáticas a partir de líquido ruminal, uma vez que competem com as proteínas dos alimentos pelas enzimas presentes. Porém, uma vantagem da utilização de proteases extraídas do líquido ruminal é que estas são mais adequadas para inferências a respeito da taxa de degradação da PB e das suas frações do que enzimas comerciais, uma vez que as enzimas comerciais não produzem dados que se ajustam aos modelos de cinética de primeira ordem (Calsamiglia et al., 2000).

Desta forma, Kohn e Allen (1995a) propuseram modificação no método originalmente proposto e conseguiram elevar a eficiência da atividade para até 62%. Utilizando o indicador de atividade enzimática azocaseína, esses autores concluíram que maiores atividades

proteolíticas foram detectadas utilizando-se apenas acetona ou detergente na extração enzimática. Kohn e Allen (1995b) avaliaram a viabilidade da atividade de enzimas extraídas com acetona e verificaram ação enzimática por até 16 horas. Entretanto, a degradação dos alimentos se tornou mais lenta com o passar do tempo de incubação. Os autores concluíram também que há a necessidade de inclusão de celulasas que elevaram a eficiência de degradação dos componentes estruturais.

Entretanto, além das preparações enzimáticas oriundas do líquido ruminal, enzimas comerciais são extensivamente utilizadas na avaliação da degradação proteica dos alimentos. Krishnamoorthy et al. (1983) propuseram a utilização de protease extraída de *Streptomyces griseus*, uma vez que a atividade de suas endo e exopeptidases é similar ao encontrado na maioria dos microrganismos ruminais. Krishnamoorthy et al. (1983) realizaram a proteólise *in vitro*, utilizando concentração enzimática de 0,066 unidades/ml que foi comprovadamente correlacionada com a atividade proteolítica ruminal, utilizando o método *in vivo* para comparação, o que indicou que a protease de *S. griseus* pode ser utilizada na estimativa da proteína ruminal não degradada.

Calsamiglia et al. (2000) realizaram compilação de dados de 11 trabalhos utilizando protease de *S. griseus*, cinco trabalhos utilizando ficina (extraída de *Ficus glabatra*), sete trabalhos utilizando bromelina, três utilizando papaína e outros 8 trabalhos avaliando enzimas diversas. Nessa compilação, os autores detectaram que a degradação proteica com ficina por 4 horas é altamente correlacionada com a degradação *in vivo* e também *in situ* após 24 horas. Não foram encontrados resultados satisfatórios para fromase, alcalase, quimosina, tripsina, pepsina, pancreatina e protease tipo XIV, tanto utilizadas de forma isolada como em associação. Duas outras proteases vegetais, bromelina e papaína apresentaram resultados distintos. Enquanto a bromelina proporcionou correlação moderada com a degradação *in vivo*, papaína proporcionou elevadas correlações, porém, não superiores às correlações encontradas para ficina (Calsamiglia et al., 2000). Deve-se destacar o

trabalho de Aufrère et al. (1991) que avaliaram a incubação *in vitro* com protease de *S. griseus* de 97 alimentos durante 24 horas comparada à incubação *in situ*. Aufrère et al. (1991) observaram estimativas altamente correlacionadas ($r = 0,89$) sugerindo que essa enzima pode ser utilizada para estimar as concentrações de nitrogênio não degradável nos alimentos.

Licitra et al. (1999) avaliaram diferentes concentrações da protease de *S. griseus* em incubações *in vitro* e concluíram que a concentração de 1,5 unidades/ml representa o valor ótimo de utilização, diferente do valor de 3,3 unidades/ml preconizado na literatura anterior. Outros estudos avaliando o pH ideal (Stern et al. 1997) reportaram que a conformação das proteínas é alterada em função do pH, sendo que pH 6,5 elevou a correlação entre os métodos *in situ* e *in vitro*, e, em pH 8,0 foi observada a atividade máxima da enzima.

c) Método da solubilização proteica e fracionamento

O método mais amplamente utilizado para estimar as frações de compostos nitrogenados do alimento é o protocolo de fracionamento utilizado no CNCPS (Sniffen et al., 1992; Fox et al., 2000). Originalmente o CNCPS dividiu a PB dos alimentos em 5 frações, usando 3 solventes e um agente precipitante. As cinco frações são: A, solúvel em tampão borato fosfato (TBF), mas não precipitada por ácido tricloroacético (TCA), constituída pelos compostos nitrogenados não proteicos (NNP); B1, proteína verdadeira rapidamente degradada no rúmen, solúvel em TBF, mas precipitada pelo TCA; B2, proteína verdadeira e grandes peptídeos, moderadamente degradada no rúmen, calculada como sendo a diferença entre o total de PB do alimento menos as outras frações; B3, proteína verdadeira lentamente degradada no rúmen, calculada pela diferença entre o conteúdo proteico insolúvel em detergente neutro (PIDN) e o conteúdo proteico insolúvel em detergente ácido (PIDA) e a fração C, ou a proteína indisponível, equivalente ao PIDA.

A PIDN é obtida pela estimativa da PB no resíduo insolúvel após o tratamento com

detergente neutro, sem a utilização de sulfito de sódio; e a PIDA estimada após a extração sequencial, no resíduo obtido após o tratamento com detergente ácido. A fração A é considerada 100% degradada no rúmen e a fração C 100% não degradada.

O CNCPS também reconhece que o desaparecimento da PB no rúmen é uma função simultânea da kd e kp, e que a kp varia com o consumo, o alimento e as características da dieta. Dessa forma, duas equações são utilizadas para predizer o kp dos alimentos não degradados, uma para forragem ($kp = 0,388 + 22,0 \times [CMS/PC^{0,75}] + 0,0002 \times [\% \text{ forragem na MS da dieta}]$) e outra para concentrado ($kp = -0,424 + [1,45 \times kp \text{ para forragem}]$). As taxas de passagem são ajustadas para alimentos individuais, utilizando-se um fator de ajuste multiplicativo para tamanho de partículas, usando a fibra insolúvel em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe). Duas equações são usadas para estimação do fator de ajuste (FA), uma para forragens ($FA = 100/[FDNfe + 70]$) e outra para alimentos concentrados ($FA = 100/[FDNfe + 90]$).

Os valores de PDR e PNDR podem ser calculados diretamente pela associação das frações da PB obtidas, com as suas respectivas taxas de passagem e digestão. Dessa forma, a PDR (%PB) pode ser calculada como: $A + B1 (kdB1 / [kdB1 + kp]) + B2 (kdB2 / [kdB2 + kp]) + B3 (kdB3 / [kdB3 + kp])$ e a $PNDR = 1 - PDR$. Um aspecto interessante dessa aproximação utilizada no CNCPS é que as análises (NNP, PIDIN, PIDA e proteína verdadeira solúvel) executadas para a estimação das frações da PB são procedimentos de rotina em laboratórios, o que facilita a adoção do método para a utilização em condições de campo (Schwab et al., 2003).

O sistema CNCPS passou por algumas atualizações nos últimos anos, sendo que Higgs et al. (2015) apresentaram nova nomenclatura para as frações da PB adotadas atualmente pelo CNCPS, embora poucas alterações tenham sido realizadas nos métodos de análises utilizados pelos autores, sendo:

$$PA1 (\text{Amônia}) = \text{Amônia} \times (PS/100) \times (PB/100)$$

$$PA2 (\text{Proteína verdadeira solúvel}) = [PS \times (PB/100)] - PA1$$

$$PB1 (\text{Proteína verdadeira insolúvel}) = PB - (PA1 - PA2 - PB2 - PC)$$

$$PB2 (\text{Proteína ligada à fibra}) = (PIDN - PIDA) \times (PB/100)$$

$$PC (\text{Proteína indigestível}) = PIDA \times (PB/100)$$

em que: PA1 = Fração amoniacal; PA2 = Fração proteica verdadeira solúvel; PB1 = Fração proteica verdadeira insolúvel; PB2 = Fração proteica ligada à parede celular ou ligada à fibra; PC = Fração proteica indigestível; PB = Proteína bruta; PS = proteína solúvel em tampão borato-fosfato incluindo azida sódica

Correlação entre estimativas in vivo, in situ e in vitro

Hvelplund e Weisbjerg (2000) relataram a dificuldade de se validar protocolos *in situ*, utilizando métodos *in vivo* da degradabilidade proteica. Segundo os autores, a maior dificuldade de se conhecer a degradabilidade proteica *in vivo* é estimar a separação do fluxo de proteína duodenal em PNDR, proteína microbiana e proteína endógena. Além disso, a mensuração do perfil de degradação de alimentos de forma isolada é difícil, sendo na maioria das vezes aplicados aos estudos de dietas completas. Hvelplund e Weisbjerg (2000) relataram alguns detalhes importantes que devem ser considerados na comparação, tais como a taxa de passagem e o nível de alimentação, que podem influenciar diretamente no fluxo de proteína para o intestino delgado.

Vanzant et al. (1996) estudaram estimativas da degradação proteica *in vivo* e *in situ* de três tipos de feno de forragens de clima temperado. Utilizando animais fistulados no rúmen e no duodeno, os autores utilizaram a FDA indigestível (FDAi) como indicador do fluxo duodenal da matéria orgânica (MO) com a finalidade de estimar o total de nitrogênio que escapa da degradação ruminal. O fluxo de nitrogênio microbiano foi estimado através da concentração de purinas na amostra duodenal e do fluxo de nitrogênio duodenal total. O N endógeno foi estimado

pelos autores por aproximações matemáticas utilizando dados de três autores distintos: Orskov et al. (1986); Hart e Leibholz (1990) e Lintzenich et al. (1995). Vanzant et al. (1996) também mensuraram o fluxo duodenal de nitrogênio amoniacal e o nitrogênio total ingerido. A partir da obtenção desses valores foi calculada a degradabilidade do nitrogênio da dieta da seguinte forma:

$$\text{NNDR} = \text{Nduod} - \text{NA} - \text{Nmic} - \text{Ne}$$

$$\text{NDR} = 1 - \text{NNDR}$$

Ao comparar os valores de PDR obtidos *in vivo* e *in situ*, Vanzant et al. (1996) não observaram diferenças significativas entre as estimativas. Os autores atribuíram esse fato à elevada variabilidade dos valores obtidos *in vivo* em função das dificuldades inerentes às

técnicas utilizadas para mensurar o fluxo duodenal e as quantidades de nitrogênio microbiana que atingem esse compartimento. Outra limitação é a estimativa do nitrogênio endógeno, que pode apresentar grande variação, sendo, portanto, dependente do modelo usado para sua estimativa (Tabela 3.3).

Gosselink et al. (2004a) compararam estimativas da degradação *in situ*, *in vitro* e *in vivo* da PB de 11 volumosos de clima temperado. Para estimativa do N microbiano, os autores utilizaram tanto o ¹⁵N como também a técnica dos derivados de purina. As mensurações *in situ* foram realizadas no rúmen de vacas e ovelhas, utilizando tempos de incubação em sacos de nylon de até 72 horas e ajustadas em modelo exponencial.

Tabela 3.3 - Sensibilidade da degradabilidade *in vivo* da PB (DegPB) de dois volumosos em função de diferentes estimativas do fluxo duodenal do nitrogênio endógeno

	Referência utilizada		
	Orskov et al. (1986)	Hart e Leibholz (1990)	Lintzenich et al. (1995)
N endógeno estimado g/d	19,4	38,4	27,8
Alfafa – DegPB (%)	78,8	89,7	83,4
Feno de Prairie – DegPB (%)	41,2	72,3	55,5

A degradação *in vitro* foi realizada a partir do fracionamento do N dietético preconizado pelo CNCPS (Sniffen et al., 1992) em frações A, B1, B2, B3 e C, e as taxas de degradação e passagem calculadas pelo Programa CPM-Dairy (CPM-Dairy, 2003). O N não degradável foi estimado pela incubação com protease de *S. Griseus* durante 24 horas (Aufrère e Cartailier, 1988). Os autores não encontraram correlação significativa (P>0,05) entre as degradabilidades da PB obtidas *in situ* em vacas e ovelhas com as estimativas *in vivo*, independente da técnica utilizada para obtenção do Nmic. O mesmo ocorreu para as estimativas *in vitro*, entretanto, os autores encontraram correlação significativa (P<0,05) entre as estimativas *in situ* e *in vitro*. Foi encontrada correlação significativa (P<0,05) do nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) com o NNDR calculado com ¹⁵N (NNDR_{15N}), e com o fluxo de nitrogênio não-amoniacal duodenal calculado tanto com ¹⁵N (NNA_{15N}) quanto com

derivados de purina (NNA_{DP}). Dessa forma os autores recomendaram as equações abaixo:

$$\text{NNDR}_{15\text{N}} = 3,08 \times \text{NIDA} + 1,6 \quad (r^2 = 0,87)$$

$$\text{NNA}_{15\text{N}} = 3,72 \times \text{NIDA} + 0,7 \quad (r^2 = 0,83)$$

$$\text{NNA}_{\text{DP}} = 2,74 \times \text{NIDA} + 29,4 \quad (r^2 = 0,83)$$

Assim, Gosselink et al. (2004b) sugeriram que há potencial do uso de NIDA para prever o NNDR *in vivo*, porém reconhecem que esses dados precisam de validação e mais estudos para que se comprove tal relação.

Edmunds et al. (2012) estudaram a relação entre estimativas da PNDR *in situ* e *in vitro*, utilizando 25 alimentos concentrados e volumosos. O procedimento *in situ* foi realizado, utilizando tempos de até 96 horas em sacos de nylon, corrigidos para contaminação microbiana de acordo com o método de Krawielitzki et al. (2006) e ajustados em

modelo exponencial. O procedimento *in vitro* foi realizado através de incubação enzimática em protease de *S. Griseus* durante 24 horas seguindo protocolo de Licitra et al. (1998). Os autores encontraram elevada correlação entre as estimativas *in situ* e *in vitro* demonstrando equivalência entre os dois métodos.

Madsen e Hvelplund (1985) utilizaram o indicador DAPA para estimar a produção de PB microbiana em 12 diferentes dietas. Ao correlacionar esses dados com outros obtidos *in situ* observaram relação linear entre os dois métodos, tanto considerando 0,05 como 0,08 h⁻¹ como taxas de passagem da digesta. Os autores também avaliaram a degradação *in vivo* com dados obtidos *in vitro* utilizando inóculo ruminal, e não encontraram relação satisfatória entre as duas técnicas. Roe et al. (1991) compararam três técnicas enzimáticas *in vitro* com a técnica *in situ* para estimar a degradação ruminal da PB de quatro subprodutos da soja. As enzimas utilizadas foram a protease de *S. griseus*, ficina e protease neutra com amilase e as incubações *in vitro* foram feitas por 48 horas. Os resultados obtidos não foram satisfatórios pois os autores não verificaram relação significativa das curvas de degradação obtidas *in situ* e *in vitro*.

Nota-se a partir dos dados apresentados que as técnicas *in situ* e *in vitro* apresentam maior precisão nas suas estimativas, enquanto que a técnica *in vivo* apresenta elevada variabilidade e, portanto, pequena correlação com as técnicas *in situ* e *in vitro*. Hvelplund e Weisbjerg (2000) afirmaram que em comparação ao extensivo uso da técnica *in situ*, sua validação a partir de experimentos *in vivo* ainda é escassa e duvidosa devido à falta de dados e estimativas confiáveis do fluxo duodenal de nitrogênio endógeno.

Modelos matemáticos para estimativa da degradação ruminal da proteína a partir de dados obtidos *in situ* ou *in vitro*

Os tradicionais modelos matemáticos utilizados para descrever a degradação ruminal, em geral, calculam essa variável com base na massa de substrato que está retido no compartimento avaliado. Alguns desses modelos são de primeira ordem (Waldo et al., 1972) ao considerar apenas o substrato a ser digerido, e outros de segunda ordem, pois

também consideraram o *pool* dos substratos estudados e a massa microbiana presente no sistema (France et al., 1990). O modelo de primeira ordem de Mitscherlich proposto por Ørskov e McDonald (1979) é utilizado com maior frequência para avaliação dos resíduos de PB obtidos *in vitro* e *in situ*. Esse modelo exponencial negativo simples também é considerado um modelo de minimização dos retornos.

O modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979), em cinética de primeira ordem, assume que o substrato degradado em qualquer tempo é proporcional à quantidade de resíduo potencialmente degradável em qualquer tempo, a uma taxa fracional de degradação constante. Esse modelo é amplamente utilizado devido à sua simplicidade. Entretanto o mesmo não contempla uma ampla diversidade de alterações da taxa fracional decorrida da degradação (López, 2008). Desta forma, López et al. (1999) estudaram alguns modelos que consideram que a taxa fracional da degradação dos nutrientes não é um valor constante, mas sim variável; e que alguns modelos de degradação baseados na cinética do crescimento microbiano são de natureza sigmoideal, indicando solução alternativa aos modelos de minimização dos retornos ou exponenciais simples, como é o caso do modelo proposto por Van Milgen et al. (1991).

Assim, os modelos para ajuste de curvas de degradação da PB, tanto do tipo exponencial como o tipo sigmoide, são apresentados a seguir, considerando a taxa fracional de degradação (kd) constante. Os resíduos de incubação da PB obtidos através dos ensaios *in vitro* ou *in situ* em função do tempo podem ser avaliados, utilizando-se os modelos matemáticos propostos por (1) Ørskov e McDonald (1979) e (2) Van Milgen et al. (1991):

$$(1) \text{DEG}(t) = a + b \times (1 - e^{-kd \times t})$$

$$(2) \text{DEG}(t) = a + b \times [(1 + c \times t) \times (e^{-c \times t})]$$

em que: DEG(t) representa o desaparecimento da PB expressa em porcentagem; *a* representa a fração solúvel em água no tempo zero; *b* representa a fração insolúvel em água, mas

potencialmente degradável no rúmen em determinado tempo; c representa a taxa fracional conjunta de latência e degradação (h^{-1}); kd é a taxa de degradação da fração b ; e t é o tempo de incubação (horas).

O modelo de primeira ordem de Mitscherlich adaptado por Ørskov e McDonald (1979) assume que a degradação ocorre a uma taxa fracional constante após uma discreta fase de latência, assim a taxa de desaparecimento decresce continuamente e não há nenhum ponto de inflexão. Assim, os autores incluíram o parâmetro que denota a fração imediatamente solúvel.

Além dos modelos acima citados, López et al. (1999) descreveram uma série de modelos não lineares que podem ser utilizados para a mesma finalidade descrita acima. Entretanto, esses modelos consideram que a taxa de degradação (kd) não é um parâmetro estático, mas sim dinâmico, apresentando variações ao longo do tempo de incubação. Dentre esses modelos, France et al. (1990) utilizaram modelo bicompartimental (3), adicionando mais um parâmetro referente à inibição imposta pelo substrato indegradável, sendo:

$$(3) \text{DEG}(t) = a + b \times \left(1 - e^{-ct - d \times \sqrt{t}}\right)$$

em que: $\text{DEG}(t)$ representa o desaparecimento da PB expressa em porcentagem; a representa a fração solúvel em água no tempo zero; b representa a fração insolúvel em água, mas potencialmente degradável no rúmen em determinado tempo; c é um parâmetro relativo a taxa fracional de degradação (h^{-1}); t é o tempo de incubação (horas), d é um parâmetro relativo a taxa fracional de degradação ($\text{h}^{-1/2}$) relativa à difusão de um ativador de desaparecimento (ex: enzimas microbianas) após a fase de latência até o ponto de inflexão. A taxa de degradação variável (kd) é dada por:

$$kd = c + \left[\frac{d}{2 \times \sqrt{t}}\right]$$

France et al. (2000) estimaram as frações da degradação dos alimentos adaptando o modelo de Michaelis-Menten generalizado (4). Nesse modelo a taxa

fracional de degradação decresce continuamente ($c \leq 1$) ou se eleva em um primeiro momento e decresce logo em seguida ($c > 1$). Este aumento inicial na taxa de degradação se deve basicamente a acessibilidade do substrato devido à hidratação das partículas, adesão microbiana, e aumento na população microbiana da colônia, enquanto que o imediato decréscimo reflete as restrições químicas e estruturais das partículas de alimentos (Groot et al., 1996).

$$(4) \text{DEG}(t) = a + b \times \left[\frac{(t-T)^c}{K^c + (t-T)^c}\right]$$

em que: $\text{DEG}(t)$ representa o desaparecimento da PB expressa em porcentagem; a representa a fração solúvel em água no tempo zero; b representa a fração insolúvel em água, mas potencialmente degradável no rúmen em determinado tempo; c é um parâmetro relativo a taxa fracional de degradação (h^{-1}); t é o tempo de incubação (horas); e K é o tempo de degradação total após o tempo de latência T (parâmetro opcional). A taxa de degradação variável (kd) é dada por:

$$kd = \left[\frac{ct^{c-1}}{(t^c + K^c)}\right]$$

As funções de crescimento padrão como a função Logística (5) e Gompertz (6) também foram adaptadas por Robinson et al. (1986) e France et al. (1990) para a mesma finalidade relatada. Esses modelos assumem que microrganismos podem utilizar o substrato da incubação para o seu crescimento apenas quando as exigências de manutenção forem satisfeitas, até um determinado ponto de inflexão. Após o ponto de inflexão, a taxa de degradação do substrato é reduzida e as exigências de manutenção são responsáveis pela maior parte do gasto do substrato por unidade de tempo, reduzindo a taxa fracional do crescimento microbiano e consequentemente reduzindo a produção microbiana. Assim, a taxa de degradação (kd) da PB obtida a partir destes dois modelos se eleva ao longo do tempo de incubação. Este aumento pode ser interpretado como um

aumento na atividade microbiana por unidade de massa de substrato.

$$(5) \text{ DEG}(t) = a + b \times \left[\frac{(1 - e^{-ct})}{(1 + Ke^{-ct})} \right]$$

$$(6) \text{ DEG}(t) = a + b \times \left(1 - e^{-(K/c)(1 - e^{-ct})} \right)$$

em que: DEG (t) representa o desaparecimento da PB expressa em porcentagem; *a* representa a fração solúvel em água no tempo zero; *b* representa a fração insolúvel em água, mas potencialmente degradável no rúmen em determinado tempo; *c* é um parâmetro relativo a taxa fracional de degradação (h^{-1}); *t* é o tempo de incubação (horas); e *K* é um parâmetro relativo a taxa fracional de degradação (h^{-1}) para dado ponto de inflexão. As taxas de degradação variável (kd) destes dois modelos são dadas pelas seguintes sentenças:

$$(7) \text{ kd} = c / (1 + Ke^{-ct})$$

$$(8) \text{ kd} = b \times e^{ct}$$

Em geral, a rusticidade de uma equação de degradação se reduz à medida que se eleva o número de fases, características inerentes aos modelos não lineares. Um aumento no número de parâmetros utilizados no modelo também pode reduzir a probabilidade de ajuste matemático, o que eleva a probabilidade de uso de modelos mais simples, como é o caso do modelo Ørskov e McDonald (1979), que trabalha com valores estáticos para taxa de degradação, havendo necessidade de menor número de parâmetros a serem estimados. Dessa forma, recomenda-se o modelo de Ørskov e McDonald (1979), por ser simples e funcionar relativamente bem para avaliar a degradação proteica dos alimentos. Para qualquer um dos modelos utilizados, a partir das frações solúvel (*a*), potencialmente degradável (*b*) e a taxa de degradação (kd) mensuradas para PB e a partir da taxa de passagem estimada (kp), será possível calcular a degradabilidade efetiva, que corresponderá à PDR:

$$\text{PDR} = a + \left[\frac{(b \times kd)}{(kd + kp)} \right]$$

A mensuração do suprimento de proteína de origem microbiana tem sido uma importante área de estudo dentro da nutrição proteica de ruminantes. O fluxo de proteína microbiana para o duodeno pode ser considerado um dos mais importantes e sensíveis indicadores da otimização do metabolismo proteico em ruminantes (Tas e Susenbeth, 2007). Entretanto, a mensuração direta do fluxo de proteína microbiana no intestino exige animais canulados cirurgicamente, o que representa alto custo, demanda maior cuidado no uso dos animais e pode afetar o consumo de MS e conseqüentemente o desempenho animal.

A estimativa do fluxo de proteína microbiana para o intestino é de fundamental importância para se estimar o valor proteico da dieta e o tipo de contribuição do nitrogênio total. Dependendo da natureza do nitrogênio da dieta, o nitrogênio microbiano pode contribuir de 50 até 90% do nitrogênio que alcança o duodeno (Miller et al., 1982). Esta quantificação pode ser realizada por diferentes métodos, que também serão discutidos em sessões posteriores.

Assim, um dos importantes fatores que interfere diretamente na obtenção dos valores de PDR, é a taxa de passagem adotada nos cálculos da degradabilidade efetiva da PB. O NRC (2001) adotou anteriormente três diferentes funções para estimativa da taxa de passagem de forragens úmidas, forragens secas e concentrados. Entretanto, Seo et al. (2006) destacaram que os dados compilados para geração destas três equações foram obtidos em experimentos que utilizaram as terras raras como principais indicadores, o que limita a aplicabilidade das equações aos dados experimentais atuais. Assim, Seo et al. (2006) propuseram novas equações com base em um banco de dados de 154 trabalhos e 766 observações, dos quais foram gerados modelos matemáticos capazes de prever a taxa de passagem de diversos alimentos e dietas com base em indicadores externos. Assim, após ajustes, os autores apresentaram as seguintes equações para estimativa das

taxas de passagem (kp) de forragens, concentrados e líquidos:

$$\text{kp forragem} = (2,365 + 0,0214 \times \text{FpBW} + 0,0734 \times \text{CpBW} + 0,069 \times \text{FDMI}) / 100$$

$$\text{kp concentrado} = (1,169 + 0,1375 \times \text{FpBW} + 0,1721 \times \text{CpBW}) / 100$$

$$\text{kp líquidos} = (4,524 + 0,0223 \times \text{FpBW} + 0,2046 \times \text{CpBW} + 0,344 \times \text{FDMI}) / 100$$

em que: kp = taxa de passagem, h⁻¹; FpBW = consumo de forragem em g MS/PC; CpBW = consumo de concentrado em g MS/PC; FDMI = consumo de forragem em kg MS.

SÍNTESE DE PROTEÍNA MICROBIANA

Sendo os microrganismos ruminais os principais modificadores da proteína dietética, não somente a exigência de PB do animal deve ser considerada, como também a quantificação do nitrogênio exigido para síntese de proteína microbiana ruminal. De acordo com Puchala e Kulasek (1992), para obtenção do nitrogênio total exigido pelos ruminantes, os sistemas de exigências nutricionais necessitam fornecer uma estimativa da quantidade total de proteína que é digerida e absorvida no intestino delgado. Esta proteína total compreende a proteína microbiana sintetizada no rúmen e a proteína da dieta que escapa da degradação ruminal. A exigência nutricional de PNDR é calculada como o total de PM exigida menos a quantidade de proteína metabolizável microbiana que alcança a duodeno, dessa forma, existe a necessidade de se obter estimativas acuradas dessa variável para se quantificar as exigências nutricionais de PM para ruminantes (Firkins, 1996).

A proteína microbiana pode suprir de 50 a 100% da PM exigida para bovinos de corte, apresentando em torno de 80% de digestibilidade intestinal e perfil aminoacídico compatível com o necessário para a deposição de músculo (NRC, 2000) pois a composição aminoacídica da proteína microbiana é similar à da proteína dos tecidos do próprio animal. Em comparação à composição da proteína de concentrados proteicos de origem vegetal, a proteína microbiana contém maior proporção de metionina e lisina e, após a proibição da utilização de alimentos de origem animal em

dietas destinadas a ruminantes no Brasil, não existem fontes que atendam melhor às exigências aminoacídicas do animal que a proteína microbiana (Verbic, 2002). Diante de tais qualidades, tem sido objetivo da nutrição dos ruminantes, maximizar o fluxo de proteína microbiana para o intestino delgado, aumentando assim a eficiência produtiva.

De acordo com Broderick e Merchen (1992), para quantificar a proteína microbiana ruminal são necessários indicadores microbianos. Esses podem ser classificados como indicadores internos e externos. Os indicadores internos são aqueles inerentes aos microrganismos, ou seja, já são componentes químicos dos próprios microrganismos como o ácido diaminopimélico. Esse composto é um aminoácido presente em bactérias, e foi identificado em oligopeptídeos ligados aos peptídeoglicanos da parede celular bacteriana. Outros compostos, tais como o aminoácido D-alanina, ácido aminoetil-fosfônico e ácidos graxos de cadeia ímpar também podem ser classificados como indicadores microbianos internos. Além desses citados, o composto mais utilizado como indicador microbiano interno é o conjunto de ácidos nucleicos microbianos. O alto conteúdo de RNA nas células microbianas tornou esse composto de grande interesse na quantificação do *pool* de proteína microbiana sintetizada no rúmen. Os indicadores externos são aqueles adicionados ao rúmen e que são capazes de se aderir aos microrganismos, como é o caso dos isótopos pesados como o ¹⁵N. Segundo os mesmos autores, um indicador microbiano ideal deve incluir características como: facilidade na quantificação, não estar presente ou presente em pequenas quantidades nos alimentos, presente a uma relação constante mesmo sob condição experimental e ser biologicamente estável. O uso de cada um desses indicadores representa uma técnica diferente para estimação da proteína microbiana, que serão discutidas a seguir.

Técnicas para estimação da proteína microbiana ruminal

a) Comparando ¹⁵N e RNA

O ¹⁵N tem sido amplamente utilizado como indicador para estimar a produção microbiana, já que é um isótopo estável, de baixo risco ambiental, de menor custo em

relação a outros isótopos, por marcar todos os *pools* de N microbiano, por não ser encontrado naturalmente na proteína dos alimentos e por não marcar a proteína do animal até que os aminoácidos microbianos marcados sejam incorporados aos seus tecidos (Broderick e Merchen, 1992). O ^{15}N é bem distribuído na célula microbiana, logo, no caso de lise celular durante o isolamento, as perdas de protoplasma, que subestimam a quantidade de ácidos nucléicos, são menos prejudiciais na estimação da concentração de ^{15}N .

Com a infusão de sais de sulfato de amônia marcada, $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, no rúmen, gradativamente ocorre a síntese de aminoácidos microbianos, utilizando como precursores a $^{15}\text{NH}_3$ e, com isso, o isótopo passa a ser constituinte da proteína microbiana. Já os protozoários são marcados principalmente após a incorporação do ^{15}N contido nas bactérias predadas. Broderick e Merchen (1992) recomendaram a infusão contínua, via fístula ruminal, de $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ durante 48 horas e estimação do teor de ^{15}N , segundo o método de Siddons et al. (1985).

Normalmente, a relação indicador:N microbiano tem sido obtida em bactérias isoladas da fase líquida da digesta ruminal, considerando que essa é similar à relação da microbiota ruminal mista, embora diferenças entre bactérias das fases líquida (BAL) e sólida (BAP), bem como entre bactérias e protozoários sejam amplamente relatadas. A

fração de bactérias associadas à fase sólida é superior à das associadas à fase líquida, podendo representar mais de 90% (Faichney, 1980) das bactérias isoladas de animais recebendo dietas volumosas. Assim, os procedimentos de isolamento bacteriano deveriam considerar as bactérias associadas às partículas (BAP) para estimação de uma relação indicador:N total mais representativa.

Martín et al. (1994) observaram diferentes teores de ^{15}N entre BAL (0,164% do N total) e BAP (0,111% N total), possivelmente devido à maior taxa de crescimento e síntese proteica das BAL. Embora a contribuição das BAP seja pouco estudada, sua presença na estimação da relação indicador:N total microbiano pode ter grande impacto na estimativa do fluxo de proteína microbiana. Carro e Miller (2002) encontraram maiores teores de ^{15}N e bases purinas em relação ao N total nas BAL quando comparado às BAP e teores intermediários nos *pellets* mistos, contendo ambas bactérias. Desta forma, métodos capazes de isolar bactérias mistas são recomendáveis. A relação $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ e conteúdo de N microbiano, de forma geral, podem ser obtidos a partir da média em amostras de BAL e BAP, uma vez que em muitos casos não são encontradas diferenças entre essas duas formas de isolamento de bactérias (Machado et al., 2013, Rotta et al., 2014a, Prates, 2015 e Menezes, 2016; Tabela 3.4)

Tabela 3.4 - Estatística descritiva da relação $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ e N microbiano (% MO) obtida em amostras de bactérias associadas à partículas (BAP) e bactérias associadas à fase líquida (BAL) de diferentes estudos

Autores ¹	BAP		BAL	
	$^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$	N (% MO)	$^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$	N (% MO)
Machado ⁴	341 ²	7,07	358 ²	7,20
Rotta ⁵	0,093 ³	7,80	0,092 ³	8,20
Menezes ⁶	304 ²	5,89	322 ²	5,46
Mariz ⁷	454 ²	7,17	463 ²	7,51
Prates ⁸	0,076 ³	7,27 ⁴	0,068 ³	7,35 ⁴

¹Médias da relação $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ e conteúdo de N bacteriano não diferem pelo teste *F* ($P>0,05$), exceto N bacteriano em Mariz (2016) que foram diferentes entre BAL e BAP ($P<0,05$). ²Δ por mil. ³valores obtidos em amostras omasais e considerando enriquecimento de átomos ^{15}N em percentagem ⁴nitrogênio com base na MO; ⁴Machado et al. (2013); ⁵Rotta et al. (2014a); ⁶Menezes (2016); ⁷Mariz (2016); ⁸Prates (2015).

No entanto, organismos unicelulares possuem alta concentração de ácidos nucléicos, especialmente RNA e bases purinas, o que torna interessante a utilização desses como indicadores microbianos internos. Em torno de 18 % do nitrogênio total dos microrganismos ruminais encontra-se nos ácidos nucléicos e aproximadamente 11% do N total está presente nas bases purínicas (Chen e Ørskov, 2003). Segundo Broderick e Merchen (1992), a utilização de ácidos nucléicos como indicador está bem estabelecida. O RNA pode ser quantificado segundo o método proposto por Ling e Buttery (1978), e as bases purínicas conforme Ushida et al. (1985).

A maior parte dos alimentos apresenta baixa concentração de RNA e, segundo McAllan e Smith (1973), no rúmen ocorre extensiva degradação do RNA exógeno. Assim, o fluxo duodenal de RNA é predominantemente de origem microbiana. Entretanto, nas farinhas de origem animal, a concentração de RNA é similar à dos microrganismos e, dessa forma, não é apropriada a utilização do RNA como indicador em animais recebendo este tipo de alimento. Porém, como no Brasil esses

alimentos não são permitidos, isso não causa problema com a utilização dessa técnica

De acordo com Rotta et al. (2014b), muitos dos trabalhos que avaliaram diferentes indicadores para estimação da proteína microbiana ruminal utilizaram amostras obtidas no abomaso ou duodeno, e que a manutenção de animais fistulados no abomaso e/ou duodeno é difícil e de alto custo operacional, causando transtorno no manejo dos animais. Reynal et al. (2005) e Ipharraguerre et al. (2007) recomendaram que o cálculo do fluxo de proteína microbiana utilizando ¹⁵N como indicador deve ser realizado utilizando amostras obtidas a partir do omaso. Porém, ao utilizar ¹⁵N e bases purinas como indicadores, esses autores encontraram diferença nos valores obtidos para fluxo de proteína microbiana a partir de amostras duodenais. Já Krizsan et al. (2010) sugeriram que amostras de digesta do retículo podem substituir amostras omasais. Mariz (2016) estudou possíveis diferenças entre os indicadores microbianos ¹⁵N e BP para estimar a síntese e a eficiência microbiana ruminal, quando aplicados diferentes níveis de proteína às dietas de bovinos Nelore e cruzados. A autora não encontrou diferença nas estimativas apresentadas.

Tabela 3.5 - Efeitos de diferentes locais de coleta e marcadores microbianos na produção de nitrogênio microbiano e sua eficiência em novilhos de corte alimentados com silagem de milho ou cana-de-açúcar

Marcadores	Local de amostragem			EPM ¹	P-valor
	Retículo	Omaso	Abomaso		L × M ²
NM ³	104	114	125	4,59	<0,01
BP ⁴	114 ^{abA}	106 ^{bA}	130 ^{aA}	4,78	<0,01
¹⁵ N	94,1 ^{bB}	123 ^{aA}	120 ^{aA}	4,79	<0,01
PBmic ⁵ /NDT ⁶	101	108	118	4,39	<0,01
BP	107 ^{bA}	93,3 ^{bB}	117 ^{aA}	4,44	<0,01
¹⁵ N	95,0 ^{bA}	123 ^{aA}	118 ^{aA}	4,42	<0,01
NM/MOfer ⁷	24,8	31,8	36,2	2,05	<0,05
BP	26,8 ^{bA}	29,2 ^{bA}	37,7 ^{aA}	2,09	<0,05
¹⁵ N	22,7 ^{bA}	34,4 ^{aA}	34,6 ^{aA}	2,08	<0,05

¹Erro padrão da média; ²Interação entre local de amostragem e marcador microbiano; ³Nitrogênio microbiano; ⁴Bases purinas; ⁵Proteína bruta microbiana; ⁶Nutrientes digestíveis totais; ⁷Matéria orgânica fermentável. Adaptada de Rotta et al. (2014).

A similaridade entre os indicadores microbianos indicou que tanto ¹⁵N e as BP são adequados para estimar a síntese e eficiência de proteína microbiana, quando coletados em

digestas omasais. Adicionalmente, Rotta et al. (2014b) conduziram um trabalho avaliando esses dois indicadores, obtidos em diferentes locais de amostragens (Tabela 3.5). Rotta et al.

(2014b) relataram que amostras obtidas no omaso e abomaso proporcionaram resultados similares para produção de proteína microbiana assim como eficiência microbiana quando utilizaram tanto ^{15}N quanto bases purinas como indicadores. Além disso, Rotta et al. (2014b) testaram diferentes esquemas de coleta de amostras, utilizando indicadores único, duplo ou triplo, isolando diferentes tipos de perfis da digesta ruminal como fase única (sistema de indicador único), fase líquida e de partículas (sistema de indicador duplo), e fases líquida, de pequenas e de grandes partículas (sistema de indicador triplo), respectivamente.

Os autores recomendaram uma correção nas estimativas da proteína microbiana ruminal obtida a partir de ensaios com sistema de indicadores único e duplo, para estimativa dos valores compatíveis ao esquema triplo, sendo estas:

$$\text{NMcorr (g/dia)} = 49,71 + 0,66 \times \text{NMúnico}$$

$$\text{NMcorr (g/dia)} = 43,04 + 0,71 \times \text{NMduplo}$$

em que NMcorr é a produção de nitrogênio microbiano ruminal por dia corrigida para uso de indicador único ou duplo, NMúnico é o nitrogênio microbiano obtido a partir de esquema de indicador único, e NMduplo é o nitrogênio microbiano obtido a partir de esquema de indicador duplo.

b) Derivados de purina na urina

A descoberta de que os derivados de purina na urina de ruminantes são quantitativamente importantes como produtos finais do metabolismo de nitrogênio levou ao aprofundamento da pesquisa na área e ao estabelecimento de relações entre a concentração ruminal de ácidos nucleicos e a excreção de derivados de purina na urina em ruminantes (Topps e Elliott, 1965). Essas informações formam a base do conhecimento que deu origem ao uso de derivados de purina na urina como método não-invasivo para estimativa do aporte de proteína microbiana no intestino em ruminantes (Chen e Gomes, 1992).

O princípio do método é que ácidos nucleicos que deixam o rúmen são essencialmente de origem microbiana (McAllan e Smith, 1973). Isso ocorre porque alimentos

comumente usados em dietas de ruminantes possuem baixo conteúdo de purinas, e a grande maioria das dietas sofre extensa degradação no rúmen como resultado da fermentação microbiana (McAllan e Smith, 1973). Os ácidos nucleicos de origem bacteriana que chegam ao intestino são, em grande maioria, digeridos e absorvidos no intestino delgado. As bases purinas absorvidas são catabolizadas a derivados de purinas (hipoxantina, xantina, ácido úrico e alantoína) e excretadas na urina (Figura 3.2; Topps e Elliott, 1965). Dessa maneira, o fluxo de nitrogênio microbiano no intestino delgado pode ser estimado a partir da quantificação da excreção de derivados de purina na urina (Figura 3.2). Embora existam métodos para estimar a síntese microbiana com base em indicadores microbianos (RNA, ^{15}N ; Broderick e Merchen, 1992, Tamminga e Chen, 2000), conforme discutido no tópico anterior, esses métodos apresentam dificuldades para uso extensivo pois são extremamente invasivos e requerem a utilização de animais fistulados para estimação do fluxo de MS pelo abomaso ou duodeno. Esses métodos baseados na estimativa do fluxo de proteína microbiana têm sido usados em grande parte para calibração de alguns fatores de cálculo no método dos derivados de purina (Tas e Susenbeth, 2007; Barbosa et al., 2011; Prates et al., 2012).

Assim como todo método indireto, o método da estimativa da produção microbiana com base nos derivados de purina na urina é susceptível a uma série de fontes de variação (Chen et al., 1990b, Chen e Gomes, 1992, Tamminga e Chen, 2000, Bowen et al., 2006, Tas e Susenbeth, 2007) e alguns dos fatores mais importantes relativos ao método têm estado em constante revisão e atualização. Uma representação gráfica desses fatores é apresentada na Figura 3.3, sendo eles: (a) coleta e amostragem (b) recuperação urinária de purinas absorvidas, (c) digestão e absorção intestinal de purinas microbianas e (d) fração endógena de purinas na urina. Os mais recentes resultados de pesquisa relacionados a esses fatores, com ênfase ao uso do método para estimar a produção de proteína microbiana de bovinos em condições tropicais, especialmente em pastejo, são discutidos nos itens a seguir. Um exemplo de aplicação (representado pelo item “e” na Figura 3.3) usando as informações mais atualizadas é também apresentado.

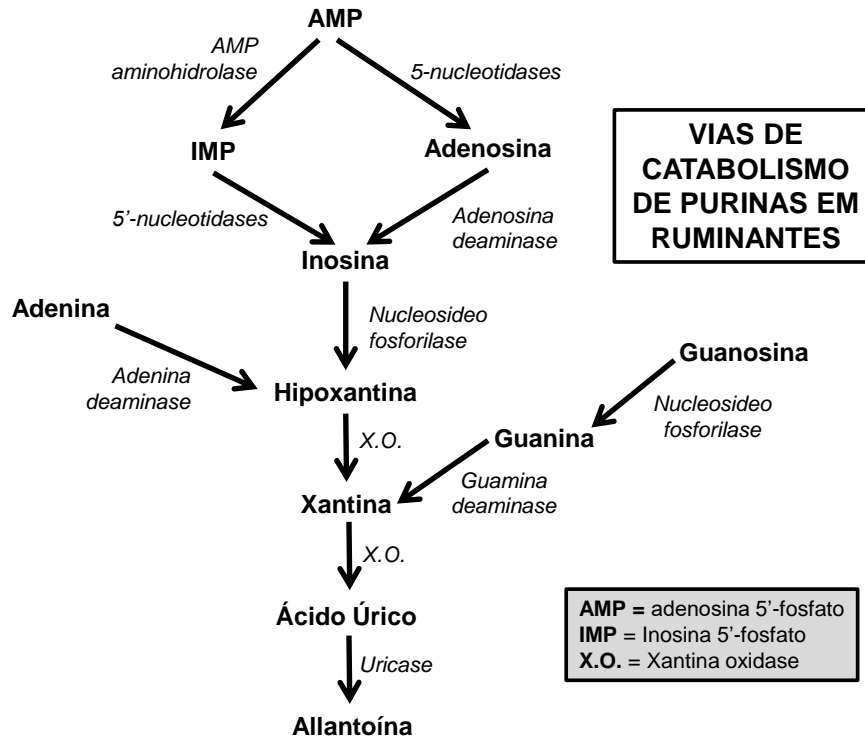


Figura 3.2 - Vias de catabolismo de purinas em ruminantes. Adaptada de Chen & Gomes (1992).

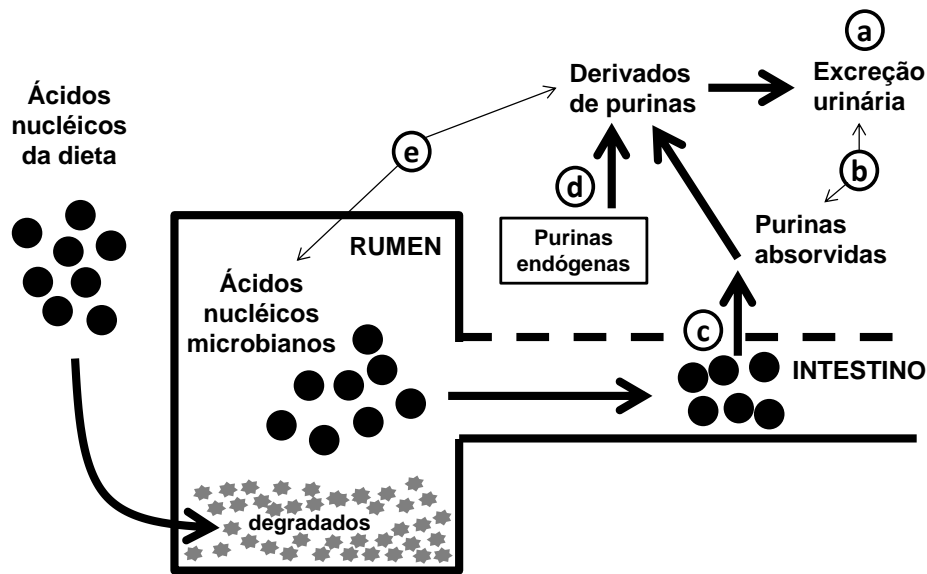


Figura 3.3 - Representação esquemática do princípio do método dos derivados de purina para estimativa da produção microbiana em ruminantes. Os pontos mais discutíveis do método são: (a) coleta, amostragem e estimativa da produção urinária, (b) recuperação urinária de purinas absorvidas, (c) digestão e absorção intestinal de purinas microbianas e (d) fração endógena de purinas na urina. O ponto (e) representa um exemplo de aplicação para estimativa da produção microbiana a partir dos derivados de purina na urina. Adaptada de Chen e Gomes (1992).

c) Coleta e amostragem

O método para estimar o fluxo de N microbiano em bovinos baseia-se na quantificação da excreção diária de derivados de purina (alantoína e ácido úrico) na urina. Portanto, o volume urinário diário, bem como uma amostra da mesma, são necessários. A quantificação direta do volume urinário pode ser realizada em animais cateterizados ou com dispositivos de recolhimento de urina acoplados. Em fêmeas, normalmente usam-se sondas tipo Folley, levando a urina diretamente da bexiga para um recipiente de coleta. Em machos, funis são utilizados na região do prepúcio, ligados diretamente a um recipiente de coleta que leva a urina até recipiente de coleta. Em ambos os casos, a coleta é realizada por períodos de 3 a 7 dias, com quantificação e amostragens diárias. Entretanto, métodos de coleta total são normalmente trabalhosos, podem afetar o comportamento e bem-estar dos animais e apresentam enormes dificuldades para uso em animais em pastejo. Em vacas leiteiras, o grande volume diário de urina e o manejo do sistema de coleta durante a ordenha contribuem para tornar o uso da coleta total trabalhosa e de difícil aplicação prática. Assim, uma técnica alternativa será discutida, posteriormente.

d) Recuperação urinária de purinas absorvidas

A relação entre a recuperação urinária de derivados de purina e o fluxo duodenal de purinas (item “b”, Figura 3.3) é um importante fator de ajuste no método de estimativa da produção microbiana a partir dos derivados de purina na urina. Vários estudos tiveram como objetivo medir a recuperação urinária de purinas infundidas pós-rúmen a partir de extratos microbianos. A excreção urinária de derivados de purinas foi linearmente correlacionada com a infusão abomasal de ácidos nucleicos, nucleosídeos, purinas de levedura de cerveja e com a infusão duodenal de ácidos nucleicos, bases de purinas, RNA microbiano e RNA de leveduras (Tas e Susenbeth, 2007). Uma média equimolar de 0,85 foi obtida por Tas e Susenbeth (2007) para a recuperação urinária

de derivados de purina infundidos no duodeno. Nesse tipo de estudo, o valor de excreção de derivados de purina é linearmente relacionado ao valor de purinas infundidas (abomaso ou duodeno). O coeficiente de inclinação da equação fornece o valor de recuperação de purinas absorvidas e o intercepto representa a contribuição endógena.

Trabalhos recentes realizados no Brasil (Barbosa et al., 2011, Prates et al., 2012) estimaram que em zebuínos a recuperação urinária de derivados de purina varia de 0,74 a 0,92, com valor médio sugerido para uso prático de 0,80, que será adotado como padrão nesta edição do BR-CORTE tanto para animais Zebuínos quanto para cruzados. Prates et al. (2012) não observaram diferenças na taxa de recuperação de purinas absorvidas entre novilhas Nelore e Holandês, não havendo a necessidade de valores distintos para cada grupo genético.

e) Digestão e absorção intestinal de purinas microbianas

Os ácidos nucleicos de origem bacteriana, que deixam o rúmen, são extensivamente degradados no intestino delgado, e em média 85,9% dos ácidos nucleicos (Stormet al., 1983), 87-89% do RNA e 80-81% do DNA desapareceram no intestino delgado (McAllan, 1980; Storm et al., 1983). Barbosa et al. (2011) avaliaram a digestão e absorção intestinal de purinas microbianas em novilhas Nelore e estimaram o coeficiente de digestibilidade verdadeiro para o RNA de 0,93. Embora alta variabilidade possa ser observada na digestibilidade verdadeira das purinas dos microrganismos ruminais (Chen e Gomes, 1992, Orellana Boero et al., 2001, Tas e Susenbeth, 2007) o valor médio de 0,93 obtido do trabalho de Barbosa et al. (2011) parece ser o mais adequado para uso em animais zebuínos criados em condições brasileiras (item “c”, Figura 3.3), sendo portanto considerado o valor padrão para esta edição do BR-CORTE.

No intestino delgado, os nucleotídeos das purinas são hidrolisados a nucleosídeos (adenosina, guanosina e inosina) e bases livres (adenina e guanina) (Figura 3.3), que

são quase que completamente absorvidas pela bomba dependente de sódio e potássio (McAllan, 1980). Em bovinos, a alta atividade da enzima xantina oxidase foi observada na mucosa intestinal e no plasma sanguíneo (Chen et al., 1990c), fazendo com que hipoxantina e xantina sejam praticamente degradadas de forma completa até ácido úrico, diferentemente de ovinos. No fígado, o ácido úrico é oxidado até alantoína pela enzima uricase (Tas e Susenbeth, 2007). Alantoína e ácido úrico não podem ser utilizados pelos tecidos e são excretados principalmente na urina, mas também no leite e na saliva (Tas e Susenbeth, 2007). Em bovinos, a alantoína é o principal derivado de purina (mais de 80% do total), enquanto que o restante é composto por ácido úrico e quantidades desprezíveis de xantina e hipoxantina (Chen et al., 1990c). Rennó et al. (2000), avaliando o perfil de excreção de derivados de purina em novilhas de corte, estimaram que a relação alantoína e ácido úrico:purinas totais de, aproximadamente, 98%, indica que a concentração de xantina e hipoxantina em relação aos derivados de purinas seria em torno de 2%, e que esta contribuição seria irrisória no cálculo da produção de proteína microbiana. Dessa forma, o BR-CORTE não recomenda realizar análises de xantina e hipoxantina na urina de bovinos

f) Fração endógena de derivados de purina na urina

Representado pelo item “d” na Figura 3.3, a fração endógena de derivados de purina na urina inclui a porção de derivados de purinas oriundos dos ácidos nucleicos originários da degradação dos tecidos animais (Chen e Gomes, 1992). A forma direta de mensuração da excreção de derivados de purinas de origem endógena é o uso de animais em jejum por longos períodos (Chen et al., 1990a; Verbic et al., 1990). Braga et al. (2012) submetem a uma restrição alimentar novilhas Nelore para avaliar a perda endógena de derivados de purina, utilizando o seguinte esquema: alimentação com 1% do PC nos primeiros oito dias, 0,5% do PC do nono ao décimo primeiro dia e jejum completo do décimo segundo ao décimo sexto dia do

período experimental, totalizando 5 dias de jejum absoluto, nos quais foram realizadas coletas totais de urina. Braga et al. (2012) encontraram contribuição endógena de 0,332 mmol/PC^{0,75} e 0,384 g N/PC^{0,75} para novilhas Nelore em crescimento.

Alternativamente, a fração endógena tem sido estimada como o intercepto da regressão linear entre excreção urinária de derivados de purina e bases de purinas infundidas pós-rúmen. Alguns estudos têm mostrado que a fração endógena é similar entre animais *Bos indicus* e *Bos taurus* (Pimpa et al., 2001 ; Prates et al., 2012), enquanto que outros estudos sugerem diferenças (Chen e Gomes, 1992 ; Osuji et al., 1996 ; Bowen et al., 2006). A fração endógena em animais *Bos indicus* foi menos da metade da observada em animais *Bos taurus* no trabalho de Bowen et al. (2006). Em trabalho realizado no Brasil, Prates et al. (2012) não observaram diferenças na fração endógena de derivados de purina na urina entre novilhas Nelore e Holandesas. Trabalhos realizados em condições brasileiras (Barbosa et al., 2011 e Prates et al., 2012) com animais zebuínos sugerem o uso de um valor médio de 0,30 mmol/kg^{0,75} como valor da fração endógena de derivados de purinas na urina.

g) Utilização da alantoína urinária como único estimador da proteína microbiana ruminal

A alantoína é o derivado de purina mais abundante, sendo o ácido úrico, xantina e hipoxantina os demais componentes denominados coletivamente como derivados de purina. Em bovinos, devido à alta atividade da enzima xantina oxidase, que converte xantina e hipoxantina a ácido úrico, as excreções de alantoína e ácido úrico constituem cerca de 98% dos derivados urinários de purinas, portanto a contribuição da xantina e hipoxantina são irrisórias para estimação da excreção total dos derivados de purina (Rennó et al., 2000). Entretanto, quando se considera a proporção de ácido úrico em relação à alantoína, observada em alguns trabalhos de pesquisa nos últimos dez anos, nota-se uma relação de 8 a 15% de ácido úrico excretado em relação a alantoína na urina (Rennó et al., 2000; Magalhães et al.,

2005; Pina et al., 2006; Leal et al., 2007; Oliveira et al., 2007; Teixeira et al., 2007; Santos et al., 2010). Sendo assim, torna-se interessante para a comunidade científica o conhecimento da real relação entre esses metabólitos, e o ajuste de um modelo matemático capaz de prever a concentração de ácido úrico excretado na urina.

Sendo assim, utilizando ferramentas estatísticas como a meta-análise pode-se estimar a proporção entre alantoína e ácido úrico na urina, tornando possível estimar esse composto secundário a partir da alantoína na urina. A meta-análise (St-Pierre, 2001) tem sido o procedimento mais adequado para se avaliar os dados provenientes de vários estudos com a finalidade de construção de modelos quantitativos os quais possam explicar o efeito de uma ou mais variáveis independentes sobre a variável dependente de interesse. Como normalmente existem diferenças entre estudos, e se as mesmas não forem consideradas durante a análise dos dados, elas podem incorrer em estimativas viesadas para os parâmetros estimados. Dessa forma, durante o procedimento de análise, o efeito de experimento e a sua interação com as variáveis independentes foi considerado como componente aleatório em um modelo linear misto (St-Pierre, 2001), sendo a solução para o modelo estimado pelo PROC MIXED SAS (version 9.1, SAS Institute Inc, Cary, NC).

A partir de uma meta-análise envolvendo 38 experimentos (apêndice 3.1) realizados no DZO-UFV (Tabela 3.6), verificou-se que a excreção diária de ácido úrico na urina pode ser estimada a partir da excreção diária de alantoína na urina ($P < 0,05$), sendo:

$$AU \text{ (mmol/dia)} = 0,1104 \times ALA; r^2 = 0,76$$

em que AU é o total de ácido úrico excretado na urina e ALA é o total de alantoína excretada na urina (mmol/dia). Ao se testar os parâmetros não se observou intercepto significativo ($P = 0,4398$), sendo assim foi apresentado o modelo linear sem intercepto. Esses resultados (Figura 3.4) sugerem que a alantoína pode ser utilizada como único preditor da produção de proteína microbiana em bovinos, sem a necessidade de análise do

ácido úrico, havendo assim economia de reagentes para análise e menor tempo despendido com análises químicas para estimativa da proteína microbiana ruminal.

h) Técnica auxiliar – Estimativa do volume urinário a partir da creatinina

A creatinina é formada no músculo pela remoção de água da creatina-fosfato, originada do metabolismo do tecido muscular (Harper et al., 2013). A molécula de creatina-fosfato é degradada espontaneamente a taxas relativamente constantes, formando a creatinina. A creatinina é então produto metabólico do qual o corpo já não necessita, portanto, não é utilizada para formação de novas moléculas, sendo excretada pelos rins. A produção diária de creatina e conseqüentemente, a excreção de creatinina, depende da massa muscular e, portanto, é proporcional ao peso do animal (Koren, 2000). Assim, uma vez estimada a excreção diária de creatinina em relação ao peso do animal e considerando essa concentração constante ao longo do dia, é possível estimar o volume urinário excretado a partir da concentração de creatinina em amostra de urina coletada de um animal de peso conhecido (Leal et al., 2007).

Muito se conhece hoje em dia em relação ao perfil de excreção de creatinina na urina. A creatinina apresenta uma excreção constante ao longo de 24 horas a partir de taxas constantes de degradação do tecido muscular.

A excreção de creatinina é pouco afetada pelos teores de PB, carboidratos não-fibrosos ou nitrogênio não-proteico da dieta (Susmel et al., 1994; Vagnoni et al., 1997; Valadares et al., 1999; Oliveira et al., 2001; Rennó et al., 2000), assim, não são esperadas variações decorrentes da dieta.

Alguns trabalhos ainda são responsáveis pelo ajuste de equações capazes de prever a excreção de creatinina para determinadas categorias animais. Chizzotti et al. (2006) propuseram uma equação para estimativa da excreção de creatinina para novilhas em crescimento, como se segue:

$$\text{Excreção diária creatinina (mg/kg PC)} = 32,27 - 0,01093 \times \text{PC.}$$

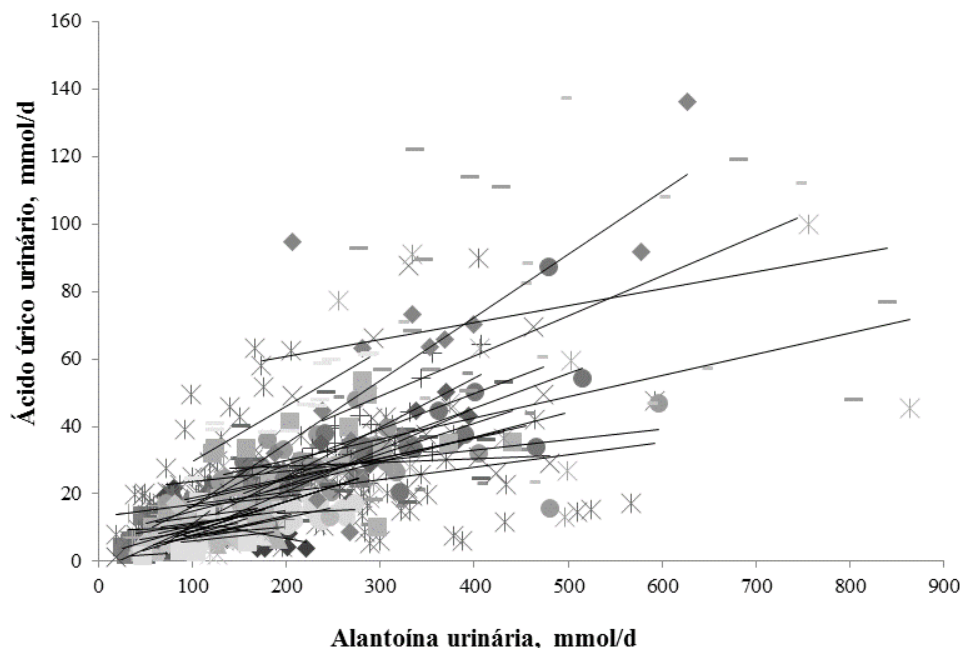


Figura 3.4 - Relação entre total de ácido úrico e o total de alantoína excretados na urina (mmol/dia) de bovinos, compilados a partir de 38 estudos.

Tabela 3.6 - Estatística descritiva dos dados utilizados para ajustar modelos de regressão linear para estimar a relação entre ácido úrico e alantoína excretados na urina de bovinos

	Alantoína (mmol/dia)	Ácido úrico (mmol/dia)	ALA:DP ¹
Média	169	20,2	89,0
Mediana	129	13,5	90,4
Desvio-padrão	123	22,9	4,97
Mínimo	18,8	0,30	66,2
Máximo	864	322	99,8
n	1100	1100	1100
Experimentos	38	38	38

¹Percentual de alantoína total em relação aos derivados de purina totais excretados na urina.

Desde então se utilizam equações lineares para estimar a excreção de creatinina em função do peso corporal. Entretanto, uma vez que os animais apresentam proporções diferentes de tecidos em cada fase de desenvolvimento, é possível que haja variações nas excreções diárias de creatinina ao longo da vida do animal, visto que ela é sintetizada no tecido muscular.

Segundo Hammond (1968), o crescimento pode ser entendido como o aumento de peso até o animal se tornar adulto. Essa definição, apesar de simples, não tira a complexidade do tema, pois, a partir do modelo alométrico proposto por Huxley (1932), todas as variáveis são reduzidas ao valor do coeficiente de crescimento (Pereira Filho et al.,

2008). O desenvolvimento corporal pode ser mensurado por algumas fórmulas ou modelos não lineares como os de Huxley (1932) e Callow (1948). No entanto, a equação alométrica de Huxley (1932), definida como $Y = aX^b$, permite realizar uma descrição quantitativa adequada do crescimento de regiões e tecidos em relação aos outros e o organismo como um todo, descrevendo uma relação curvilínea entre o crescimento da maioria dos tecidos. Sendo então a creatinina um produto do metabolismo do tecido muscular, surge o interesse em estudar se seu padrão de excreção ao longo da vida do animal segue um padrão de crescimento alométrico em função do peso corporal metabólico. A equação alométrica proporciona uma aproximação

matemática válida e simples para descrever o crescimento diferenciado. De acordo com Berg e Butterfield (1966), a equação alométrica proporciona descrição quantitativa da relação parte/todo e, mesmo não registrando detalhes, ela é relevante, porque reduz toda a informação a um só valor (Santos et al., 2010).

Com objetivo de estudar um possível comportamento alométrico da excreção de creatinina em função do peso corporal de bovinos, foi realizada uma meta-análise com

resultados de 32 experimentos (Tabela 3.7) realizados no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (Apêndice 3.1), em que se obteve a seguinte equação para estimar a excreção diária de creatinina na urina em bovinos:

$$\text{ECU (mg/dia)} = 37,88 \times \text{PC}^{0,9316}; r^2 = 0,98$$

em que ECU é a excreção diária de creatinina (mg/dia) e PC é o peso corporal do animal em jejum (Figura 3.5).

Tabela 3.7 - Estatística descritiva dos dados utilizados para ajustar modelos alométricos para estimar a relação entre peso vivo em jejum de bovinos e excreção diária de creatinina na urina

	Creatinina (mg/dia)	Creatinina (mg/PC)	Peso corporal (kg)
Média	8975	24,8	358
Mediana	8298	25,2	310
Desvio-padrão	3258	5,21	119
Mínimo	1266	13,3	96,5
Máximo	33593	68,7	743
n	746	746	746
Experimentos	32	32	32

As estimativas dos parâmetros do modelo foram significativas ($P < 0,05$) e os dados se ajustaram de forma satisfatória ao modelo alométrico. Assim recomenda-se que

a excreção diária de creatina seja estimada através de modelo alométrico, de acordo com o peso do animal nas diferentes idades e grupos genéticos.

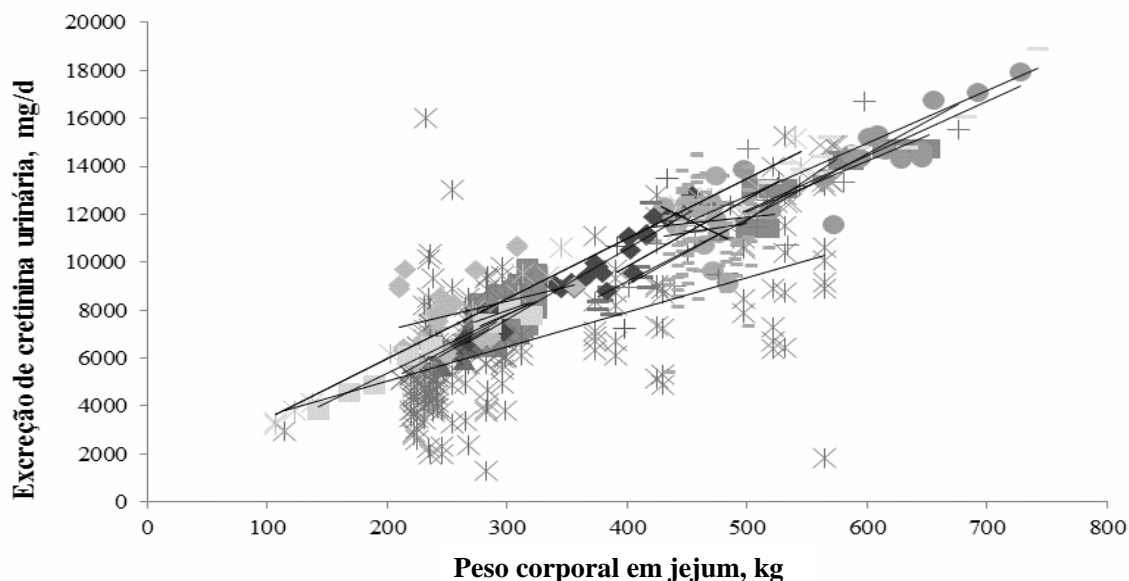


Figura 3.5 - Relação entre o peso corporal em jejum de bovinos e excreção diária de creatinina na urina, compilados a partir de 38 estudos.

O uso da creatinina como uma ferramenta precisa para estimativa do volume urinário nas diferentes categorias animais, torna prático o processo de estimação da proteína microbiana ruminal pelo uso de DP excretados na urina. No Brasil, Pereira (2009) avaliou a relação entre o peso corporal, a quantidade de músculo na carcaça, a área de olho de lombo e a espessura de gordura subcutânea com a excreção diária de creatinina em novilhas Nelore de diferentes pesos. Também foram avaliadas as excreções totais de creatinina a intervalos de 4 a 24 horas e as relações de derivados de purina, ureia e compostos nitrogenados totais com a creatinina, obtidas de coletas *spot* de urina a intervalos de 2 horas. A relação entre derivados de purina e creatinina não variou ($P > 0,05$) durante as 24 horas do dia, a partir da coleta *spot* de urina a intervalos de 2 horas, sugerindo que o cálculo da excreção diária de derivados de purinas possa ser efetivado em coletas obtidas em qualquer horário do dia. Entretanto, foi observado efeito do tempo de coleta de urina sobre as relações entre ureia:creatinina e compostos nitrogenados totais:creatinina. Essas relações foram próximas às médias em dois pontos diários, próximos aos dois horários diários de fornecimento de alimento aos animais (8 e 16 horas). Pereira (2009), sugeriu que a estimativa da excreção de compostos nitrogenados em animais em crescimento pode ser realizada sem a necessidade de coleta total, utilizando-se apenas duas coletas *spot* de urina, imediatamente após o fornecimento das dietas. Contudo, ressalta-se que mais pesquisas são necessárias para confirmar essa sugestão.

Silva Júnior (2014) estudou as relações entre derivados de purina e compostos nitrogenados com a creatinina em bovinos de corte em pastejo, para avaliar a possibilidade de realização de coleta a cada 4 horas para mensurar a

produção de proteína microbiana, balanço de nitrogênio e excreção de N ureico. O autor procedeu coletas de 4 em 4 horas durante 5 dias e não detectou diferença entre o dia de coleta e os horários para a relação entre derivados de purina e creatinina, o que permite inferir sobre a possibilidade de realizar apenas uma coleta de urina em qualquer horário para estimar a produção de proteína microbiana em pastejo, através da técnica dos derivados de purina urinários. Entretanto, em função das variações observadas para as relações nitrogênio ureico e nitrogênio total com a creatinina ao longo do período de 24 horas, Silva Júnior (2014) não recomendou o uso de amostra em qualquer horário para estimação da excreção urinária de compostos nitrogenados.

i) Validação dos modelos propostos

Os dois modelos matemáticos a seguir, que foram propostos anteriormente, foram avaliados quanto à qualidade do ajuste e igualdade entre dados preditos e observados (Tabela 3.8).

Para avaliação estatística dos modelos, os dados foram submetidos ao ajustamento pelo teste do intercepto conjunto (Mayer et al., 1994), de forma independente aos efeitos de experimento e tratamentos, sendo avaliados pelo modelo de regressão linear simples de valores observados (variável dependente) sobre valores preditos (variável independente). No caso de não-rejeição da hipótese de nulidade ($\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$) foi concluído pela similaridade entre valores preditos e observados, utilizando-se o programa SAS (versão 9.1), adotando-se 0,05 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I. Foi verificado que os dados preditos e observados não diferiram (Tabela 3.8), o que corrobora para recomendação dos modelos aqui propostos.

Tabela 3.8 - Teste de hipótese para avaliação do ajuste dos modelos propostos para estimar a excreção de ácido úrico (mmol/dia) em função da alantoína e para estimar excreção diária de creatinina (mg/dia) em função do peso corporal

Modelo avaliado	<i>P</i> -valor para o teste de hipótese	
	$\beta_0 = 0$	$\beta_1 = 1$
$^1Y = 0,1104X$	0,6700	0,9972
$^2Y = 37,88X^{0,9316}$	0,5977	0,3357

1Y = ácido úrico excretado na urina (mmol/dia) e X = alantoína excretada na urina (mmol/dia); 2Y = excreção de creatinina urinária (mg/dia) e X = peso corporal (kg).

Produção de proteína microbiana

A eficiência microbiana pode ser conceituada como a quantidade de PB microbiana obtida a partir de determinada unidade energética, ou seja, é a quantidade de proteína produzida pelos microrganismos ruminais a partir do substrato energético que esteja disponível no rúmen, havendo, portanto, a interferência de uma série de fatores. Segundo Clark et al. (1992), a disponibilidade de energia e de nitrogênio são os maiores determinantes da quantidade de proteína microbiana sintetizada no rúmen e ainda, segundo estes autores, uma mistura de carboidratos estruturais e não estruturais é a melhor fonte energética para o crescimento microbiano. Os carboidratos fermentáveis proporcionam o maior rendimento energético por unidade de peso do que as proteínas, e os lipídios, embora possam ser captados pelos microrganismos, não tem a capacidade de fornecer a energia requerida para a síntese proteica (Clarck et al., 1992). Assim, os principais fatores que devem ser considerados no estudo da eficiência microbiana são aqueles que interferem na degradação dos carboidratos e das proteínas e a sua disponibilidade. Efeitos como consumo voluntário, relação entre volumoso e concentrado, fonte e quantidade de carboidratos não estruturais, PB, presença de lipídios na dieta, frequência de alimentação, processamento de grãos e forragem, métodos de conservação de forragem, suprimento de micronutrientes, aditivos e ambiente ruminal afetam a eficiência microbiana (Clarck et al., 1992). Entretanto, a maior parte dos relatos da literatura leva a inferir que os níveis de carboidratos fermentáveis e compostos nitrogenados são os que mais afetam a eficiência microbiana ruminal.

a) Disponibilidade energética

A simples elevação no consumo de matéria orgânica causa elevação linear na passagem de nitrogênio microbiano ruminal e a ingestão de matéria orgânica verdadeiramente digerida causa comportamento quadrático na passagem de nitrogênio microbiano para o intestino delgado (Clarck et al., 1992), demonstrando que altos níveis de carboidratos rapidamente fermentáveis também podem ser deletérios à produção de proteína microbiana. Entretanto, de forma geral, a elevação no consumo de matéria seca (MS) é o mecanismo mais importante na elevação da disponibilidade de aminoácidos no intestino delgado, o que eleva tanto a síntese de proteína microbiana quanto o escape de PNDR para o intestino delgado (Clarck et al., 1992).

De acordo com Detmann et al. (2014a), considerando situações de pastejo, onde há deficiência de nitrogênio das forrageiras tropicais que são de baixa qualidade, realidade amplamente encontrada em países de clima tropical, como o Brasil, a suplementação com carboidratos rapidamente degradáveis isoladamente não cria efeitos nutricionais positivos. O suprimento de carboidratos não fibrosos (CNF) pode elevar a competição entre microrganismos fibrolíticos e não fibrolíticos por compostos nitrogenados, que são insuficientes na forragem de baixa qualidade (Detmann et al., 2014a). Ainda, segundo estes autores, a baixa disponibilidade de nitrogênio para síntese enzimática e a elevação na disponibilidade de CNF pode contribuir para o aumento de ciclos fúteis pelos microrganismos não fibrolíticos, o que reduzirá a eficiência microbiana nestas condições.

Em situações de confinamento, de acordo com Clarck et al. (1992), a utilização do teor de concentrado entre 30 e 70% eleva a eficiência energética para síntese microbiana ruminal. O fornecimento exclusivo ou em maior parte de concentrado promove certa modificação na fermentação, uma vez que a energia é liberada mais rapidamente do que poderia ser utilizada para o crescimento microbiano. A adição de carboidrato estrutural à uma dieta com altos níveis de concentrado permitirá às bactérias a utilização da energia de forma mais eficiente, uma vez que esta será liberada lentamente ao longo do dia. Por outro lado, segundo os mesmos autores, a deficiência de carboidratos não estruturais desacelera o crescimento microbiano e eleva a lise de células microbianas devido à redução na taxa de passagem da digesta. Essa lenta taxa de passagem ocorrerá, pois, os microrganismos irão se aderir às grandes partículas de forragem, elevando assim o tempo de permanência desses microrganismos e priorizando os requerimentos de manutenção dos mesmos com conseqüente desperdício de compostos nitrogenados e energia.

Dewhurst et al. (2000) destacaram a importância de se compreender que em diferentes sistemas de produção, pontos distintos devem ser esclarecidos sobre alterações na eficiência microbiana. Em pastejo existe abundância de matéria orgânica fermentável no rúmen e com reduzido teor de compostos nitrogenados que precisam ser suplementados para elevar a eficiência microbiana, enquanto que animais alimentados à base de forragem conservada na forma de silagem podem receber abundância de peptídeos e aminoácidos oriundos da degradação das proteínas.

Avaliando o efeito de diferentes frações (pectina, sacarose e amido) dos CNF e da FDN sobre a produção de proteína microbiana em sistemas de fermentação *in vitro*, com o pH sendo mantido acima de 6,49 nos tubos de fermentação, Hall e Herejk (2001) observaram maior produção com amido, pectina, sacarose e FDN. Também foi observado que os picos de produção de proteína microbiana foram

atingidos com 15,6; 13,5; 12,6 e 19,3 horas após o início da fermentação, respectivamente, para amido, pectina, sacarose e FDN, respectivamente.

Um aspecto interessante da utilização de açúcares em dietas de ruminantes está relacionado ao seu efeito sobre o metabolismo de nitrogênio e crescimento microbiano. Uma redução na concentração de amônia ruminal tem sido notada em quase todos os estudos em que açúcares foram adicionados às dietas. Essa redução sugere um aumento no crescimento microbiano e na eficiência de utilização dos compostos proteicos de rápida degradação ruminal. Chamberlain et al. (1993) demonstraram que os açúcares solúveis (sacarose, lactose e frutose) são superiores ao amido como fonte de energia para a fixação de nitrogênio microbiano no rúmen. Essas observações sugerem a existência de uma relação ótima entre açúcares disponíveis e nitrogênio solúvel, sendo que Hoover e Miller-Webster (1998) citaram um aumento médio de 25% no crescimento microbiano, quando a relação proteína/açúcar solúvel passou de 1:1 para 2 ou 3:1.

Uma vez que os açúcares representam, normalmente, menos de 10% do total de CNF, o amido torna-se a principal fonte de carboidratos para o crescimento microbiano (Hoover e Miller-Webster, 1998). A taxa de fermentação de todos os carboidratos determina seu destino no trato digestivo e a eficiência com a qual os microrganismos podem utilizá-los (Van Soest et al., 1991). O conhecimento da variação na degradabilidade efetiva (DE) das várias fontes de amido, as quais podem ser utilizadas como ingredientes, para sincronizar a disponibilidade de energia e proteína para maximizar a fermentação ruminal é uma estratégia interessante na formulação de dietas para ruminantes.

b) Compostos nitrogenados

A extensão e a taxa da degradação das proteínas afetam diretamente a síntese de proteína microbiana e a quantidade de PNDR que atingirá o duodeno. A degradação da proteína dietética se torna o

mais importante fator que estima as quantidades de aminoácidos absorvidos, alterando assim as exigências de PNDR (Stern et al., 1994). Hoover e Stokes (1991) relataram que peptídeos de maior tamanho são captados mais rapidamente que a maioria dos aminoácidos e pequenos peptídeos, sendo utilizados mais eficientemente para produção microbiana. Segundo Russell et al. (1992), os microrganismos fermentadores de carboidratos não estruturais (CNE) captam peptídeos à uma taxa de 0,07 g de peptídeos por grama de microrganismos por hora e este nitrogênio é utilizado para síntese de proteína microbiana ou produção de amônia. A diversidade de compostos nitrogenados utilizados varia em função da disponibilidade de carboidratos fermentáveis. Quando há carboidratos disponíveis para crescimento microbiano, os peptídeos se tornam a principal fonte de nitrogênio para os fermentadores de carboidratos não estruturais. Quando há redução na disponibilidade de carboidratos todos os peptídeos são direcionados para produção de amônia (Russell et al., 1992).

De acordo com Detmann et al. (2014a), o nível de nitrogênio amoniacal necessário à maximização do consumo de MS é de no mínimo 8 mg/dL, entretanto, os autores reportaram que níveis de 15 mg/dL são necessários para elevar o consumo de FDN, maximizando assim a degradação dos carboidratos fibrosos, o que permite elevar a eficiência microbiana e o trânsito ruminal a partir de forragem de baixa qualidade como os pastos tropicais. Dessa forma, Detmann et al. (2014a) afirmam que a manutenção de níveis de nitrogênio amoniacal em torno de 15 mg/dL é necessária para elevar a produção de proteína microbiana, contribuindo assim para incrementos na PM destinada ao hospedeiro. A discrepância entre os níveis de nitrogênio amoniacal suficientes para elevar o consumo de matéria seca, daqueles necessários para elevar a degradação e o consumo de FDN sugerem um padrão de controle de consumo multifatorial (Detmann et al., 2014b) e não apenas regulados pelos níveis de FDN dietéticos ou repleção ruminal como

preconizado anteriormente para ruminantes em pastejo.

Levando em consideração os níveis de PB que maximizam a produção microbiana, através de compilação de dados, Detmann et al. (2014a) observaram que o nível de 8% de PB é o mínimo requerido para os microrganismos ruminais não utilizarem fontes endógenas de compostos nitrogenados, acarretando em balanço positivo no uso de nitrogênio amoniacal. Abaixo deste valor, acredita-se que a reciclagem de nitrogênio se torne fonte necessária para manutenção do crescimento microbiano, o que poderá reduzir a retenção de proteína corporal dos animais. Acima deste valor, a eficiência de conversão do nitrogênio em proteína microbiana não é máxima, entretanto obtém-se balanço positivo para compostos nitrogenados no ambiente ruminal. Detmann et al. (2014a) ainda relataram que o nível de 10% de PB é o valor máximo para extração dos recursos energéticos basais, e que acima desse valor os níveis de nitrogênio amoniacal podem ser deletérios ao consumo, quando não acompanhados de incremento na energia da dieta. Esses fatos caracterizam a importância da manutenção da adequada relação entre proteína e energia metabolizável para maximizar a eficiência microbiana.

A amônia é a fonte de nitrogênio primária para o crescimento de bactérias ruminais, entretanto, alguns estudos *in vitro* demonstraram que muitas outras bactérias apresentam exigências absolutas ou são estimuladas pela adição de aminoácidos e peptídeos (Cotta e Russell, 1982). Segundo Cotta e Russell (1982), *Bacteroides ruminicola*, *Selenomonas ruminantium*, *Streptococcus bovis*, *Megasphaera elsdenii* e *Butyrivibrio fibrissolvens*, abundantes no ambiente ruminal, são ativas utilizadoras de aminoácidos. Algumas não são exclusivamente utilizadoras de aminoácidos, como por exemplo *Bacteroides ruminicola* que é relativamente pouco afetada em ambientes com baixa oferta de aminoácidos. Por outro lado, culturas *in vitro* de *Butyrivibrio fibrissolvens* não conseguem se manter viáveis na ausência de aminoácidos e peptídeos como fonte de compostos

nitrogenados. Os autores relataram que esses microrganismos apresentam exigências por alguns aminoácidos específicos.

c) Efeito do pH

De acordo com Dewhurst et al. (2000), a eficiência microbiana passa diretamente pelo atendimento das exigências de manutenção dos microrganismos que englobam basicamente os nutrientes necessários para motilidade, *turnover* celular, produção de moléculas extracelulares, transporte ativo, fosforilação, ciclos fúteis e lise celular. Segundo os autores, com a elevação no consumo espera-se redução nos custos de manutenção dos microrganismos, pois esses passarão menor tempo no rúmen. Outros fatores, como por exemplo o pH, quando baixo, elevam o desperdício de energia para manter o pH dentro da célula microbiana. Segundo Strobel e Russell (1986), em baixos valores de pH ruminal, a energia disponível para o crescimento microbiano é desviada para a manutenção do pH interno dos microrganismos, reduzindo, dessa forma, a eficiência de utilização da energia para síntese microbiana.

De maneira geral, em pH abaixo de 6 ocorre inibição da degradação da celulose. Sob condições normais, os microrganismos celulolíticos crescem bem em pH 6,7 e desvios substanciais para elevar ou diminuir esse valor são inibitórios. Uma variação de pH em que a atividade se mantém próxima do normal seria de 0,5 unidades. Valores de pH inferiores a 6,2 inibem a taxa de digestão e aumentam o *lag time* para a degradação da parede celular (Van Soest, 1994). A elevação da latência, eleva por sua vez os custos para manutenção, reduzindo assim a eficiência microbiana.

Strobel e Russell (1986) destacaram que a eficiência microbiana é altamente influenciada pelo desvio de funções em baixo pH. O uso de energia com processos de manutenção da célula é priorizado, reduzindo assim o crescimento microbiano, sendo ainda a energia dissipada na forma de calor. A manutenção do potencial de membrana é uma função prioritária, quanto

menor for o pH externo, mais energia será requerida para expelir prótons.

d) Predição do fluxo de proteína microbiana da dieta

Para conhecer as variáveis que influenciam efetivamente a produção de proteína microbiana em bovinos de corte em condições tropicais, procedeu-se uma meta-análise com o objetivo de estudar o efeito das características dos animais e das dietas sobre essa variável. Neste estudo, foram utilizados 69 trabalhos publicados no Brasil e no exterior, bem como teses e dissertações concluídas no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (Apêndice 3.2), totalizando 2676 dados, em que se estudaram diferentes variáveis que poderiam interferir na produção de proteína microbiana ruminal. O banco de dados foi dividido para utilização em duas fases distintas. A primeira fase foi destinada à geração de equações matemáticas, sendo nessa etapa utilizados 32 trabalhos (n = 2102), e a segunda fase foi destinada à avaliação da qualidade dos modelos gerados, sendo então utilizados outros 37 trabalhos (n = 191) onde utilizaram-se as médias dos tratamentos, sendo no total 1285 animais.

Além disso, o banco de dados foi utilizado separadamente para avaliar quatro opções de atributos energéticos distintos em cada equação, sendo inicialmente associado ao consumo de PB. Primeiramente estudou-se o efeito do consumo de nutrientes digestíveis totais (CNDT), em seguida avaliou-se o efeito do consumo de energia metabolizável (CEM), o consumo de matéria orgânica digerida total (CMOdt) e por fim, o CNDT corrigido para EE (CNDT_{cee}). Assim, o banco de dados completo foi composto das variáveis acima classificadas de acordo com o experimento, grupo genético (Zebuínos, cruzados de corte, cruzados de leite e Holandês), classe sexual (macho não castrado, macho castrado, vaca e novilha) e método analítico (RNA, derivados de purina e ¹⁵N), que compuseram todos os efeitos estudados (Tabela 3.9). O efeito aleatório relativo aos

experimentos coletados foi considerado na geração dos parâmetros das equações.

A partir das variáveis citadas, iniciou-se o processo de seleção das variáveis significativas que influenciaram a PBmic.

Primeiramente procedeu-se o estudo da correlação entre as variáveis, utilizando o PROC CORR do SAS (versão 9.3, SAS Inst. Inc., Cary, NC). As variáveis significativas foram adicionadas ao modelo, utilizando o PROC REG dos SAS, através da implementação da ferramenta STEPWISE (versão 9.3, SAS Inst. Inc., Cary, NC) que selecionou as variáveis significativas. Em seguida, as variáveis candidatas ao modelo foram avaliadas em um procedimento meta-analítico (St-Pierre, 2001) para estimar os efeitos principais, utilizando-se o seguinte modelo matemático geral:

$$Y_{ij} = \beta_0 + S_i + \beta_1 \times X_{ij} + b_i \times X_{ij} + \epsilon_{ij},$$

em que, Y_{ij} = a variável dependente, nesse caso a PBmic; β_0 = intercepto geral considerado efeito aleatório; S_i = efeito aleatório do i th experimento; β_1 = coeficientes geral de regressão da variável resposta em função de X (efeito fixo); X_{ij} = variável preditora; b_i = efeito aleatório do experimento sobre a regressão da variável resposta em função de X; ϵ_{ij} = erro residual, assumindo ϵ_{ij} ; b_i e S_i como variáveis aleatórias independentes. A partir deste modelo, além de experimento, outras variáveis aleatórias foram consideradas: grupo genético (Zebuínos, cruzados de corte, cruzados de leite e Holandês), classe

sexual (macho não castrado, macho castrado, vaca e novilha) e método analítico (RNA, derivados de purina e 15N), bem como todas as interações geradas destes efeitos.

Os efeitos aleatórios como grupo genético, classe sexual e método analítico não foram significativos para nenhum dos modelos propostos ($P > 0,05$) e para cada um dos atributos genéticos estudados para avaliar a PBmic, os seguintes parâmetros foram obtidos: CNDT (CPB: $P < 0,0001$; $CPB^2 = 0,2242$; CNDT: $P < 0,0001$ e $CNDT^2 = 0,0283$); CEM (CPB: $P < 0,0001$; $CPB^2 = 0,9977$; CEM: $P < 0,0001$ e $CEM^2 = 0,0002$) e CMODt (CPB: $P < 0,0001$; $CPB^2 = 0,4814$; CMODt: $P = 0,004$ e $CMODt^2 = 0,0273$). Uma vez estudados todos os efeitos e verificadas as variáveis que compuseram os modelos, utilizou-se o método *Cross Validation* (Duchesne & MacGregor, 2001) para estimar os parâmetros das regressões, que foram testados nas suas formas linear e quadrática. Optou-se por este polinômio uma vez que a produção microbiana não se comporta de forma linear e em teoria atingirá um *plateau* (Figuras 3.6-3.8). Sendo assim, as seguintes equações foram obtidas:

$$PBmic = - 53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2$$

$$PBmic = - 84,87 + 328,7 \times CPB + 28,3 \times CEM - 0,25 \times CEM^2$$

$$PBmic = - 93,62 + 381,7 \times CPB + 90,7 \times CMODt - 3,13 \times CMODt^2$$

Tabela 3.9 - Estatística descritiva dos dados utilizados para gerar modelos de regressão múltipla para estimação da produção da proteína microbiana em bovinos em condições tropicais

Item ¹	n	Média	DP ²	Max ³	Min ⁴
PBmic	2102	775	547	3008	66,8
CPB	2102	1,22	0,87	4,39	0,59
CMS	2102	8,52	5,31	23,8	1,76
CNDT	2102	6,22	3,74	16,8	0,83
CEM	2102	22,3	13,3	60,9	3,00
CMOD	1454	5,70	2,98	15,5	0,62
PB (%)	2102	13,2	2,61	28,9	8,89
PC (Kg)	1563	368	125	737	65,3

¹Proteína microbiana em g/dia; Consumo de proteína bruta em kg/dia; Consumo de matéria seca em kg/dia; Consumo de nutrientes digestíveis totais em kg/dia; Consumo de energia metabolizável; Consumo de matéria orgânica digestível total em kg/dia; Valor médio; ²Desvio padrão; ³Máximo; ⁴Mínimo.

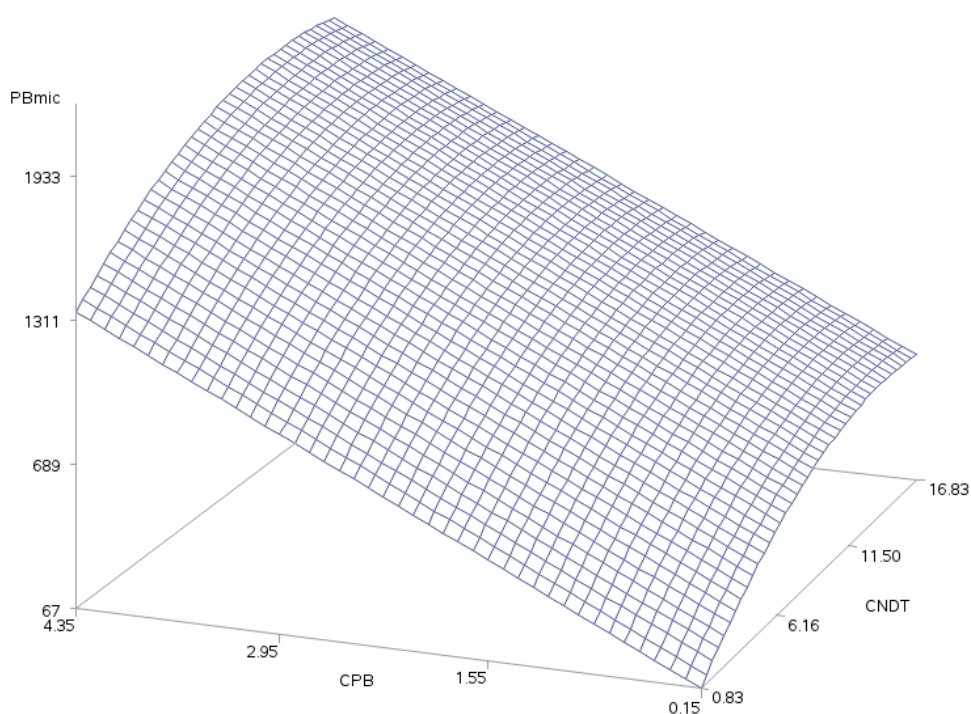


Figura 3.6 - Proteína bruta microbiana predita pela equação: $PBmic = - 53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2$, sendo PBmic em g/dia, CNDT e CPB em kg/dia

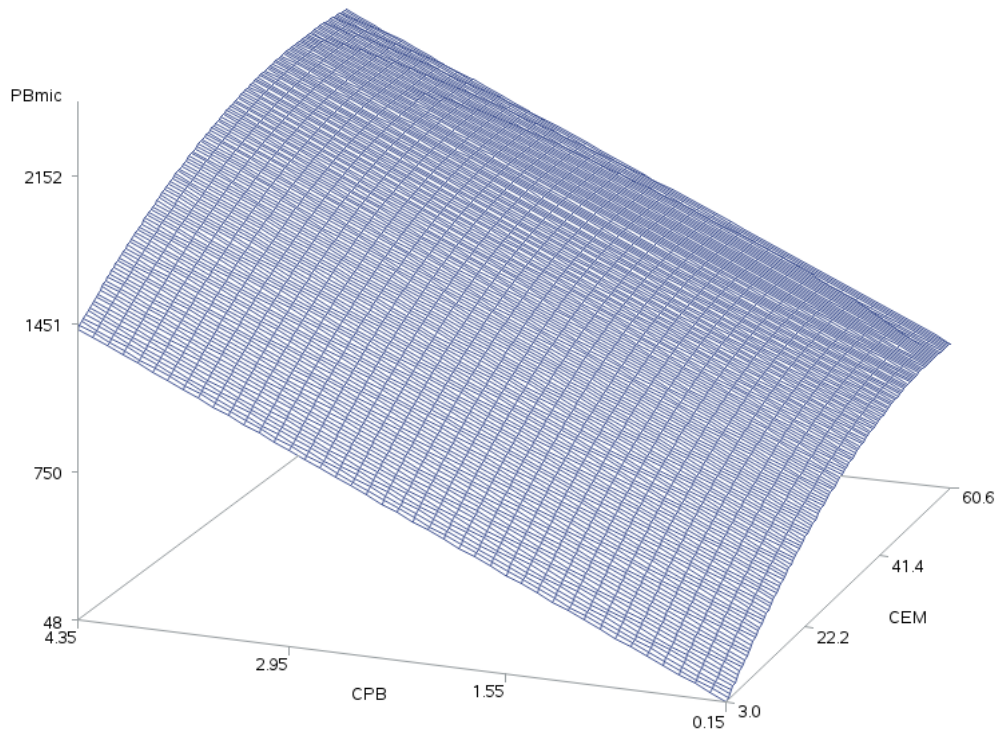


Figura 3.7 - Proteína bruta microbiana predita pela equação: $PBmic = - 84,87 + 328,7 \times CPB + 28,3 \times CEM - 0,25 \times CEM^2$, sendo PBmic em g/dia, CEM em Mcal/dia e CPB em kg/dia

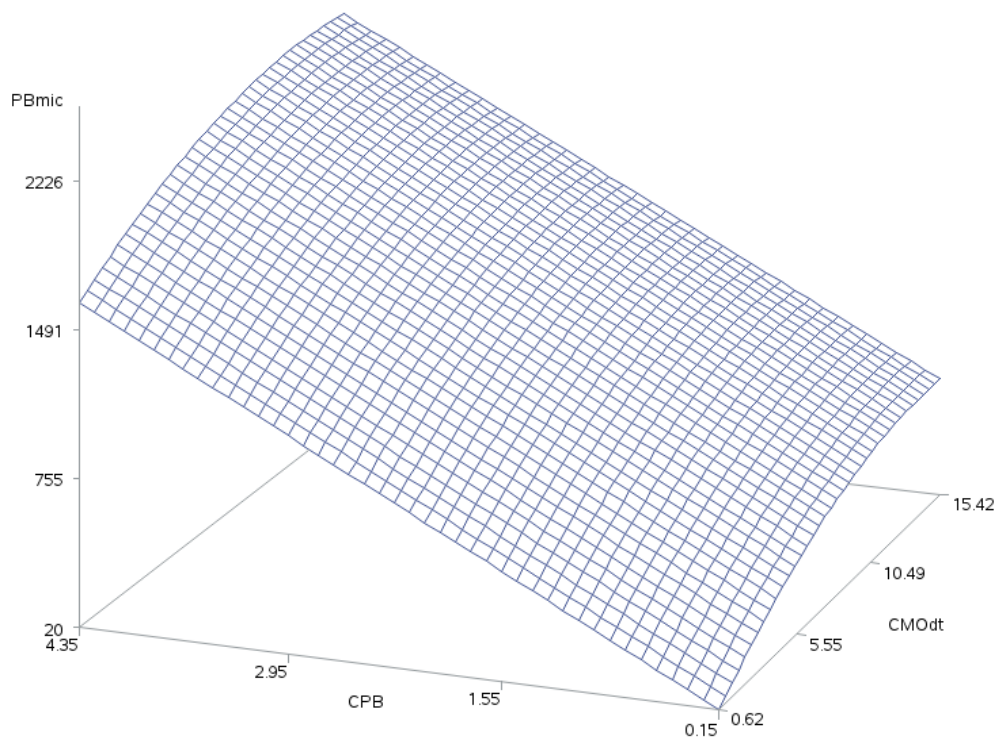


Figura 3.8 - Proteína bruta microbiana predita pela equação: $PBmic = - 93,62 + 381,7 \times CPB + 90,7 \times CMOdt - 3,13 \times CMOdt^2$, sendo PBmic em g/dia, CMOdt em kg/dia e CPB em kg/dia.

Nota-se que para todos os modelos estudados, quando submetidos à validação (Tabela 3.10), as hipóteses de nulidade foram aceitas, o que comprova que os modelos foram adequados para prever o fluxo de PBmic. Os elevados valores para o coeficiente de correlação e concordância (CCC) e coeficiente de determinação da regressão testada (r^2) para todos os modelos indicam alto grau de ajuste dos modelos aos valores observados. O quadrado médio de erro de predição (QMEP), foi inferior para CNDT, o que indica maior exatidão desses

modelos em comparação ao CEM e CMOdt. Ao decompor o QMEP, notou-se que o CNDT e o CMOdt foram os modelos que apresentaram maiores valores para o erro aleatório, que em situação desejável devem estar próximos a 100%, indicando maior precisão na obtenção das estimativas. O maior QMEP e maior vício médio e sistemático para o modelo CEM indica menor adequabilidade desse modelo em prever o fluxo de PBmic, embora, mesmo assim, esses modelos tenham se apresentado adequados.

Tabela 3.10 - Análise de regressão, coeficiente de correlação e concordância (CCC) e decomposição do quadrado médio de predição (QMEP) entre os valores preditos e observados de proteína microbiana ruminal em função de três diferentes unidades energéticas

	Equação de predição da PBmic		
	CNDT ¹	CEM ²	CMOdt ³
AR ⁴			
r^2	0,9531	0,9670	0,9418
H0: a=0 (P-valor)	0,069	0,067	0,5371
H0: b=1 (P-valor)	0,202	0,152	0,0546
CCC	0,9691	0,9697	0,9687
QMEP	8548	11454	10187
VM ⁵ (%)	1,09	15,67	1,76
VS ⁶ (%)	0,87	0,93	1,99
EA ⁷ (%)	98,04	83,40	96,25

¹Consumo de nutrientes digestíveis totais; ²Consumo de energia metabolizável; ³Consumo de matéria orgânica digestível total; ⁴Análise de regressão linear entre valores de PBmic preditos e observados por intermédio de três equações de regressão com base em diferentes unidades energéticas; ⁵Vício médio; ⁶Vício sistemático; ⁷Erro aleatório.

O banco de dados utilizado para estimar as equações anteriores foi formado por dados que tinham, em média, 2,83% ($\pm 1,03$) de EE na dieta. No entanto, a exemplo do BCNRM (2016), o BR-CORTE (2016) desenvolveu uma equação para estimar a síntese de proteína microbiana para altos valores de EE (extrato etéreo):

$$PBmic = - 43,13 + 376,8 \times CPB + 90,9 \times CNDT_{cee} - 3,22 \times CNDT_{cee}^2$$

em que: PBmic é a síntese de proteína microbiana, CPB é o consumo de proteína

bruta, CNDT_{cee} é o consumo de nutrientes digestíveis totais corrigido para EE.

O BCNRM (2016) também sugere uma equação para estimar a síntese de proteína microbiana corrigida para EE ao se utilizar dietas com teor de EE acima de 3,9%. No Brasil, a maioria das dietas para bovinos de corte é formulada para conter teores inferiores a esse. No entanto, caso se utilize dietas com alto teor de EE, pode-se utilizar a equação desenvolvida pelo BR-CORTE, que foi gerada a partir de um banco de dados contendo 1437 animais em condições tropicais.

RECOMENDAÇÕES GERAIS

• Estimação da contaminação microbiana de volumosos incubados *in situ*:

$$A_{PBCC} = 1,99286 + 0,98256 \times A_{PBSC}$$

$$B_{PBCC} = -17,2181 - 0,0344 \times B_{PBSC} + 0,65433 \times PB + 1,03787 \times FDN + 2,66010 \times PIDN - 0,85979 \times FDNi$$

$$kd_{PBCC} = 0,04667 + 0,35139 \times B_{PBSC} + 0,0020 \times PB - 0,00055839 \times FDN - 0,00336 \times PIDN + 0,00075089 \times FDNi$$

$$\%C = 79,21 \times (1 - e^{-0,0555 \times t}) \times e^{-0,0874 \times PB}$$

• Correção nas estimativas da PBmic estimadas a partir de ensaios com sistema de indicador único e duplo:

$$NM_{corr} \text{ (g/dia)} = 49,71 + 0,66 \times Nm_{único}$$

$$NM_{corr} \text{ (g/dia)} = 43,04 + 0,71 \times NM_{duplo}$$

• Fração endógena de derivados de purinas na urina em zebuínos:

$$0,30 \text{ mmol/kg } PC^{0,75}$$

• Excreção diária de ácido úrico na urina a partir da excreção diária de alantoína na urina

$$AU \text{ (mmol/dia)} = 0,1104 \times ALA$$

• Estimação da excreção diária de creatinina na urina em bovinos:

$$ECU \text{ (mg/dia)} = 37,88 \times PC^{0,9316}; r^2 = 0,98$$

• Predição do fluxo de PBmic para o abomaso:

$$PBmic = - 53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2$$

$$PBmic = - 84,87 + 328,7 \times CPB + 28,3 \times CEM - 0,25 \times CEM^2$$

$$PBmic = - 93,62 + 381,7 \times CPB + 90,7 \times CMOdt - 3,13 \times CMOdt^2$$

REFERÊNCIAS

Agricultural and Food Research Council – AFRC.
Energy and protein requirements of ruminants.
Wallingford, UK: CAB international, 159p,
1993.

Alexandrov, A. N. Effect of ruminal exposure and subsequent microbial contamination on dry matter and protein degradability of various feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology*, 71:99-107, 1998.

Aufrère, J.; Cartailier, D. Mise au point d'une méthode de laboratoire de prévision de la dégradabilité des protéines alimentaires des aliments concentrés dans le rumen. *Annales de Zootechnie*, 37:255-270, 1988.

Aufrère, J.; Graviou, D.; Demarquilly, C.; Verite, R.; Michalet-Doreau, B.; Chapoutot, P. Predicting *in situ* degradability of feed proteins in the rumen by two laboratory methods (solubility and enzymatic degradation). *Animal Feed Science and Technology*, 33:97-116, 1991.

- Barbosa, A. M.; Valadares, R. F. D.; Valadares Filho, S. C.; Pina, D. S.; Detmann, E.; Leão, M. I. Endogenous fraction and urinary recovery of purine derivatives obtained by different methods in Nellore cattle. *Journal of Animal Science*, 89:510-519, 2011.
- Beef Cattle Nutrient Requirements Model – BCNRM. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Eighth Edition. Washington, DC: The National Academies Press, 475 p, 2016.
- Beckers, Y.; Thewis, A.; Maudoux, B.; Francois, E. Studies on the in situ nitrogen degradability corrected for bacterial contamination of concentrate feeds in steers. *Journal of Animal Science*, 73:220-227, 1995.
- Berg, R.; Butterfield, R. Muscle: Bone ratio and fat percentage as measures of beef carcass composition. *Animal Production*, 8:1-11, 1966.
- Bowen, M. K.; Poppi, D. P.; McLennan, S. R.; Doogan, V. J. A comparison of the excretion rate of endogenous purine derivatives in the urine of *Bos indicus* and *Bos taurus* steers. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57:173-177, 2006.
- Braga, J. M. D. S.; Valadares, R. F. D.; Pellizzoni, S. G.; Valadares Filho, S. C.; Prates, L. L.; Costa e Silva, L. F. Estimation of endogenous contribution and urinary excretion of purine derivatives from the total digestible nutrient intake in Nellore heifers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:1899-1906, 2012.
- Broderick, G. A. Estimation of protein degradation using in situ and in vitro methods. In Owens, F. N. (Ed.) *Protein Requirements for Cattle: Symposium*, Stillwater, Oklahoma: Oklahoma State University, 72-80, 1982.
- Broderick, G. A. Determination of protein degradation rates using a rumen in vitro system containing inhibitors of microbial nitrogen metabolism. *British Journal of Nutrition*, 58:463-475, 1987.
- Broderick, G. A.; Merchen, N. R. Markers for quantifying microbial protein synthesis in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 75:2618-2632, 1992.
- Broderick, G. A.; Cochran, R. C. In vitro and in situ methods for estimating digestibility with reference to protein degradability. In: Theodorou, M. K.; France, J. (ed.) *Feeding Systems and Feed Evaluation models*. CAB International, Wallingford, UK, 53-85, 2000.
- Broderick, G. A.; Udén, P.; Murphy, M. L.; Lapins, A. Sources of variation in rates of in vitro ruminal protein degradation. *Journal of Dairy Science*, 87:1345-1359, 2004.
- Brown, M. S.; Galyean, M. L.; Duff, G. C.; Hallford, D. M.; Soto-Navarro, S. A. Effects of degree of processing and nitrogen source and level on starch availability and in vitro fermentation of corn and sorghum grain. *The Professional Animal Scientist*, 14:83-94, 1998.
- Cabral, L. S.; Valadares Filho, S. C.; Zervoudakis, J. T.; Souza, A. L.; Detmann, E. Degradabilidade in situ da matéria seca, da proteína bruta e da fibra de alguns alimentos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40:777-781, 2005.
- Callow, E. A. Comparative studies of meat. II. Changes in carcass during growth and fattening and their relation to chemical composition of fatty muscular tissues. *Journal of Agricultural Science*, 38:174-199, 1948.
- Calsamiglia, S.; Stern, M. D. J. A three-step in vitro procedure for estimating intestinal digestion of protein in ruminants. *Journal of Animal Science*, 73:1459-1465, 1995.
- Calsamiglia, S.; Stern, M. D.; Firkins, J. L. Effects of protein source on nitrogen metabolism in continuous culture and intestinal digestion *in vitro*. *Journal of Animal Science*, 73:1819-1827, 1995.
- Calsamiglia, S.; Stern, M. D.; Bach, A.; Givens, D. I.; Owen, E.; Axford, R. F. E.; Omed, H. M. Enzymatic and microbial-cell preparation techniques for predicting rumen degradation and postruminal availability of protein. *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, 259-279, 2000.
- Carro, M. D.; Miller, E. L. Comparison of microbial markers (15N and purine bases) and bacterial isolates for the estimation of rumen microbial protein synthesis. *Animal Science*, 75:315-321, 2002.
- Casali, A. O.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Pereira, J. C.; Henriques, L. T.; Freitas, S. G.; Paulino, M. F. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos in situ. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:335-342, 2008.
- Chamberlain, D. G.; Robertson, S.; Choung, J. J. Sugars vs. starch as supplements to grass silage: effects on ruminal fermentation and the supply of microbial protein to the small intestine, estimated from the urinary excretion of purine derivatives, in sheep. *Journal of Science and Food Agriculture*, 63:189-194, 1993.

- Chen, X. B.; Hovell, F. D. D.; Ørskov, E. R.; Brown, D. S. Excretion of purine derivatives by ruminants: effect of exogenous nucleic acid supply on purine derivative excretion by sheep. *British Journal of Nutrition*, 63:131-142, 1990a.
- Chen, X. B.; Mathieson, J.; Hovell, F. D. D.; Reeds, P. J. Measurement of purine derivatives in urine of ruminants using automated methods. *Journal of Scientific Food Agriculture*, 53:23-33, 1990b.
- Chen, X. B.; Orskov, E. R.; Hovell, F. D. D. Excretion of purine derivatives by ruminants: endogenous excretion, differences between cattle and sheep. *British Journal of Nutrition*. 63:121-129, 1990c.
- Chen, X. B.; Gomes, M. J. *Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives - an overview of the technical details*. Bucksburnd Aberdeen: Rowett Research Institute, 21p, 1992.
- Chen, X. B.; Gomes, M. *Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives-an overview of the technical details*. International Feed Resources Unit, Bucksburnd Aberdeen: Rowett Research Institute, 25p, 1995.
- Chen, X. B.; Ørskov, E. R. *Research on urinary excretion of purine derivatives on ruminants: past, present and future*. International Feed Research Unit, United Kingdom. 1-34, 2003.
- Chizzotti, M. L.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Chizzotti, F. H. M.; Campos, J. M. S.; Marcondes, M. I.; Fonseca, M. A. Consumo, digestibilidade e excreção de uréia e derivados de purinas em novilhas de diferentes pesos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35:1813-1821, 2006.
- Clark, J. H.; Klusmeyer, T. H.; Cameron, M. R. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 75:2304-2323, 1992.
- Cotta, M. A.; Russell, J. B. Effect of peptides and amino acids on efficiency of rumen bacterial protein synthesis in continuous culture. *Journal of Dairy Science*, 65:226-234, 1982.
- Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Pina, D. S.; Henriques, L. T.; Paulino, M. F.; Magalhães, K. A.; Silva, P. A.; Chizzotti, M. L. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 143:127-147, 2008.
- Detmann, E.; Valente, E. E.; Batista, E. D.; Huhtanen, P. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. *Livestock Science*, 162:141-153, 2014a.
- Detmann, E.; Gionbelli, M. P.; Huhtanen, P. A meta-analytical evaluation of the regulation of voluntary intake in cattle fed tropical forage-based diets. *Journal of Animal Science*, 92:4632-4641, 2014b.
- Dewhurst, R. J.; Davies, D. R.; Merry, R. J. Microbial protein supply from the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 85:1-21, 2000.
- Dixon, R. M.; Chanchai, S. Colonization and source of N substrates used by microorganisms digesting forages incubated in synthetic fibre bags in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 83:261-272, 2000.
- Duchesne, C.; McGregor, J. F. Jackknife and bootstrap methods in the identification of dynamic models. *Journal of Process Control*, 11:553-564, 2001.
- Edmunds, B.; Südekum, K. H.; Spiekers, H.; Schwarz, F. J. Estimating ruminal crude protein degradation of forages using in situ and in vitro techniques. *Animal Feed Science and Technology*, 175:95-105, 2012.
- Faichney, G. J. Measurements in sheep of the quantity and composition of rumen digesta and the fractional outflow rates of digesta constituents. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31:1129-1137, 1980.
- Firkins, J. L. Maximizing microbial protein synthesis in the rumen. *The Journal of Nutrition*, 126:1347S-1354S, 1996.
- Fox, D. G.; Tylutki, T. P.; Van Amburgh, M. E.; Chase, L. E.; Pell, A. N.; Overton, T. R.; Tedeschi, L. O.; Rasmussen, C. N.; Durbal, V. M. *The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion* (AnSci Mimeo 213 Ed.). Animal Science Department, Cornell University, Ithaca, NY, 2000.
- France, J.; Thornley, J. H. M.; López, S.; Siddons, R. C.; Dhanoa, M. S.; Van Soest, P. J.; Gill, M. On the two compartment model for estimating the rate and extent of feed degradation in the rumen. *Journal of Theoretical Biology*, 146:269-287, 1990.

- France, J.; López, S.; Dijkstra, J.; Dhanoa, M. S. Particulate matter loss and the polyester-bag method. *British Journal of Nutrition*, 78:1033–1037, 1997.
- France, J.; Dijkstra, J.; Dhanoa, M.; Lopez, S.; Bannink, A. Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed in vitro: Derivation of models and other mathematical considerations. *British Journal of Nutrition*, 83:143-150, 2000.
- Fujihara, T.; Ørskov, E. R.; Reeds, P. J.; Kyle, D. J. The effect of protein infusion on urinary excretion of purine derivatives in ruminants nourished by intragastric nutrition. *Journal of Agricultural Science*, 109:7-12, 1987.
- Gosselink, J.; Dulphy, J. P.; Poncet, C.; Jailer, M.; Tamminga, S.; Cone, J. M. Prediction of forage digestibility in ruminants using in situ and in vitro techniques. *Animal Feed Science and Technology*, 115:227-246, 2004a.
- Gosselink, J. M. J.; Dulphy, J. P.; Poncet, C.; Aufrere, J.; Tamminga, S.; Cone, J. W. Rumen escape nitrogen from forages in sheep: comparison of in situ and in vitro techniques using in vivo data. *Animal Feed Science and Technology*, 116:35-51, 2004b.
- Groot J. C. J.; Cone, J. W.; Williams, B. A.; Debersaques, F. M. A.; Lantinga, E. A. Multiphasic analysis of gas production kinetics for in vitro fermentation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 64, 77–89, 1996.
- Hall, M. B.; Herejk, C. Differences in yields of microbial crude protein from in vitro fermentation of carbohydrates. *Journal of Dairy Science*, 84:2486–2493, 2001.
- Hammond, J. *Principios de la explotación animal: Reproducción, crecimiento y herencia*. Acribia, Zaragoza, 1968.
- Harmon, D. L.; Richards, C. J. Considerations for gastrointestinal cannulation in ruminants. *Journal of Animal Science*, 75:2248–2255, 1997.
- Harper, H. A.; Rodwell, V. W.; Mayes, P. A. *Manual de Química Fisiológica*. 28ª ed. São Paulo: Atheneu, 736p, 2013.
- Hart, F. J.; Leibholz, J. A note on the flow of endogenous protein to the omasum and abomasum of steers. *Animal Production*, 51:217, 1990.
- Higgs, R. J.; Chase, L. E.; Ross, D. A.; Van Amburgh, M. E. Updating the Cornell Net Carbohydrate and Protein System feed library and analyzing model sensitivity to feed inputs. *Journal of Dairy Science*, 98:6340-6360, 2015.
- Hoover, W. H.; Stokes, S. R. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *Journal of Dairy Science*, 74:3630-3644, 1991.
- Hoover, W. H.; Miller-Webster, T. K. Role of sugars and starch in ruminal fermentation. In: *Proceedings Tri-State Dairy Nutrition Conference*. In: Proceedings: Ohio State University, 1-16, 1998.
- Hungate, R. E. *The Rumen and its Microbes*. Academic Press, New York, 1966.
- Huntington, J. A.; Givens, D. I. The in situ technique for studying the rumen degradation of feeds: a review of the procedure. *Nutrition Abstracts and Reviews Series B. Livestock Feeds and Feeding*, 65:63–93, 1995.
- Huxley, J. Problem of relative growth. Methuen and Company, London, 1932.
- Hvelplund, T.; Weisbjerg, M. R. In Situ Techniques for the Estimation of Protein Degradability and Postrumen. *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, 233, 2000.
- Ipharraguerre, I. R.; Reynal, S. M.; Lineiro, M.; Broderick, G. A. A comparison of sampling sites, digesta and microbial markers, and microbial references for assessing the post ruminal supple of nutrients in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90:1904–1919, 2007.
- Kohn, R. A.; Allen, M. S. Enrichment of proteolytic activity relative to nitrogen in preparations from the rumen for in vitro studies. *Animal Feed Science and Technology*, 52:1-14, 1995a.
- Kohn, R. A.; Allen, M. S. In vitro protein degradation of feeds using concentrated enzymes extracted from rumen contents. *Animal Feed Science and Technology*, 52:15-28, 1995b.
- Krawielitzki, K.; Schmidt, T.; Voigt, J.; Kowalczyk, J.; Gabel, M. Dynamics of microbial contamination of protein during ruminal in situ incubation of feedstuffs. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 15:313, 2006.
- Krishnamoorthy, U.; Sniffen, C. J.; Stern, M. D.; Van Soest, P. J. Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and an in vitro simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen-undegraded nitrogen content of feedstuffs. *British Journal of Nutrition*, 50:555-568, 1983.

- Krizsan, S. J.; Ahvenjärvi, S.; Volden, H.; Broderick, G. A. Estimation of rumen outflow in dairy cows fed grass silage-based diets by use of reticular sampling as an alternative to sampling from the omasal canal. *Journal of Dairy Science*, 93:1138–1147, 2010.
- Leal, T. L.; Valadares, R. F. D.; Valadares Filho, S. C.; Leão, M. I.; Detmann, E.; Barbosa, A. M.; Chizzotti, M. L.; Paixão, M. L. Daily variation in the excretion of creatinine and purine derivatives in steers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:896-904, 2007.
- Licitra, G.; Lauria, F.; Carpino, S.; Schadt, I.; Sniffen, C.; Van Soest, P. J. Improvement of the *Streptomyces griseus* method for degradable protein in ruminant feed. *Animal Feed Science and Technology*, 72:1–10, 1998.
- Licitra, G.; Van Soest, P. J.; Schadt, I.; Carpino, S.; Sniffen, C. J. Influence of the concentration of the protease from *Streptomyces griseus* relative to ruminal protein degradability. *Animal Feed Science and Technology*, 77:99-113, 1999.
- Ling, J. R.; Buttery, P. J. The simultaneous use of ribonucleic acid, 35S, 2,6-diaminopimelic acids and 2-aminoethylphosphonic acid as markers for microbial nitrogen entering the duodenum of sheep. *British Journal of Nutrition*, 39:165, 1978.
- Lintzenich, B. A.; Vanzant, E. S.; Cochran, R. C.; Beaty, J. L.; Brandt, Jr., R. T.; Jean, G. Influence of processing supplemental alfalfa on intake and digestion of dormant bluestem-range forage by steers. *Journal of Animal Science*, 73:1187, 1995.
- López, S.; France, J.; Dhanoa, M. S. A correction for particulate matter loss when applying the polyester-bag method. *British Journal of Nutrition*, 71:135–137, 1994.
- López, S.; France, J.; Dhanoa, M.; Mould, F.; Dijkstra J. Comparison of mathematical models to describe disappearance curves obtained using the polyester bag technique for incubating feeds in the rumen. *Journal of Animal Science*, 77:1875-1888, 1999.
- López, S. In vitro and in situ techniques for estimating digestibility. In: Dijkstra, J.; Forbes, J. M.; France, J. (eds) *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*, 2nd edn. CAB International, Wallingford, UK, 87-121, 2005.
- López, S. Non-linear functions in animal nutrition. *Mathematical Modelling in Animal Nutrition* 47-88, 2008.
- Machado, P. A. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Santos, S. A.; Valadares, R. F. D.; Ducatti, C.; Rotta, P. P.; Costa e Silva, L. F. Development of equations to estimate microbial contamination in ruminal incubation residues of forage produced under tropical conditions using n as a label. *Journal of Animal Science*, 91: 3836-3846, 2013.
- Madsen, J.; Hvelplund, T. O. R. B. E. N. Protein degradation in the rumen. *Acta Agricultural Scand*, 25:103-124, 1985.
- Magalhães, K. A.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Paixão, M. L.; Pina, D. S.; Paulino, P. V. R.; Marcondes, M. I.; Araújo, A. M.; Porto, M. O. Produção de proteína microbiana, concentração plasmática de uréia e excreções de uréia em novilhos alimentados com diferentes níveis de uréia ou casca de algodão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:1400-1407, 2005.
- Mahadevan, S.; Sauer, F. D.; Erfle, J. D. Preparation of protease from mixed rumen microorganisms and its use for the in vitro determination of the degradability of true protein in feedstuffs. *Canadian Journal of Animal Science*, 67:55-64, 1987.
- Mariz, L. D. S. 2016. *Digestibilidade intestinal dos aminoácidos e utilização de ¹⁵N e bases purinas para quantificação de síntese de proteína microbiana em zebuínos puros e cruzados alimentados com diferentes níveis dietéticos de proteína bruta*. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 83p, 2016.
- Martín, C.; Williamst, A. G.; Michalet-Doreau, B. Isolation and Characteristics of the Protozoal and Bacterial Fractions from Bovine Ruminal Contents. *Journal of Animal Science*, 72:2962-2968, 1994.
- Martins, A. S.; Zeoula, L. M.; Prado, I. N.; Nunes, E. Degradabilidade ruminal in situ da matéria seca e proteína bruta das silagens de milho e sorgo e de alguns alimentos concentrados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28:1109-1117, 1999.
- Mayer, D.; Stuarde, M.; Swain, A. Regression of real-world data on model output: An appropriate overall test of validity. *Agricultural Systems*, 45:93-104, 1994.

- McAllan, A. B.; Smith, R. H. Degradation of nucleic acids in the rumen. *British Journal of Nutrition*, 29:331-345, 1973.
- McAllan, A. B. The degradation of nucleic acids in, and the removal of breakdown products from the small intestines of steers. *British Journal of Nutrition*, 44:99-112, 1980.
- Menezes, A. C. B. *Use of ¹⁵N to estimate microbial contamination and protein degradation of concentrate feeds and the effect of decreasing dietary crude protein on methane emission and nitrogen losses in Nellore bulls*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 89p, 2016.
- Mertens, D. Principles of modeling and simulation in teaching and research. *Journal of Dairy Science*, 60:1176-1186, 1977.
- Michalet-Doreau, B.; Ould-Bah, M. Y. In vitro and in sacco methods for the estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 40, 57-86, 1992.
- Miller, E. L. Methods of assessing proteins for ruminants, including laboratory methods. In: Miller, E. L., Pike, I. H. (Ed.). *Protein contribution of feedstuffs for ruminants: Application to feed formulation*. Butterworth: Scientific, London, 18-35, 1982.
- National Research Council – NRC. *Ruminant Nitrogen Usage*. Washington, D.C. National Academic Press, 148 p, 1985.
- National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Updated 7th. ed. Washington, DC: National Academy Press, 242p, 2000.
- National Research Council. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. National Academy Science, Washington, DC 408 p, 2001.
- Nocek, J. E. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: A review. *Journal of Dairy Science*, 71:2051-2069, 1988.
- Nocek, J. E. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. In: Teixeira, J. C. (Ed.) *Digestibilidade em ruminantes*. Lavras: FAEPE, 197-240, 1997.
- Nocek, J. E.; Grant. A. L. Characterization of in situ nitrogen and fiber digestion and bacterial nitrogen contamination of hay crop forages preserved at different dry matter percentages. *Journal of Animal Science*, 64:552-564, 1987.
- Oliveira, A. S.; Campos, J. M. S.; Valadares Filho, S. C.; Assis, A. J.; Teixeira, R. M. T.; Rennó, L. N.; Pina, D. S.; Oliveira, G. S. Substituição do milho pela casca de café ou de soja em dietas para vacas leiteiras: Comportamento ingestivo, concentração de nitrogênio uréico no plasma e no leite, balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana. *Revista Brasileira Zootecnia*, 36:205-215, 2007.
- Oliveira, A. S., Valadares, R. F. D.; Valadares Filho, S. C.; Cecon, P. R.; Rennó, L. N.; Queiroz, A. C.; Chizzotti, M. L. Produção de proteína microbiana e estimativas das excreções de derivados de purinas e de uréia em vacas lactantes alimentadas com rações isoprotéicas contendo diferentes níveis de compostos nitrogenados não-protéicos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:1145-1152, 2001.
- Orellana Boero, P.; Balcells, J.; Martín-Orúe, S. M.; Liang, J. B.; Guada, J. A. Excretion of purine derivatives in cows: endogenous contribution and recovery of exogenous purine bases. *Livestock Production Science*, 68:243-250, 2001.
- Ørskov, E. R.; McDonald, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science*, 92:499-503, 1979.
- Ørskov, E. R.; Macleod, N. A.; Kyle, D. J. Flow of nitrogen from the rumen and abomasum in cattle and sheep given protein-free nutrients by intragastric infusion. *British Journal of Nutrition*, 56:241, 1986.
- Ørskov, E. R.; Hovell, F. D.; De, B.; Mould, F. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production*, 5:195-213, 1980.
- Osuji, P. O.; Nsahlai, I. V.; Khalili, H. Effect of Fasting on the Urinary Excretion of Nitrogen and Purine Derivatives by Zebu (*Bos indicus*) and Crossbred (*Bos indicus* x *Bos taurus*) Cattle. *Journal of Applied Animal Research*, 10:39-47, 1996.
- Pereira Filho, J. M.; Resende, K. M.; Teixeira, I. A. M. A.; Silva Sobrinho, A.; Yanes, A. H.; Ferreira, A. C. D. Características da carcaça e alometria dos tecidos de cabritos fl boer x saanen. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:905-912, 2008.

- Pereira, V. S. A. *Influência do peso corporal e das características de carcaça sobre a excreção de creatinina e utilização de coleta spot de urina para estimar a excreção de derivados de purinas e de compostos nitrogenados em novilhas Nelore*. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- Pimpa, O.; Liang, J. B.; Jelan, Z. A.; Abdullah, N. Urinary excretion of duodenal purine derivatives in Kedah-Kelantan cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 92:203-214, 2001.
- Pina, D. S.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Detmann, E.; Campos, J. M. S.; Fonseca, M. A.; Teixeira, R. M. A.; Oliveira, A. S. Estimation of microbial protein synthesis and urea nitrogen metabolism in lactating dairy cows fed diets supplemented with different protein sources. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35:1552-1559, 2006.
- Pires, A. J. V.; Reis, R. A.; Carvalho, G. G. P. D.; Siqueira, G. R.; Bernardes, T. F.; Ruggieri, A. C.; Almeida, E. D. O.; Roth, M. D. T. P. Degradabilidade ruminal da matéria seca, da fração fibrosa e da proteína bruta de forrageiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:643-648, 2006.
- Prates, L. L.; Valadares, R. F. D.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Santos, S. A.; Braga, J. M. S.; Pellizzoni, S. G.; Barbosa, K. S. Endogenous fraction and urinary recovery of purine derivatives in Nelore and Holstein heifers with abomasal purine infusion. *Livestock Science*, 150:179-186, 2012.
- Prates, L. L. *Utilização da 15N15N-ureia infundida intravenosamente em bovinos Nelore*. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Viçosa, 64 p, 2015.
- Puchala, R.; Kulasek, G. Estimation of microbial protein flow from the rumen of sheep using microbial nucleic acid and urinary excretion of purine derivatives. *Canadian Journal of Animal Science*, 72:821-830, 1992.
- Regazzi, A. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão ea igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. *Revista Ceres*, 40:176-195, 1993.
- Rennó, L. N.; Valadares, R. F. D.; Leão, M. I. Estimativa da produção de proteína microbiana pelos derivados de purinas na urina em novilhos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29:1223-1234, 2000.
- Reynal, S. M.; Broderick, G. A.; Bearzi, C. Comparison of four markers for quantifying microbial protein flow from the rumen of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88:4065-4082, 2005.
- Robinson, P.; Fadel, J.; Tamminga, S. Evaluation of mathematical models to describe neutral detergent residue in terms of its susceptibility to degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 15:249-271, 1986.
- Rodríguez, C. A.; González, J. In situ study of the relevance of bacterial adherence to feed particles for the contamination and accuracy of rumen degradability estimates for feeds of vegetable origin. *British Journal of Nutrition*, 96:316-325, 2006.
- Roe, M. B.; Chase, L. E.; Sniffen, C. J. Comparison of in vitro techniques to the in situ technique for estimation of ruminal degradation of protein. *Journal of Dairy Science*, 74:1632-1640, 1991.
- Rotta, P. P.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Costa e Silva, L. F.; Paulino, M. F.; Marcondes, M. I.; Lobo, A. A.; Villadiego, F. A. C. Digesta sampling sites and marker methods for estimation of ruminal outflow in bulls fed different proportions of corn silage or sugarcane. *Journal of Animal Science*, 92:2996-3006, 2014a.
- Rotta, P. P.; Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F.; Detmann, E.; Villadiego, F. A. C.; Engle, T. E.; Valadares, R. F. D.; Silva, B. C.; Pacheco, M. V. C.; Zanetti, D. Comparison of purine bases and 15N for quantifying microbial nitrogen yield using three marker systems and different sampling sites in zebu cross breed bulls. *Livestock Science*, 167:144-153, 2014b.
- Russell, J. B.; O'Connor, J. D.; Fox, D. G.; Van Soest, P. J.; Sniffen, C. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, 70:3551-3561, 1992.
- Santos, S. A.; Campos, J. M. S.; Valadares Filho, S. C.; Oliveira, A. S.; Souza, S. M.; Santiago, A. M. F. Balanço de nitrogênio em fêmeas leiteiras em confinamento alimentadas com concentrado à base de farelo de soja ou farelo de algodão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:1135-1140, 2010.
- Schwab, C. G.; Tylutki, T. P.; Ordway, R. S. Characterization of proteins in feeds. *Journal of Dairy Science*, 86:88-103, 2003.

- Seo, S.; Tedeschi, L. O.; Lanzas, C.; Schwab, C. G.; Fox, D. G. Development and evaluation of empirical equations to predict feed passage rate in cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 128:67-83, 2006.
- Siddons, R. C.; Nolan, J. V.; Beever, D. E.; Macrae, J. C. Nitrogen digestion and metabolism in sheep consuming diets containing contrasting forms and levels of N. *British Journal of Nutrition*, 54:175-187, 1985.
- Sniffen, C. J.; O'Connor, J. D.; Van Soest, P. J.; Fox, D. G.; Russell, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 70:3562-3577, 1992.
- St-Pierre, N. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology1. *Journal of Dairy Science*, 84:741-755, 2001.
- Stern, M. D.; Varga, G. A.; Clark, J. H.; Firkins, J. L.; Huber, J. T.; Palmquist, D. L. Evaluation of chemical and physical properties of feeds that affect protein metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 77:2762-2786, 1994.
- Stern, M. D.; Bach, A.; Calsamiglia, S. Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants. *Journal of Animal Science*, 75:2256-2276, 1997.
- Storm, E.; Brown, D. S.; Ørskov, E. R. The nutritive value of rumen micro-organisms in ruminants. *British Journal of Nutrition*, 50:479-485, 1983.
- Strobel, H. J.; Russell, J. B. Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate-limited cultures of mixed rumen bacteria. *Journal of Dairy Science*, 69:2941-2947, 1986.
- Susmel, P.; Stefanon, B.; Plazzotta, E.; Spanghero, M.; Mills, C. R. The effect of energy and protein intake on the excretion of purine derivatives. *The Journal of Agricultural Science*, 123:257-265, 1994.
- Tamminga, S.; Chen, X. B. Animal based techniques for the estimation of protein value of forages. In: Givens, D. I.; Owen, E.; Axford, R. F. E.; et al. (Ed). *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, Wallingford: CABI Publishing, p. 215-232, 2000.
- Tas, B. M.; Susenbeth, A. Urinary purine derivatives excretion as an indicator of in vivo microbial N flow in cattle: A review. *Livestock Science*, 111:181-192, 2007.
- Tedeschi, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agriculture Systems*, 89:225-247, 2006.
- Teixeira, R. M. A.; Campos, J. M. S.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Oliveira, A. S.; Pina, D. S. Balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana em novilhas leiteiras alimentadas com casca de café em substituição à silagem de milho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:1691-1698, 2007.
- Titgemeyer, E. C.; Merchen, N. R. The effect of abomasal methionine supplementation on nitrogen retention of growing steers post-ruminally infused with casein or nonsulfur-containing amino acids. *Journal of Animal Science*, 68:750-757, 1990.
- Topps, J. H.; Elliott, R. C. Relationship between Concentrations of Ruminal Nucleic Acids and Excretion of Purine Derivatives by Sheep. *Nature*, 205:498-499, 1965.
- Ushida, K.; Lassalas, B.; Jouany, J. P. Determination of assay parameters for RNA analysis in bacterial and duodenal samples by spectrophotometry: Influence of sample treatment and preservation. *Reproduction, Nutrition and Development*, 25:1037-1046, 1985.
- Valadares, R. F. D.; Broderick, G. A.; Valadares Filho, S. C.; Clayton, M. K. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. *Journal of Dairy Science*, 82:2686-2696, 1999.
- Valente, T. N. P.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Sampaio, C. B.; Gomes, D. I. Avaliação dos teores de fibra em detergente neutro em forragens, concentrados e fezes bovinas moídas em diferentes tamanhos e em sacos de diferentes tecidos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:1148-1154, 2011.
- Van Milgen, J.; Murphy, M.; Berger, L. A compartmental model to analyze ruminal digestion. *Journal of Dairy Science*, 74:2515-2529, 1991.
- Van Soest, P. J.; Robertson, J. B.; Lewis, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74:3583-3597, 1991.
- Van Soest, P. J. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2. Ed. London. Constock Publishing Associates, USA, 476 p, 1994.

- Vanzant, E. S.; Cochran, R. C.; Titgemeyer, E. C.; Stafford, S. D.; Olson, K. C.; Johnson, D. E.; St Jean, G. In vivo and in situ measurements of forage protein degradation in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 74:2773-2784, 1996.
- Vanzant, E. S.; Cochran, R. C.; Titgemeyer, E. C. Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *Journal of Animal Science*, 76:2717-2729, 1998.
- Verbic, J.; Chen, X. B.; Macleod, N. A.; Ørskov, E. R. Excretion of purine derivatives by ruminants. Effect of microbial nucleic acid infusion on purine derivative excretion by steers. *The Journal of Agricultural Science*, 114:243-248, 1990.
- Verbic, J. Factors affecting microbial protein synthesis in the rumen with emphasis on diets containing forages. *Gumpenstein, Germany: Viehwirtschaftliche Fachtagung, Milchproduktion und Rindermast. Gumpenstein*, 10 p, 2002.
- Waldo, D. R.; Smith, L. W.; Cox, E. L. Model of cellulose disappearance from the rumen. *Journal of Dairy Science*, 55:125-129, 1972.
- Weisbjerg, M. R.; Bhargava, P. K.; Hvelplund, T.; Madsen, J. *Anvendelse af Nedbrydningsprofiler i Fodermiddelvurderingen*. Beretning, 679, Statens Husdyrbrugsforsøg, Foulum, Denmark, 33 p, 1990.

Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos

Edenio Detmann, Tadeu Eder da Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Cláudia Batista Sampaio, Malber Nathan Nobre Palma

A composição química de um alimento/dieta constitui o principal determinante de sua capacidade de fornecimento de nutrientes e atributos nutricionais para atendimento das demandas de manutenção e produção animal, notadamente no tocante ao fornecimento de energia, a qual é produzida a partir de processos digestivos e metabólicos sobre os diferentes componentes orgânicos dos alimentos. Tabelas de composição de alimentos são confiáveis no sentido de fornecerem valores médios da concentração energética com exatidão. Contudo, existem variações inerentes sobre a composição química de alimentos em condições de campo que não podem ser devidamente contempladas pela tabulação de dados. Desta forma, o uso da composição química como preditor da capacidade de um alimento em fornecer energia pode flexibilizar o trabalho dos nutricionistas no momento da formulação de dietas em situações específicas, tornando-as mais exatas e apropriadas para cada situação produtiva.

INTRODUÇÃO

A obtenção de estimativas dos coeficientes de digestibilidade constitui aspecto básico para se quantificar o valor energético dos alimentos ou dietas, notadamente via nutrientes digestíveis totais (NDT), permitindo o balanceamento adequado de dietas que propiciem o atendimento das demandas de manutenção e de produção dos animais.

No entanto, mesmo constituindo parâmetro digestivo estático, ou seja, podendo ser representado por uma estimativa pontual, o acesso à estimativa do coeficiente de digestibilidade de um alimento ou de seus

respectivos componentes químicos constitui processo oneroso e com elevada demanda por tempo quando realizado pelos métodos clássicos *in vivo* (Detmann et al., 2006a).

Em primeira instância, em muito locais do mundo, incluindo-se o Brasil, esforços foram direcionados à compilação de dados de forma a se construir tabelas que procurassem servir de alternativa a técnicos e produtores no tocante à composição de alimentos, incluindo-se os teores energéticos dos mesmos. Tais intentos calcavam-se no fato de que amostras de grandes dimensões tenderiam a apontar com maior precisão e exatidão a média populacional das características dos alimentos (efeito conhecido como “lei dos grandes números”), o que, em tese, ampliaria a acurácia de rações calculadas com base nos valores tabelados (Detmann et al., 2008a).

Contudo, embora os valores energéticos tabelados dos alimentos tendam a ser confiáveis do ponto de vista estatístico, os alimentos utilizados em diferentes sistemas de produção constituem informações pontuais, ou seja, pertencem a uma distribuição, muitas vezes normal, mas com afastamentos variados da média populacional. Assim, rações calculadas com base em médias tenderão a fornecer produções desviadas do inicialmente planejado em intensidade similar ao desvio das características do alimento utilizado em relação à média populacional (Detmann et al., 2008a).

Este quadro se mostra particularmente intenso nos trópicos, principalmente com alimentos volumosos, uma vez que as características dos alimentos produzidos refletem de forma mais marcante, em comparação a regiões não tropicais, as oscilações climáticas e edáficas (e.g., temperatura, precipitação, radiação solar, fertilidade do solo).

Estes aspectos de influência pontual sobre o conteúdo energético dos alimentos demandaram esforços para que a dependência de valores médios oriundos de tabelas de composição pudesse ser amenizada. Embora trabalhos com grande contribuição nesse contexto tenham sido desenvolvidos há algumas décadas (e.g., Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), destaca-se como marco principal a 7ª edição das tabelas americanas para bovinos de leite (NRC, 2001), nas quais dados tabelados de conteúdo energético dos alimentos deixaram de ser rotineiramente utilizados em detrimento de alternativa para se estimar o conteúdo energético de alimentos sob a filosofia “cada caso é um caso”. Desta forma, minimizar-se-iam os desvios entre as características de produção previstas no balanceamento da ração e aquelas efetivamente obtidas no campo (Detmann et al., 2008a).

A base do sistema de predição do conteúdo energético dos alimentos ofertados a bovinos adotado pelo NRC (2001) reside sobre a influência da composição química sobre a capacidade de fornecimento de energia. O método se baseia em sistema de equações somativas (ou aditivas), no qual, para cada grupo de compostos químicos com potencial de contribuição energética (PB, proteína bruta; EE, extrato etéreo; CNF, carboidratos não-fibrosos; e FDN, fibra em detergente neutro) destina-se um sub-modelo responsável pela obtenção de estimativas das frações verdadeiramente digestíveis, com posteriores correções no tocante a perdas metabólicas fecais e nível de consumo.

Contudo, embora empregando as características dos alimentos efetivamente utilizados nos sistemas de produção (ou seja, análises laboratoriais e não médias populacionais) e apresentando embasamento teórico (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), o sistema adotado pelo NRC (2001) não apresentada eficiência de predição satisfatória quando aplicado a alimentos obtidos em condições tropicais (Rocha Jr. et al., 2003; Costa et al., 2005; Silva et al., 2007; Detmann et al., 2008b; Campos et al., 2010; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012), o que compromete sua aplicação efetiva.

A partir desta limitação, sub-modelos destinados à predição das frações digestíveis da PB, EE, CNF e FDN foram desenvolvidos e avaliados em condições tropicais (Detmann et al., 2004a; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2008b; 2008c; 2010a). A avaliação unificada destes sub-modelos, constituindo um novo sistema somativo, mostrou que este é capaz de predizer com maior exatidão a concentração de NDT em dietas ofertadas para bovinos no Brasil (Detmann et al., 2008b; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012), gerando alternativa à aplicação do modelo adotado pelo NRC (2001) e culminando com a adoção de sistema de predição na segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b).

Contudo, a partir da detecção de pequenas limitações nos sub-modelos originalmente propostos, de novas informações geradas por avaliações experimentais e/ou meta-analíticas e também a partir de novas abordagens nas avaliações da composição química dos alimentos, aprimoramentos no sistema de predição da concentração dietética de NDT foram produzidos, as quais implicaram em modificações no modelo originalmente adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b).

DESCRIÇÃO DO MODELO

Sub-modelos para EE e CNF

Os sub-modelos aplicados aos componentes não-fibrosos EE e CNF não sofreram alterações teóricas ou empíricas significativas a partir da segunda edição do Sistema BR-CORTE. Sua proposição baseou-se no teste de Lucas (Lucas e Smart, 1959), para a obtenção dos coeficientes de digestibilidade verdadeiros, e nos pressupostos do sistema fatorial (Blaxter e Mitchell, 1948; Lucas, 1960), para distinção entre as frações metabólica fecal e verdadeiramente não-digerida.

Sob tais pressupostos, pode-se definir a massa fecal aparentemente não-digerida dos diferentes componentes não-fibrosos (EE ou CNF), por:

$$F = I + M + E \quad (4.1);$$

em que: F, massa fecal (g/dia); I, fração verdadeiramente não-digerida (g/dia); M, fração metabólica fecal (g/dia); e E, fração endógena fecal (g/dia).

Neste contexto, define-se como fração metabólica a porção fecal oriunda de secreções do trato digestivo (Lucas, 1960), acrescida de debrís microbianos (Van Soest, 1994). Por outro lado, a fração endógena fecal corresponde à porção fecal oriunda da secreção de “restos” metabólicos pelas células do trato gastrointestinal (Lucas, 1960).

A partir de tais definições, pode-se relacionar a identidade exposta em (4.1) ao consumo diário, fazendo-se:

$$C - F = C - (I + M + E) \quad (4.2a);$$

$$C - F = C - I - M - E \quad (4.2b);$$

$$\frac{C - F}{C} = \frac{C - I - M - E}{C} \quad (4.2c);$$

$$D_a = 1 - \frac{I}{C} - \frac{M}{C} - \frac{E}{C} \quad (4.2d);$$

em que: C, consumo (g/dia); D_a , coeficiente de digestibilidade aparente (g/g).

A fração fecal endógena pode ser representada por uma função matemática proporcional à massa metabólica do animal (Blaxter e Mitchell, 1948; Lucas, 1960), dada por:

$$\frac{E}{C} = \frac{\varepsilon \times P^{\frac{3}{4}}}{C} = \frac{\varepsilon}{C} \times P^{\frac{3}{4}} \quad (4.3);$$

em que: P, massa do animal (g); e ε , constante relacionada à liberação endógena no trato gastrointestinal por unidade de massa metabólica ($g/g \times dia^{-1}$).

A razão (ε/C) somente poderá ser considerada significativa se, e somente se, o consumo assumir valores extremamente pequenos (Lucas, 1960), possivelmente em níveis de alimentação abaixo da manutenção. Assim, em condições de manutenção ou produção, tem-se:

$$\lim_{C \rightarrow C^0} \frac{\varepsilon}{C} \times P^{\frac{3}{4}} = 0 \quad (4.4);$$

em que: C^0 , consumo sob condições de alimentação em manutenção ou produção (g/dia).

Desta forma, reescreve-se a equação (4.2d), como:

$$D_a = \left(1 - \frac{I}{C}\right) - \frac{M}{C} \quad (4.5a);$$

$$D_a = D_v - \frac{M}{C} \quad (4.5b);$$

em que: D_v = coeficiente de digestibilidade verdadeiro (g/g).

Multiplicando-se ambos os termos da equação (4.5b) pelo consumo, faz-se:

$$C \times D_a = (C \times D_v) - M \quad (4.6).$$

Derivando-se (4.6) em função do consumo, obtém-se:

$$\frac{d(C \times D_a)}{dC} = \frac{d(C \times D_v)}{dC} - \frac{dM}{dC} \therefore D_a = D_v - \frac{dM}{dC} \quad (4.7).$$

Desta forma, o coeficiente de digestibilidade aparente (Equação 4.7) pode ser representado por dois diferentes componentes: o primeiro, que representa o coeficiente de digestibilidade verdadeiro constante; e o segundo, que representa a fração metabólica fecal diferenciada em função do consumo.

Convertendo-se a equação (4.7) com base no conteúdo dietético, faz-se:

$$R \times D_a = (R \times D_v) - \left(R \times \frac{dM}{dC}\right) \quad (4.8a);$$

$$R_{ad} = R_{vd} - MC \quad (4.8b);$$

em que: R, conteúdo dietético (% da MS); MC, contribuição metabólica fecal, expressa como conteúdo dietético (% da MS); R_{ad} , fração dietética aparentemente digestível (% da MS); e R_{vd} , fração dietética verdadeiramente digestível (% da MS).

Dois conjuntos de dados, construídos a partir de experimentos conduzidos com vacas em lactação ou bovinos em crescimento e terminação em condições tropicais, foram empregados para estimação dos parâmetros descritos na equação (8b) para os componentes EE (n = 108) e CNF (n = 84) (Detmann et al., 2006a; 2006c).

Para todos os componentes avaliados verificou-se similaridade entre categorias animais (vacas em lactação ou bovinos em crescimento e terminação) no tocante ao coeficiente de digestibilidade verdadeiro. Por outro lado, a contribuição metabólica fecal mostrou-se diferenciada entre categorias animais (Detmann et al., 2006a; 2006c), o que agrega perfeitamente aos pressupostos relatados por Lucas e Smart (1959) e àqueles representados na Equação (4.8).

Os sub-modelos para estimação das frações verdadeiramente digestíveis são:

$$EE_{vd} = 0,86 \times EE \quad (4.9);$$

$$CNF_{vd} = 0,95 \times CNF \quad (4.10);$$

em que: EE_{vd} , EE verdadeiramente digestível (% da MS); EE, conteúdo dietético de EE (% da MS); CNF_{vd} , CNF verdadeiramente digestíveis (% da MS); CNF, conteúdo dietético de CNF (% da MS).

Não havendo diferenças entre categorias animais no tocante ao coeficiente de digestibilidade verdadeiro, as equações (4.9) e (4.10) são aplicadas de forma similar a vacas em lactação e animais em crescimento e terminação. Assim, a diferenciação entre estas se dá exclusivamente pela fração aparentemente digestível, ou seja, pela contribuição metabólica fecal, empregando-se as estimativas expressas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Contribuição metabólica fecal (% da matéria seca) do extrato etéreo (EE), dos carboidratos não-fibrosos (CNF) e da proteína bruta (PB) para animais alimentados *ad libitum*

Componente	Categoria Animal	
	Vacas em Lactação	Bovinos em Crescimento e Terminação
EE	0,21	0,18
CNF	5,72	5,11
PB	0,97	1,61
FM_{NDT}^1	7,16	7,13
FM_{ED}^2	0,314	0,322

¹ FM_{NDT} , fração metabólica fecal total para o cálculo da concentração de NDT ($FM_{NDT} = PB + CNF + 2,25 \times EE$).

² FM_{ED} , fração metabólica fecal para o cálculo da concentração de energia digestível (Mcal/kg MS).

Na segunda edição do Sistema BR-CORTE frações metabólicas fecais diferenciadas foram estimadas para condições de manutenção e produção. No entanto, a partir da terceira edição do Sistema BR-CORTE, estimativas das concentrações de frações e do teor dietético de energia para animais alimentados a nível de manutenção não serão mais consideradas, haja vista sua limitada aplicação.

Procedimentos individuais de validação foram previamente conduzidos sobre as frações aparentemente digestíveis de EE e CNF a partir de bancos de dados independentes daqueles utilizados na construção dos sub-modelos (Detmann et al., 2006a; 2006c; 2008b; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012). Estas avaliações demonstraram que os sub-modelos adotados no Sistema BR-CORTE são mais acurados e precisos que aqueles adotados pelo NRC (2001).

Sub-modelo para FDN

Em termos biológicos, o sub-modelo desenvolvido para a estimação da fração digestível da FDN manteve seu embasamento no fracionamento deste componente em suas frações potencialmente digestível e indigestível, segundo a equação:

$$FDN_d = D \times FDN_{pd} \quad (4.11a);$$

$$FDN_d = D \times (FDN - FDN_i) \quad (4.11b);$$

em que: FDN_d , FDN digestível (% da MS); FDN_{pd} , FDN potencialmente digestível (% da MS); D, coeficiente de digestibilidade da FDN_{pd} (g/g); e FDN_i , FDN indigestível (% da MS).

Tanto o sub-modelo utilizado na segunda edição do Sistema BR-CORTE, como o sub-modelo adotado pelo NRC (2001) para a predição da fração digestível da FDN foram baseados em aproximações químicas e

em relação não-linear exponencial entre a lignina e a FDNi em adaptação aos pressupostos da Lei de Superfície (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), sendo o fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN considerado parâmetro base (Detmann et al., 2004a). A estrutura matemática de ambos os modelos é dada por:

$$FDN_d = D \times \left\{ (FDN_{cp} - L) \times \left[1 - \left(\frac{L}{FDN_{cp}} \right)^F \right] \right\} \quad (4.12);$$

em que: FDN_d, FDN digestível (% da MS); D, coeficiente de digestibilidade da FDNpd (g/g); FDN_{cp}, concentração de FDN, expresso com correções para cinzas e proteínas (% da MS)¹; L, concentração de lignina (% da MS); e F, fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN.

A primeira limitação observada para a equação (4.12) reside sobre a utilização de fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN constante [0,667, NRC (2001); 0,85, Detmann et al. (2010b)]. Esta pressuposição implica que a lignina agiria de forma homogênea na determinação da dimensão da fração FDNi e, conseqüentemente, da fração FDNpd, em todo e qualquer alimento. Contudo, a relação entre lignina e FDNi varia entre tipos de forragem (Palmonari et al., 2016) e entre forragens e concentrados. Isto compromete a exatidão das estimativas da fração digestível da FDN.

As frações FDNpd e FDNi constituem conceitos biológicos assintóticos, ou seja, são definidas quanto o tempo de exposição aos sistemas enzimáticos microbianos do rúmen tende ao infinito (Detmann et al., 2008a). Em termos analíticos, avaliação pontual acurada destas frações somente é obtida por intermédio de ensaios biológicos de longa duração (incubações ruminais *in situ* em tempos iguais ou superiores a 240 horas; Casali et al., 2008; Valente et al., 2011). Apesar de isto comprometer a obtenção de estimativas de forma rápida e restringir as avaliações em função da disponibilidade de animais fistulados, a incubação ruminal *in situ* de longa duração constitui a forma mais

acurada de se estimar as frações FDNi e FDNpd e é a forma recomendada para inserção de valores na equação base do sub-modelo (Equação 4.11b).

No entanto, considerando-se as limitações das bases teóricas associadas à equação (4.12) e assumindo-se situações nas quais incubações ruminais *in situ* não possam ser realizadas, alternativa para a obtenção de estimativas da concentração de FDNi por aproximação química foi desenvolvida baseada em análises de amostras de alimentos utilizados no Brasil. Nesta aproximação, a associação entre FDNi e características químicas de volumosos (n = 371) e de concentrados (n = 65) foi investigada. Contudo, durante o processo de ajustamento das equações, verificou-se que correlações mais fortes com as características químicas foram verificadas com a fração FDNpd em comparação à fração FDNi. Desta forma, para obtenção de equações mais robustas, as mesmas foram avaliadas em relação à fração FDNpd, considerando-se que a mesma representa o complemento da fração FDNi em relação à FDN total. A característica básica para estimação residiu sobre a associação direta entre as concentrações de FDNpd e FDN corrigida para cinzas e proteína (FDN_{cp}), tanto para forragens (Figura 4.1) como para concentrados (Figura 4.2), e em correções para a dimensão da fração FDNpd em função de outras características químicas dos alimentos [fibra em detergente ácido (FDA) e lignina]. Foram evidenciadas relações distintas para os diferentes grupos de alimentos (forragens e concentrados), o que representa ganho em comparação à relação homogênea anteriormente assumida pela estrutura da equação (4.12).

Para forragens e concentrados as equações são, respectivamente:

$$FDNpd(F) = 3,38 + 0,883 \times FDN_{cp} - 0,834 \times FDA + 0,0065 \times FDA^2 - 0,197 \times L$$

$$(s_{XY} = 3,37; R^2 = 0,895) \quad (4.13)$$

$$FDNpd(C) = -1,19 - 10,16 \times D + 1,012 \times FDN_{cp} - 0,052 \times FDA$$

$$(s_{XY} = 0,71; R^2 = 0,998) \quad (4.14)$$

em que: FDNpd(F) e FDNpd(C), concentrações de FDNpd em forragens e

¹ No sub-modelo adotado pelo NRC (2001), a concentração de FDN apresenta correção somente para a proteína contaminante.

concentrados, respectivamente (% da MS); FDNcp, concentração de fibra em detergente neutro com correções para proteína e cinzas contaminantes (% da MS); FDA, concentração de fibra em detergente ácido sem correções para proteína e cinzas contaminantes (% da MS); L, concentração de lignina mensurada pelo método da hidrólise ácida (% da MS); D, variável “dummy” associada ao tipo de concentrado, sendo D = 1 para concentrados contendo fibra de menor degradação potencial [farelo, torta e caroço de algodão; farelo e torta de girassol; farelo de trigo; e milho desintegrado com palha e sabugo (MDPS)] e D = 0 para os demais alimentos concentrados.

Contudo, alerta-se que as estimativas de concentração das frações FDNi ou FDNpd obtidas por aproximações químicas apresentam relações limitadas, uma vez que características químicas simples não seriam capazes de reproduzir ou representar todos os

eventos biológicos associados ao crescimento vegetal e ao estabelecimento de interações físicas e químicas entre os componentes da parede celular responsáveis pelo estabelecimento da dimensão destas frações.

A segunda limitação observada para a equação (4.12) reside sobre a utilização de valores fixos para o coeficiente de digestibilidade da FDNpd [0,75; NRC (2001)]. Embora o sub-modelo utilizado na segunda edição do Sistema BR-CORTE tenha previsto diferenças entre categorias animais [0,67 para vacas em lactação; e 0,84 para bovinos em crescimento e terminação; Detmann et al., 2010b], o coeficiente de digestibilidade da FDNpd é assumido como fixo dentro de categorias, o que, à semelhança do adotado pelo NRC (2001), desconsidera todas as influências de nível de consumo, composição química da dieta e tipo de alimento sobre a degradação ruminal da fibra potencialmente degradável.

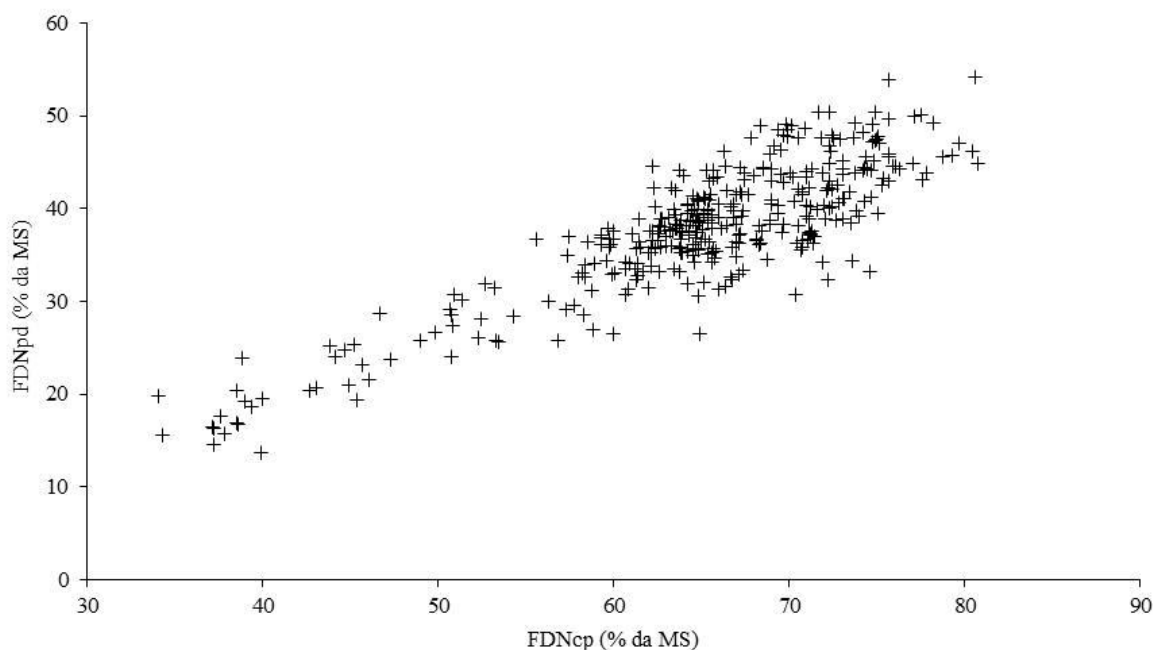


Figura 4.1 - Relação entre a concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) em amostras de forragens (n = 371).

Para contornar esta situação, abordagem meta-analítica para a associação entre composição química, composição da dieta e nível de consumo e o coeficiente de digestibilidade da FDNpd foi realizada utilizando-se dados de dietas ofertadas *ad*

libitum para vacas em lactação (n = 45) e bovinos em crescimento e terminação (n = 213) no Brasil. Os resultados permitiram evidenciar relações distintas para as categorias animais, cujas equações são:

$$D_{CT} = 80,21 \times FOR - 0,0166 \times CMS^2 + 2,658 \times FDNi + 3,691 \times PB + 0,0507 \times (CMS \times FDNi) - 2,9673 \times (FOR \times FDNi) - 3,9990 \times (FOR \times PB) \quad (4.15);$$

$$D_L = 249,32 + 1,180 \times CONC - 12,422 \times CMS + 0,2313 \times CMS^2 - 0,0475 \times (CONC \times CMS) \quad (4.16);$$

em que: D_{CT} e D_L , coeficiente de digestibilidade da FDNpd para bovinos em crescimento e terminação e vacas em lactação, respectivamente (%); FOR, variável “dummy” associada ao tipo de forragem utilizada, sendo FOR = 0 para silagens de milho e sorgo e FOR = 1 para gramíneas forrageiras e cana-de-açúcar; CMS, consumo voluntário de MS (g/kg de peso corporal); FDNi, concentração de FDNi na dieta (% da MS); PB, concentração de PB na dieta (% da MS); e CONC, nível de concentrado na dieta (% da MS).

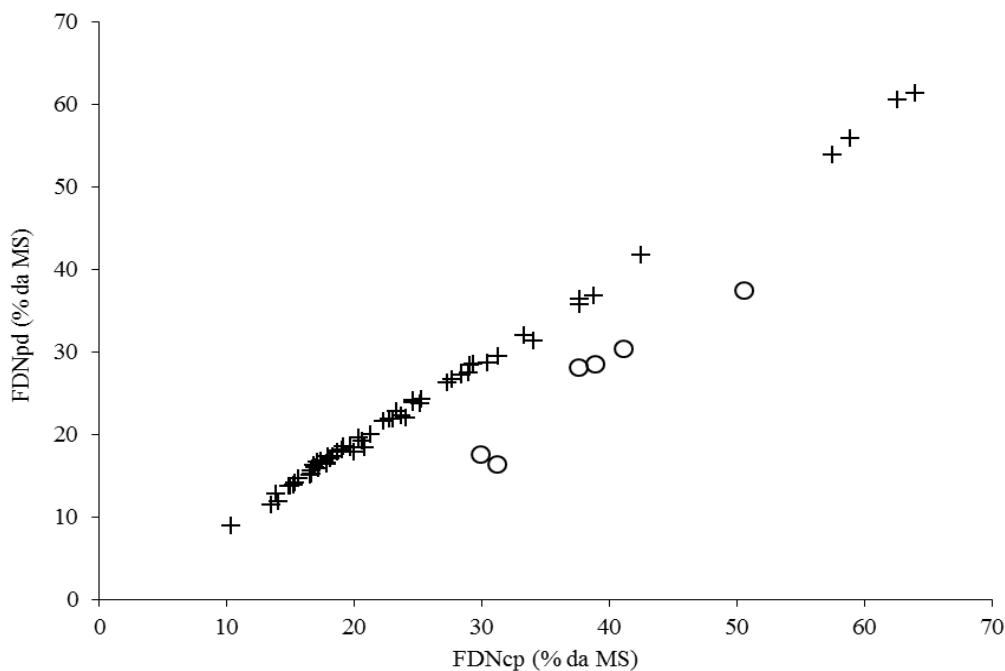


Figura 4.2 - Relação entre a concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) em amostras de concentrados (n = 65; o = concentrados contendo fibra de menor degradação potencial; + = demais alimentos concentrados).

Ressalta-se que as equações apresentaram ajustes adequados (Figuras 4.3 e 4.4) e permitiram contemplar diferentes aspectos da dieta que efetivamente influenciam na utilização ruminal dos compostos fibrosos insolúveis potencialmente digestíveis.

Contudo, limitação inerente às Equações (4.15) e (4.16) é verificada para o cálculo de rações, uma vez que estimativas de parâmetros finais do cálculo (i.e., relação volume:concentrado, concentrações dietéticas de PB e FDNi) são necessários para a realização do cálculo em si, o que faz deste um processo iterativo. Isto pode dificultar os procedimentos computacionais.

Desta forma, um sistema alternativo foi desenvolvido baseado na avaliação de dietas obtidas de 60 animais alimentados exclusivamente com forragens (i.e., silagem de milho, cana-de-açúcar, feno de capim-braquiária, feno de *Cynodon*, silagem de gramíneas), nos quais os dados da taxa de passagem e degradação da FDNpd foram estimados por intermédio de esvaziamento ruminal (Allen e Linton, 2007). O modelo base para quantificação da fração digestível da FDN é dado por:

$$FDN_d = \left[\frac{kd}{kd + kp} \times FDNpd \right] \times FAI \quad (4.17a);$$

$$FDN_d = \left[\frac{kd}{kd + kp} \times (FDNcp - FDNi) \right] \times FAI \quad (4.17b);$$

em que: kd , taxa de degradação da FDNpd (h^{-1});
 kp , taxa de passagem ruminal da FDNpd (h^{-1}); e

FAI, fator de ajuste para a digestibilidade intestinal.

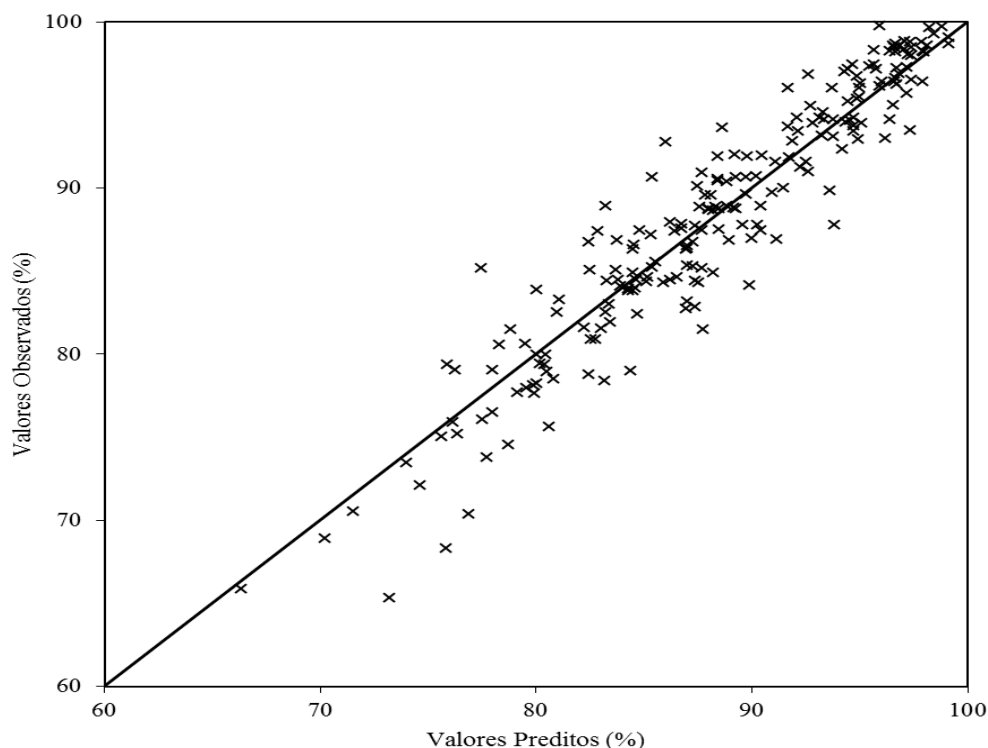


Figura 4.3 - Relação entre valores preditos e observados para o coeficiente de digestibilidade da FDN potencialmente digestível em bovinos em crescimento e terminação (Equação 4.15; a linha contínua representa a relação $Y = X$; $s_{XY} = 2,96$; $R^2 = 0,900$; falta de ajustamento: $P > 0,07$).

O modelo adotado para descrição das taxas de degradação e de passagem da FDNpd de forragens são dados por (Figuras 4.5 e 4.6):

$$kd = 0,00329 \times CMS \quad (s_{XY} = 0,0106) \quad (4.18);$$

$$kp(F) = \frac{0,287}{FDNi} \quad (s_{XY} = 0,0048) \quad (4.19a);$$

$$kp(F) = \frac{0,287}{(FDNcp - FDNpd)} \quad (4.19b);$$

em que: CMS, consumo voluntário de MS (g/kg de peso corporal); $kp(F)$, taxa de passagem da FDNpd da forragem (h^{-1}); e FDNi, concentração de FDNi na forragem (% da MS).

A equação (4.19b) é sugerida para o caso de empregar-se a equação (4.13) para estimação da fração FDNpd.

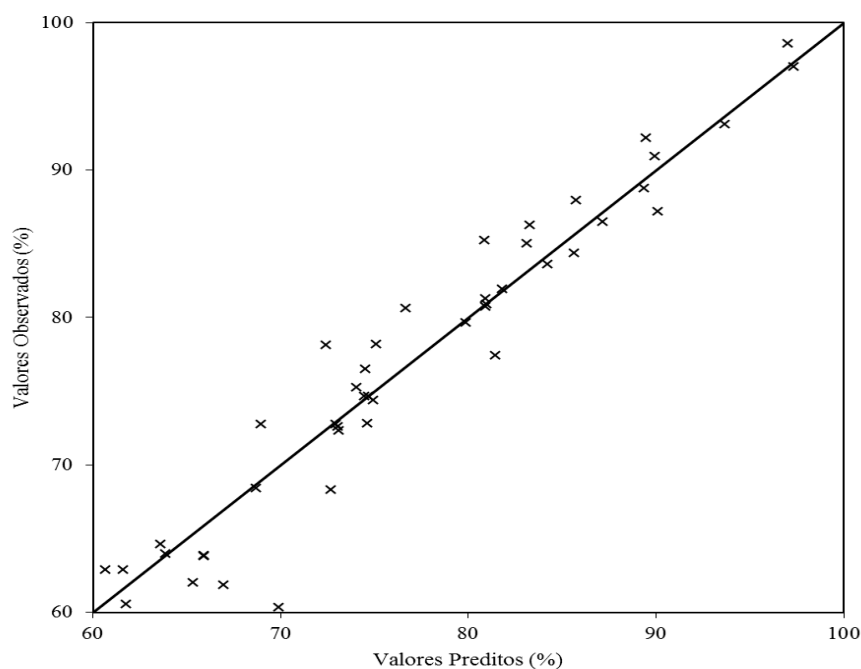


Figura 4.4 - Relação entre valores preditos e observados para o coeficiente de digestibilidade da FDN potencialmente digestível em vacas lactantes (Equação 4.16; a linha contínua representa a relação $Y = X$; $s_{XY} = 3,46$; $R^2 = 0,933$; falta de ajustamento: $P > 0,67$).

O FAI foi estimado a partir das informações disponíveis no banco de dados, observando-se ausência da influência dos fatores dietéticos avaliados sobre a proporção da FDNpd digerida no rúmen e intestinos. O valor médio da proporção de digestão da FDNpd no rúmen foi de $89 \pm 1,9\%$. Sendo assim, $FAI = 1,12$ ($FAI = 1/0,89$).

O banco de dados utilizado é limitado no sentido de ser composto somente por dietas exclusivas de volumosos. Considerando-se que concentrados apresentam-se em tamanhos de partículas inferiores àqueles observados em forragens, faz-se lógica a suposição de menor tempo de retenção para a fibra de concentrados. A quantidade de informações em que se contrastam a taxa de passagem da fibra de forragens e concentrados em um mesmo experimento é limitada em condições brasileiras. Desta forma, aproximando-se a partir do experimento realizado por Bürger et al. (2000), assumiu-se que a taxa de passagem ruminal da fibra de concentrados seja aproximadamente 1,8 vez aquela observada para a forragem basal. Assim:

$$kp(C) = kp(F) \times 1,8 \quad (4.20);$$

em que: $kp(C)$, taxa de passagem da FDNpd de concentrados (h^{-1}).

Em função da ausência de informações em condições brasileiras, para dietas compostas exclusivamente por concentrados, sugere-se o cálculo da taxa de passagem ruminal para esta condição de alimentação de acordo com a equação proposta pelo NRC (2001):

$$kp = 0,02904 + 0,001375 \times CMS - 0,00020 \times CONC \quad (4.21);$$

em que: CMS, consumo voluntário de MS (g/kg de peso corporal); e CONC, nível de concentrado na dieta (% da MS).

Torna-se importante ressaltar que a equação (4.21) se refere à MS total do concentrado e não à FDNpd propriamente dita. Contudo, considerando-se que a aplicação da mesma seria restrita a dietas compostas exclusivamente com concentrados, pressupõe-se que, nestas circunstâncias, a taxa de passagem da FDNpd se aproxime da taxa de passagem do concentrado integral. Contudo, esta pressuposição carece ainda de validações em condições brasileiras.

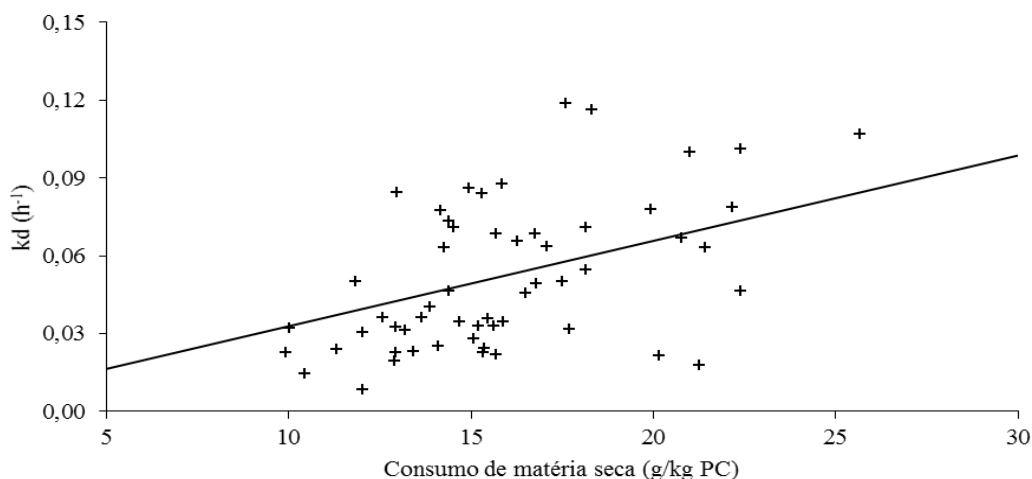


Figura 4.5 - Relação entre o consumo voluntário de matéria seca e a taxa de degradação (k_d) da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em dietas exclusivas de volumosos (a linha contínua representa a equação 4.18).

Sub-modelo para PB

Inicialmente, o sub-modelo destinado à avaliação da fração digestível da PB foi baseado nos mesmos pressupostos adotados para EE e CNF (Detmann et al., 2006b), conforme equações (4.1) a (4.8), resultando em:

$$PB_{vd} = 0,78 \times PB \quad (4.22);$$

em que: PB_{vd} , PB verdadeiramente digestível (% da MS); e PB, teor dietético de PB (% da MS).

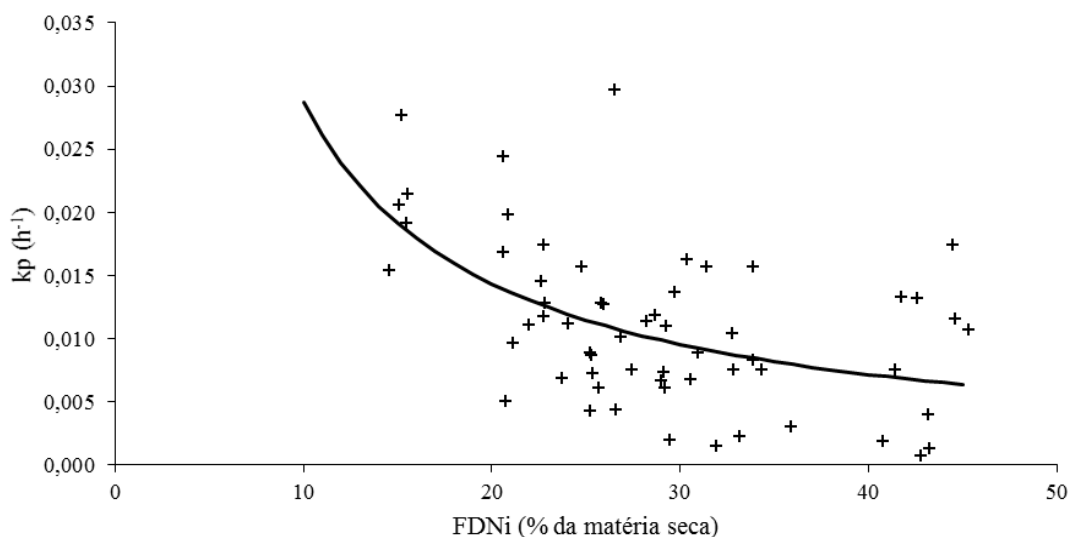


Figura 4.6 - Relação entre a concentração dietética de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e a taxa de passagem (k_p) da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em dietas exclusivas de volumosos (a linha contínua representa a equação 4.19).

Neste caso, a conversão para fração aparentemente digestível, considerando-se as diferentes categorias animais, é realizada pela utilização das estimativas de contribuição metabólica fecal correspondentes (Tabela 4.1).

Contudo, observações posteriores permitiram evidenciar que, em virtude da associação intensa e complexa dos compostos nitrogenados à fração fibrosa insolúvel em alimentos tropicais, a PB não poderia ser considerada como uma entidade nutricional homogênea (Detmann et al., 2008c). Contudo,

Azevêdo et al. (2011) verificaram que a aplicação do conceito uni-compartimental, no qual a PB é assumida como entidade nutricional homogênea, propiciou estimativas mais acuradas quando foram avaliados alguns subprodutos e resíduos agroindustriais. Assim, embora o conceito representado pela equação (4.22) não seja recomendado de forma geral, o mesmo poderia ser aplicado para utilização em subprodutos agroindustriais.

A partir das evidências de comportamento digestivo heterogêneo da PB, sub-modelo foi desenvolvido considerando-se dois diferentes sub-compartimentos (Detmann et al., 2008c), cuja aproximação química é dada por:

$$PBCC \cong PB - PIDN \quad (4.23a);$$

$$PBPC \cong PIDN \quad (4.23b);$$

em que: PBCC, PB de conteúdo celular; PBPC, PB de parede celular; e PIDN, proteína insolúvel em detergente neutro; sendo todos os termos expressos como percentagem da MS.

Segundo derivações de Detmann et al. (2008c), a PBCC apresentaria comportamento digestivo homogêneo similar aos demais componentes não-fibrosos (EE e CNF) (Equação 4.8), ao passo que, por suposição, a utilização da PBPC seria similar àquela observada para a FDN. Desta forma, a fração verdadeiramente digestível da PB seria expressa, considerando-se as aproximações químicas representadas na equação (4.23), por:

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times PBCC + D_{PBPCpd} \times PBPC_{pd} \quad (4.24a);$$

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times (PB - PIDN) + D_{PBPCpd} \times (PIDN - PIIDN) \quad (4.24b);$$

em que: PB_{vd} , PB verdadeiramente digestível (% da MS); D_{vPBCC} , coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PBCC (g/g); $PBPC_{pd}$, PB de parede celular potencialmente digestível (% da MS); D_{PBPCpd} , coeficiente de digestibilidade da PBPC potencialmente

digestível (g/g); e PIIDN, proteína indegradável insolúvel em detergente neutro (% da MS).

Na segunda edição do Sistema BR-CORTE, assumiu-se como estimativa para o coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PBCC o valor 0,98 g/g (Van Soest, 1994; Detmann et al., 2006c; 2008c). Contudo, para melhor adequação às estimativas obtidas com dados brasileiros, este coeficiente foi alterado para 0,95, similar ao que é aplicado para estimação dos CNF verdadeiramente digestíveis (Equação 4.10). Como coeficientes de digestibilidade da PBPC, seguindo-se os pressupostos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE, assumiu-se estimativas similares àquelas utilizadas para a porção fibrosa do alimento/dieta, as quais deixam de ser constantes, passando a variar em função das condições dietéticas e de alimentação, conforme descrito nas equações (4.15) a (4.21).

O conceito analítico de PIIDN foi definido por Detmann et al. (2004b) como aproximação ao valor paramétrico da proteína indegradável da parede celular, consistindo da avaliação da PB residual associada à FDNi.

No entanto, como ressaltado previamente, tal aproximação analítica pode constituir empecilho em algumas situações, em virtude da não disponibilidade de animais fistulados. Desta forma, desenvolveu-se equação alternativa para obtenção dos valores de PIIDN a partir das concentrações de proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) utilizando informações de alimentos produzidos em condições tropicais (Detmann et al., 2010a; n = 540), a qual é dada por:

$$PIIDN = PIDN \times e^{-(0,8188+0,1676 \times PIDA)} \quad (4.25);$$

em que: PIDA, proteína insolúvel em detergente ácido (% da MS), sendo os demais termos definidos anteriormente (% da MS).

Para o caso de a aproximação química para PIIDN ser adotada, a equação (4.24b) pode ser reescrita como:

$$PB_{vd} = 0,95 \times (PB - PIDN) + D_{vPBCC} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0,8188+1,1676 \times PIDA)}]\} \quad (4.26);$$

Deve se ressaltar que a aproximação química da PIIDN via PIDA apresenta algumas

limitações, em virtude da PIIDN constituir conceito biológico de alta variabilidade (Henriques et al., 2007; Detmann et al., 2010a). Assim, esta solução deve ser utilizada com cautela; sendo preferível, quando viável, a estimação da PIIDN por método de natureza biológica. Sampaio et al. (2012) verificaram que a estimação da PIIDN por intermédio de incubações *in situ* (proteína associada à FDNi) propicia estimativas mais exatas e precisas em comparação ao uso da aproximação química.

Para o caso da utilização da aproximação empírica para o cálculo do coeficiente de digestibilidade da fração FDN_{pd} (Equações 4.18 a 4.21), o cômputo da fração verdadeiramente digestível da PB dever ser feito separadamente para as frações forragem e concentrado da dieta adaptando-se a equação (4.26):

$$PB_{vd} = 0,95 \times (PB - PIDN) + \frac{kd}{kd + kp} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0,8188 + 1,1676 \times PIDA)}]\} \quad (4.27).$$

Para o cálculo da fração digestível da PBPC optou-se por não adotar fator de correção para a digestão intestinal, por considerar-se que a digestão da fração fibrosa ocorreria basicamente em nível de intestino grosso. Neste caso, a PB digerida neste compartimento seria basicamente utilizada para crescimento microbiano, sem aproveitamento para o animal.

De forma geral, Detmann et al. (2008c), Magalhães et al. (2010) e Sampaio et al. (2012) observaram que o conceito bi-compartimental produziu estimativas mais acuradas da fração aparentemente digestível da PB em dietas baseadas em forragens tropicais em comparação ao conceito uni-compartimental. Assim, a utilização do conceito bi-compartimental é recomendada, facultando-se o uso do conceito uni-compartimental somente para a avaliação de subprodutos agroindustriais.

Sistema somativo para NDT e conversão em energia digestível e energia metabolizável

Os conteúdos dietéticos de NDT (% da MS) são obtidos pela soma algébrica das estimativas produzidas por cada sub-modelo

para cada fração digestível de acordo com a categoria animal a partir da equação:

$$NDT = PB_{ad} + CNF_{ad} + FDN_d + 2,25 \times EE_{ad} \quad (4.28a);$$

$$NDT = (PB_{vd} - CM_{PB}) + (CNF_{vd} - CM_{CNF}) + FDN_d + 2,25 \times (EE_{vd} - CM_{EE}) \quad (4.28b);$$

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - (CM_{PB} + CM_{CNF} + 2,25 \times CM_{EE}) \quad (4.28c);$$

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - FM_{NDT} \quad (4.28d);$$

em que: NDT, teor dietético de NDT (% da MS); PB_{ad}, CNF_{ad}, EE_{ad}, frações aparentemente digestíveis de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); PB_{vd}, CNF_{vd}, EE_{vd}, frações verdadeiramente digestíveis de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); FDN_d, fração digestível de FDN (% da MS); CM_{PB}, CM_{CNF}, CM_{EE}, contribuições metabólicas fecais de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); FM_{NDT}, fração metabólica fecal total para o cômputo do NDT (% da MS; Tabela 4.1); e 2,25, constante de Atwater para equalização entre lípidos e carboidratos.

A estimação da concentração de energia digestível (ED) da dieta é realizada considerando a contribuição energética específica de cada fração verdadeiramente digestível e descontando-se a energia da fração metabólica fecal:

$$ED = 0,056 \times PB_{vd} + 0,042 \times CNF_{vd} + 0,042 \times FDN_d + 0,094 \times EE_{vd} - FM_{ED} \quad (4.29);$$

em que: ED, energia digestível (Mcal/kg MS); e FM_{ED}, fração metabólica fecal para o cálculo de ED (Mcal/kg MS; Tabela 4.1). Os demais termos foram previamente definidos.

A conversão da ED em energia metabolizável (EM) é realizada por intermédio da equação desenvolvida no

Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais:

$$EM = 0,9455 \times ED - 0,303 \quad (4.30);$$

em que: EM, energia metabolizável (Mcal/kg MS).

RECOMENDAÇÕES DE MÉTODOS DE ANÁLISES QUÍMICAS

Os métodos químicos de análises de alimentos sugeridos para a avaliação dos teores de MS, matéria orgânica (MO), PB, EE, FDA, PIDN, PIDA, FDNi, PIIDN e lignina são resumidos na Tabela 4.2. No geral, os métodos aplicados às análises químicas seguem as recomendações estabelecidas no livro Métodos para Análises de Alimentos do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal (INCT-CA, Detmann et al., 2012), com algumas exceções ressaltadas no texto. Estas exceções se devem à ausência de métodos no referido livro ou a alterações já definidas e que serão estabelecidas na segunda edição ainda em preparação.

Para avaliação da concentração de nitrogênio total ou PB, recomenda-se o uso do método de Keijldhal (método INCT-CA N-001/1) com a seguinte modificação: utilizar na digestão a proporção entre sulfato de sódio e sulfato de cobre de 20:1 (Silva et al., 2016). Estas mesmas modificações também devem ser aplicadas às avaliações dos compostos nitrogenados associados às frações fibrosas (PIDN, PIDA e PIIDN).

Os teores de FDN e FDA devem ser estimados por intermédio de extrações em equipamentos do tipo *fiberthech* (Van Soest e Robertson, 1985; Mertens, 2002) ou em autoclave (Barbosa et al., 2015), seguindo-se as recomendações de reagentes previstas no livro Método para Análise de Alimentos do INCT-CA (Detman et al., 2012). As análises de FDN e FDA devem ser realizadas utilizando-se cadinhos filtrantes. Para ambos os casos, o uso de *filter bags* deve vista com cautela devido à observação de vícios sobre

os teores de FDN, principalmente (Gomes et al., 2011a; Barbosa et al., 2015). Adaptações consequentes são projetadas para as análises de PIDN, PIDA, cinzas insolúveis em detergente neutro (CIDN) e lignina. Em particular, as análises de FDN devem ser realizadas com a utilização de α -amilase termoestável (Mertens, 2002) e a devida correção para os teores de PIDN e CIDN (Detmann e Valadares Filho, 2010). O uso de sulfito de sódio não é recomendado devido à solubilização de proteína associada à fibra, de lignina e outros compostos (Gomes et al., 2012). A análise de FDA se faz de forma sequencial à FDN.

Ressalta-se, contudo, que o uso de *filter bags* e de extratores adaptados a este tipo de recipiente (e.g., Ankom²²⁰) ainda permanece recomendado para as avaliações de FDNi. Somente atenta-se que os extratores devem, obrigatoriamente, trabalhar sob ambiente pressurizado. Equipamentos adaptados para uso em pressão atmosférica podem levar à obtenção de dados viesados (Gomes et al., 2011a).

O cálculo da concentração de FDNcp é dado por:

$$FDN_{cp} = FDN \times \frac{(100 - PIDN - CIDN)}{100} \quad (4.31);$$

em que: FDNcp, teor de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (% da MS); FDN, teor de fibra em detergente neutro (% da MS); PIDN, teor de proteína insolúvel em detergente neutro (% da FDN); CIDN, teor de cinzas insolúveis em detergente neutro (% da FDN).

Ressalta-se que a correção para os teores de FDN (Equação 4.31) deve ser realizada para que não se subestime o teor total de CNF dos alimentos ou se compute de forma duplicada a contribuição energética de parte da PB (PIDN). Por outro lado, a correção evita a contabilização errônea de parte da matéria mineral (CIDN) como componente energético dos alimentos (Detmann et al., 2008b; Detmann e Valadares Filho, 2010).

Tabela 4.2 - Resumo de métodos sugeridos para a avaliação de alimentos para predição da concentração dietética de NDT

Componente	Método	Descrição Geral	Referência
MS	Pré-secagem	55-60°C/48-72 horas; equipamento: estufa com ventilação forçada	1
	Secagem definitiva	a.105°C/3 horas, p/ rações com teor de ureia superior a 10%; b.105°C/16 horas, para os demais materiais; equipamentos: estufa não-ventilada, dessecador	2, 3
PB	Kjeldahl	Digestão em ácido sulfúrico (400°C), destilação com hidróxido de sódio e titulação com ácido clorídrico	4*
EE	Randall	Tempo de imersão: 30 minutos; tempo de gotejamento: 60 minutos; taxa de condensação do solvente: 3-5 gotas/segundo; extrator sugerido: éter de petróleo	5
Cinzas	Calcinação	600°C/3-4 horas; equipamentos: mufla, dessecador	6
Matéria Orgânica	Por diferença	MO = 100 – Cinzas	6
FDN, FDA	Sistema detergente	Teores avaliados por extrações convencionais em refluxo (<i>fibertech</i>) ou por micro-extração em autoclave	*
PIDN, PIDA	Sistema detergente	Avaliação pelo método de Kjeldahl após a extração com os respectivos detergentes	7*
CIDN	Sistema detergente	Avaliação da matéria mineral residual da FDN	8*
FDNi	Incubação <i>in situ</i>	Incubação <i>in situ</i> por 288 horas utilizando-se sacos F57 (Ankom®) ou de tecido não tecido (TNT, 100 g/m ²), respectivamente. Massa de amostra: 20 mg MS/cm ² de superfície. Extrair com detergente neutro	9
PIIDN	Incubação <i>in situ</i>	Avaliação da proteína associada à FDNi pelo método de Kjeldahl	9, 7*
Lignina	Ácido sulfúrico	Solubilização da celulose por hidrólise em H ₂ SO ₄ (72% p/p) após tratamento prévio da amostra com detergente ácido	10*

¹ Método INCT-CA G-001/1. ² Método INCT-CA G-003/1 ³ Thiex e Richardson (2003). ⁴ Método INCT-CA N-001/1. ⁵ Método INCT-CA G-005/1. ⁶ Método INCT-CA M-001/1. ⁷ Métodos INCT-CA N-004/1 e N-005/1. ⁸ Método INCT-CA M-002/1. ⁹ Método INCT-CA F-008/1. ¹⁰ Método INCT-CA F-005/1. * Ver comentários no texto.

Neste contexto, os teores de CNF são obtidos pela equação (Detmann e Valadares Filho, 2010):

$$CNF = MO - [(PB - PBu + Ur) + EE + FDN_{cp}] \quad (4.32);$$

em que: PBu, PB oriunda da ureia (% da MS); e Ur, teor de ureia nas rações (% da MS).

DISCUSSÃO SOBRE AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E MODIFICAÇÕES DO MODELO

Em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b), a estrutura dos sub-modelos utilizados para predição da fração verdadeiramente digestível

do EE e dos CNF foi mantida (Equações 4.9 e 4.10), pois trabalhos de validação confirmaram sua exatidão (Detmann et al., 2008b; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012) e reiteraram a hipótese central de que ambos os componentes poderiam ser tratados como entidades nutricionais homogêneas, sendo seu comportamento digestivo adequadamente interpretado por intermédio dos fundamentos do teste de Lucas (Lucas e Smart, 1959; Lucas, 1960).

Adicionalmente, conforme relatado na segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b), parte do melhor desempenho do sistema somativo desenvolvido em condições brasileiras poderia ser atribuído à melhor adequação das

frações metabólicas fecais (Tabela 4.1), as quais são necessárias para a adequada conversão das frações verdadeiramente digestíveis de EE, CNF e PB em frações compatíveis com digestibilidade aparente, base para o cômputo das estimativas da concentração de NDT. A dimensão da fração metabólica fecal é diretamente influenciada pelo fluxo de nutrientes ao intestino grosso terminal, que implica alterações na atividade microbiana cecal (Ørskov, 1988), e pelo nível de componentes fibrosos na dieta (Arroyo-Aguilu e Evans, 1972), condições estas notadamente divergentes entre animais alimentados em condições tropicais e não tropicais (Detmann et al., 2008b).

Contudo, o sub-modelo inicialmente proposto para avaliação da fração digestível da FDN (Equação 4.12) apresentou baixa precisão (Detmann et al., 2008b; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012), notadamente para bovinos em crescimento e terminação (Detmann et al., 2007).

A baixa eficiência de predição deste sub-modelo poderia ser atribuída a dois fatores principais. Primeiramente, a consideração de fator constante de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN (parâmetro F; Equação 4.12), característica também intrínseca ao sub-modelo adotado pelo NRC (2001). A derivação do parâmetro F adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE foi realizada por Detmann et al. (2004a) empregando-se amostras de forragens tropicais e utilizando-se o método de análise de lignina por oxidação em permanganato de potássio. No entanto, o conjunto de amostras utilizado foi de certa forma restrito, pois, além da não contemplação de alimentos concentrados, foi composto por grande parte de amostras de gramíneas tropicais sob pastejo (e.g., capim-braquiária). Entende-se, contudo, que a relação entre a lignina e a fração FDNi não pode ser considerada homogênea entre alimentos (Palmonari et al., 2016), o que demandou uma primeira modificação nos pressupostos teóricos que deveriam reger a estimação da fração digestível da FDN.

Como ressaltado anteriormente, a fração FDNi, e conseqüentemente a fração FDNpd, constitui conceito biológico assintótico, ou seja, é definida quando não

existem limitações temporais de exposição aos sistemas enzimáticos microbianos ruminais (Detmann et al., 2008a). A alta variabilidade entre amostras quanto à concentração de FDNi, e por conseguinte de FDNpd, indica que, embora a lignina seja o principal fator determinante da extensão de degradação da fibra (Van Soest, 1994), análises gravimétricas simples talvez não sejam capazes de predizer adequadamente todos os fatores determinantes dos limites assintóticos da degradação (Detmann et al., 2008b). Assim, a análise direta da fração FDNi por intermédio de ensaios de incubação ruminal *in situ* de longa duração seria a alternativa de maior plausibilidade biológica para o fracionamento da FDN dos alimentos.

Contudo, entende-se que existam limitações para a realização de tais ensaios devido à necessidade de disponibilidade de animais fistulados no rúmen e ao longo tempo demandado (Casali et al., 2008; Valente et al., 2011). Desta forma, equações de predição empíricas foram desenvolvidas a partir da análise de amostras de forragens (n = 371) e concentrados (n = 65), cujos resultados são expressos nas equações (4.13) e (4.14), respectivamente (Figuras 4.1 e 4.2). Para o ajuste destas equações, associações com diversos componentes dos alimentos foram devidamente investigadas [i.e., FDN, FDNcp, FDA, FDA corrigida para cinzas e proteína (FDAcp), lignina avaliada por hidrólise ácida e por oxidação com permanganato]. Um dos maiores avanços em relação aos pressupostos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE reside sobre a consideração de modelos diferentes para forragens e concentrados.

Como ressaltado previamente, as correlações entre as diferentes características químicas consideradas e a fração FDNi mostraram-se mais fracas em relação à fração FDNpd (Tabela 4.3), o que possivelmente reflete a maior proporção de FDNpd em relação à FDNi na MS total dos alimentos. Sendo as frações complementares, melhores ajustamentos dos modelos foram obtidos considerando-se a fração FDNpd. No entanto, embora complementares em relação à FDN total, as frações FDNpd e FDNi, expressas como percentagem da MS, mostraram-se não correlacionadas (Tabela 4.3) devido, em

maior escala, à alta variabilidade na concentração de FDN e, em menor escala, devido à alta variabilidade na partição da FDN nas frações potencialmente digestível e indigestível entre alimentos.

A característica básica para o ajustamento dos modelos para predição da fração FDNpd para forragens e concentrados residiu sobre a forte correlação observada com a concentração de FDNcp (Tabela 4.3; Figuras 4.1 e 4.2). Esta relação assume característica lógica, considerando-se que, com raras exceções, a fração FDNpd

compreende a maior parte da FDN total; refletindo, assim, relação direta de proporcionalidade. Estas correlações foram levemente mais fortes em relação à FDN (Tabela 4.2) possivelmente devido à baixa influência da proteína e minerais da parede celular sobre a degradação potencial da fibra. Neste sentido, relações com outras características da fibra foram agregadas ao modelo baseado na concentração de FDNcp a fim de incorporar elementos discriminatórios entre alimentos em função do potencial de utilização ruminal da fibra.

Tabela 4.3 - Correlações lineares de Pearson para as concentrações das frações FDNpd e FDNi e diferentes características químicas em forragens e concentrados

Característica ¹	Alimento ²			
	Forragens		Concentrados	
	FDNpd	FDNi	FDNpd	FDNi
FDN	0,838 (<0,001)	0,541 (<0,001)	0,950 (<0,001)	0,427 (<0,001)
FDNcp	0,868 (<0,001)	0,576 (<0,001)	0,967 (<0,001)	0,408 (<0,001)
FDA	0,539 (<0,001)	0,632 (<0,001)	0,811 (<0,001)	0,344 (0,004)
FDAcp	0,534 (<0,001)	0,603 (<0,001)	0,803 (<0,001)	0,340 (0,005)
Lignina (H)	-0,553 (<0,001)	-0,106 (0,040)	0,059 (0,643)	0,911 (<0,001)
Lignina (Ox)	-0,505 (<0,001)	-0,080 (0,131)	0,502 (<0,001)	0,391 (0,001)
FDNpd × FDNi	0,095 (0,067)		0,163 (0,195)	

¹ FDN, fibra em detergente neutro; FDNcp, FDN corrigida para cinzas e proteína; FDA, fibra em detergente ácido; FDAcp, FDA corrigida para cinzas e proteína; Lignina(H), lignina avaliada por hidrólise em ácido sulfúrico; Lignina (Ox), lignina avaliada por oxidação em permanganato de potássio. ² Os valores entre parênteses representam o nível descritivo de probabilidade para $H_0: \rho = 0$.

Particularmente para alimentos volumosos, o modelo para predição da fração FDNpd foi acrescido dos efeitos linear e quadrático da FDA e do efeito linear da concentração de lignina (Equação 4.13).

A lignina exerce papel central sobre a extensão da degradação da fibra no rúmen (Van Soest, 1994). As correlações negativas entre lignina e fração FDNpd para forragens corroboram esta afirmativa, implicando em coeficiente de regressão negativo na equação (4.13). Embora evidências apontem para correlações mais fortes entre o potencial de degradação da FDN de forragens tropicais e a lignina analisada por oxidação em

permanganato (Gomes et al., 2011b), o conjunto de amostras avaliado evidenciou melhor associação baseada nas concentrações de lignina avaliadas por hidrólise em ácido sulfúrico (Tabela 4.3), o que sugeriu modificações nos métodos de análises em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE (Tabela 4.2) com a retirada da recomendação do método por oxidação em permanganato. De um ponto de vista pragmático, esta recomendação mostra-se vantajosa, uma vez que o método da hidrólise em ácido sulfúrico demanda menor labor e possui menor número de etapas e menor custo em comparação ao método da oxidação em

permanganato. Contudo, alerta-se que a aplicação do método da hidrólise pode levar à superestimação da concentração de lignina em alimentos com alta concentração de cutina, devido à consideração conjunta destes componentes (lignina e cutina) no resíduo avaliado como lignina (Van Soest, 1994). Para a maioria dos alimentos, a contribuição da cutina pode ser considerada de baixa relevância. Contudo, para alimentos ricos em cutina, como os derivados da mamona e as cactáceas, o método da oxidação em permanganato pode produzir resultados mais verossímeis da concentração de lignina.

Diferentemente do observado para a FDN, a correção para cinzas e proteína não elevou as correlações entre FDNpd e FDA (Tabela 4.3). Assim, o modelo (Equação 4.13) baseou-se nas concentrações de FDA sem correções. Apesar da PDA ser demandada para estimação da fração verdadeiramente digestível da PB por aproximação química (Equações 4.26 e 4.27), a exclusão do uso da FDAcp reduz o labor analítico, por eliminar a análise de cinzas insolúveis em detergente ácido (CIDA) da rotina laboratorial. Cabe ressaltar que a extração sequencial da FDA remove grande parte da proteína de parede celular e da sílica biogênica (Van Soest, 1994), tornando a participação da PDA e das CIDA inferiores à participação da PIDN e das CIDN na MS total da amostra, o que parece ampliar a justificativa das correlações entre FDNpd e FDAcp serem similares ou mais fracas em relação às correlações entre FDNpd e FDA.

Embora a correlação entre FDNpd e FDA tenha sido inicialmente positiva (Tabela 4.3), sua inclusão no modelo se deu por intermédio de efeito negativo sobre a FDNpd (Equação 4.13). Esta inversão na direção da associação reflete limitação do coeficiente momento produto de Pearson quando aplicado a grupos de variáveis altamente correlacionadas, pois sua estimativa para qualquer par de variáveis pode ocultar influências das demais variáveis avaliadas (Spiegel, 1971). No entanto, apesar da inversão na direção da correlação, a inclusão da FDA ao modelo melhorou seu ajustamento e contribuiu significativamente para a explicabilidade da relação ($P \leq 0,04$). A conformação quadrática da equação (4.13)

sugere que haveria um ponto de mínima concentração de FDNpd em função da FDA, com subsequente ampliação. Contudo, o efeito da FDA sobre a FDNpd é continuamente decrescente no domínio matemático de suas concentrações. O estudo da derivada parcial da concentração de FDNpd em função da concentração de FDA indica que incrementos em FDNpd somente ocorreriam em limites cabíveis ao campo da extrapolação e sob concentrações biologicamente pouco prováveis de FDA ($FDA \geq 64,2\%$ da MS).

A presença da FDA no modelo (Equação 4.13) deve ser vista, contudo, com cautela. De um ponto de vista teórico, deve-se ressaltar que a FDA não supre nenhuma definição de fibra dietética ou fibra insolúvel (Mertens, 2003), não devendo, portanto, ser considerada conceito nutricionalmente válido de fibra. A utilização da FDA em regressões diretas para predição da digestibilidade ignora as bases fisiológicas que relacionam os componentes fibrosos com a digestibilidade. A digestão de todas as frações fibrosas insolúveis é limitada principalmente pela lignificação. Neste contexto, o estabelecimento de relações entre FDA e características de digestão, principalmente da fibra insolúvel, são inconsistentes do ponto de vista nutricional (Detmann, 2010) e representam tão somente associações estatísticas. Biologicamente, correlações negativas entre FDA e digestibilidade da fibra insolúvel devem ser atribuídas à lignina, e não à FDA *per se* (Detmann, 2010). Assim, o efeito negativo da FDA observado no modelo, mesmo com a presença da lignina (Equação 4.13) parece refletir apenas efeito de adequação na participação proporcional dos diferentes macrocomponentes insolúveis da parede celular (celulose, hemicelulose e lignina) na FDN das forragens, o que pode influenciar sua degradação potencial devido às diferentes ligações químicas e interações físicas existentes entre estes e à diferente participação destes componentes nos diferentes tecidos vegetais, os quais variam em participação na planta conforme espécie e estágio de maturidade.

Para alimentos concentrados, o modelo para predição da fração FDNpd foi acrescido do efeito linear negativo da FDA (Equação 4.14). Embora as concentrações de

lignina mensuradas por oxidação tenham se correlacionado negativamente com a FDNpd (Tabela 4.3), sua inclusão no modelo não proporcionou contribuição significativa ($P > 0,46$). Como ressaltado anteriormente, os efeitos centrais sobre o potencial de degradação da FDN devem ser atribuídos à lignina (Van Soest, 1994) e correlações entre esta característica e a FDA devem ser vistas apenas como associações estatísticas. Assim, para alimentos concentrados, a FDA parece refletir diretamente a ação da lignina, pois esta seria proporcionalmente mais representativa no resíduo insolúvel em detergente ácido (celulose + lignina) em comparação ao resíduo insolúvel de detergente neutro (hemicelulose + celulose + lignina). Por outro lado, a avaliação de lignina em concentrados pode apresentar dificuldades inerentes devido à sua baixa concentração, reduzindo a precisão das mensurações gravimétricas. Assim, a vantagem apontada aqui para a FDA em alimentos concentrados se deve ao fato de a lignina estar contida na FDA, permitindo a quantificação da mesma em resíduo de maior massa, sem a necessidade de um segundo procedimento químico para separação da celulose, o que também implica em maior praticidade, maior rapidez e menor custo das análises.

No modelo aplicável à concentração de FDNpd em concentrados introduziu-se variável “dummy” para correção das estimativas em função de alimentos com fibra de menor potencial de degradação (Equação 4.14). Esta correção foi incorporada somente em nível de intercepto, pois a inclinação de ambos os grupos de alimentos concentrados em função da concentração de FDNcp mostrou-se similar (Figura 4.2). Embora o grupo de alimentos com fibra de menor degradação potencial no conjunto de dados contemplasse apenas subprodutos do algodão e farelo de trigo, avaliações subsequentes utilizando-se a base de dados CQBAL 3.0 (Valadares Filho et al., 2015) revelaram que a correção por intermédio da variável “dummy” seria também aplicável a subprodutos derivados do girassol (fartelo e torta) e ao MDPS.

O segundo fator influente sobre a baixa precisão da fração digestível da FDN a partir do sub-modelo adotado na segunda

edição do Sistema BR-CORTE reside sobre a adoção de coeficientes de digestibilidade fixos para a fração FDNpd, limitação previamente apontada por Detmann et al. (2010b). O coeficiente de digestibilidade da FDNpd resulta da integração entre as dinâmicas de degradação e trânsito no trato gastrointestinal dos ruminantes e, conseqüentemente, de todos os fatores com potencial de alteração sobre estas características. Embora os coeficientes de digestibilidade da FDNpd previamente adotados sejam distintos entre categorias animais, os mesmos foram derivados da análise conjunta de baixo número de experimentos (Detmann et al., 2007), o que não permitiu a contemplação de grande amplitude em relação às diferentes situações dietéticas observadas em condições brasileiras. Esta questão mostrou-se particularmente relevante para bovinos em crescimento e terminação, pois os dados originalmente utilizados apresentavam grande número de observações derivadas de experimentos com animais manejados em pastos tropicais de baixa qualidade (Detmann et al., 2007), o que, em conjunto com os entraves previamente relatados para a estimação da FDNi, parece ter implicado em viés positivo sobre as estimativas da fração digestível da FDN para esta categoria animal.

A primeira proposta para obtenção de estimativas para o coeficiente de digestibilidade baseou-se na avaliação meta-analítica de dados (doravante denominada aproximação meta-analítica). A integração de diferentes estudos por intermédio de técnicas de meta-análise apresenta a vantagem evidente de contemplação de grande amplitude de condições dietéticas, o que seria inviável de ser obtido por intermédio de um ou poucos experimentos. Dados oriundos de 45 dietas com vacas em lactação e 213 dietas com bovinos em crescimento e terminação (médias de tratamentos) foram compilados. Em princípio, objetivou-se ajustar equação única para ambas as categorias animais, visando à maior confiabilidade devido ao maior número de condições dietéticas. Contudo, as avaliações iniciais permitiram evidenciar que associações ilógicas do ponto de vista biológico estavam sendo apontadas pelas equações (e.g., associação positiva entre

concentração dietética de EE e a digestão da fibra), um possível reflexo de ocorrência do Paradoxo de Simpson, o qual indica a reversão da direção de uma associação quando se combinam dados de vários grupos para a formação de um único grupo (Moore, 1995). Desta forma, equações distintas foram ajustadas para cada grupo. Adotou-se o método *backward regression* (Draper e Smith, 1966) com ajuste para o efeito aleatório dos diferentes experimentos; considerando-se, contudo, a pré-seleção de variáveis por intermédio das estimativas de correlação linear de Pearson.

Para bovinos em crescimento e terminação, as correlações mais fortes com o coeficiente de digestibilidade da FDNpd foram estabelecidas com a concentração

dietética de PB ($r = 0,18$; $P < 0,03$) e com o consumo voluntário de FDNi ($r = 0,25$; $P < 0,01$). No entanto, devido às dificuldades de obtenção de estimativas do consumo de FDNi, esta variável foi substituída no processo de ajustamento pelo consumo voluntário de MS (estimável pelo Sistema BR-CORTE) e concentração dietética de FDNi, haja vista que o produto de ambos resulta no consumo de FDNi. Distinção entre diferentes grupos de forragens foi necessária para o correto ajustamento da equação, as quais foram agrupadas em forragens com alto (i.e., silagens de milho e sorgo) e baixo (i.e., cana-de-açúcar, fenos de gramíneas, silagens de gramíneas, gramíneas *in natura*) teor de amido (Equação 4.15; Figuras 4.7 e 4.8).

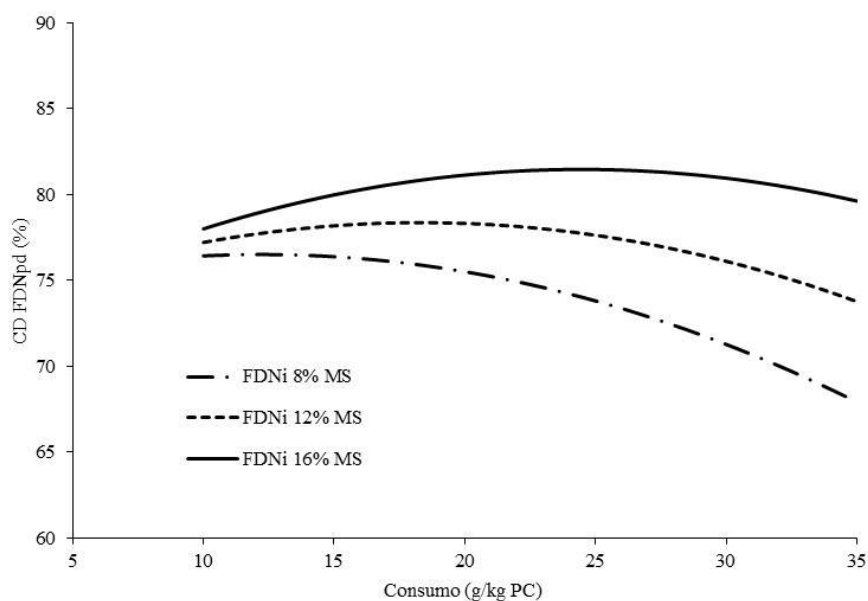


Figura 4.7 - Variações no coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível (CD FDNpd) em função do consumo voluntário de matéria seca e da concentração dietética de FDNi para bovinos em crescimento alimentados com forragens de baixo teor de amido (Equação 4.15; assumiu-se dieta com 12% de PB com base na MS).

A avaliação da equação (4.15) permitiu evidenciar efeito positivo da concentração de FDNi na dieta sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd tanto para forragens de baixo (Figura 4.7) como de alto (Figura 4.8) teor de amido. Este efeito está associado ao fato de a fração indigestível da fibra possuir, proporcionalmente, maior efeito de repleção ruminal em comparação à fração potencialmente degradável, pois sua retirada do rúmen ocorre somente por

passagem (Waldo et al., 1972; Detmann et al., 2015). O aumento no efeito de repleção ruminal da FDN com a maior participação da fração FDNi implica em maior tempo de retenção, ampliando o tempo de exposição da fração FDNpd à ação dos microrganismos ruminais. Este efeito da concentração dietética de FDNi mostrou-se, contudo, mais proeminente quando forragens de alto teor de amido são consideradas (Figura 4.8).

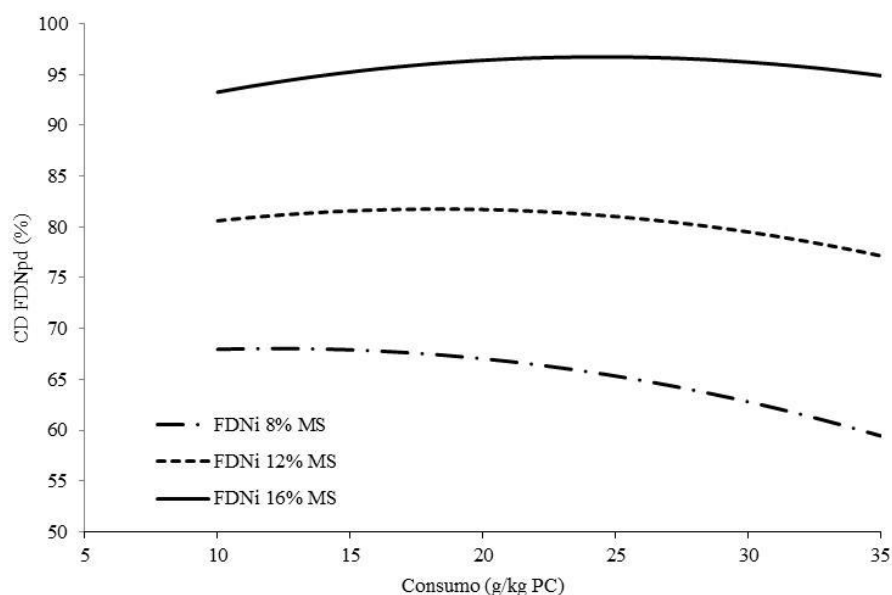


Figura 4.8 - Variações no coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível (CD FDNpd) em função do consumo voluntário de matéria seca e da concentração dietética de FDNi para bovinos em crescimento alimentados com forragens de alto teor de amido (silagens de milho ou sorgo; Equação 4.15; assumiu-se dieta com 12% de PB com base na MS).

Devido ao efeito de interação entre tipo de forragem e concentração de PB na dieta, efeitos positivos associados ao aumento da PB dietética somente foram significativamente observados em forragens de alto teor de amido (Equação 4.15). Efeitos proeminentemente positivos da disponibilidade de compostos nitrogenados na dieta sobre a utilização efetiva da fibra no rúmen são normalmente observados quando dietas deficitárias em nitrogênio são oferecidas aos animais (Detmann et al., 2009), característica pouco representada no banco de dados aqui utilizado. Contudo, com o aumento na participação do amido na dieta, efeitos deletérios sobre a utilização da fibra são verificados, os quais são atribuídos a quedas no pH ruminal a valores aquém do adequado à atividade fibrolítica ou ao aumento na competição por substratos entre espécies fibrolíticas e não fibrolíticas (Mertens e Loften, 1980; Mould et al., 1983; Arroquy et al., 2005; Carvalho et al., 2011). Contudo, resultados obtidos em condições tropicais permitem evidenciar que o aumento na disponibilidade dietética de compostos nitrogenados é capaz de reduzir a competição entre espécies microbianas, reduzindo o efeito deletério do amido sobre a utilização ruminal

da fibra (Costa et al., 2009; Lazzarini et al., 2016). Isto parece justificar o efeito positivo da concentração dietética de PB sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd em forragens de alto teor de amido (Equação 4.15).

De uma forma geral, para bovinos em crescimento e terminação, observou-se efeito negativo do consumo sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd (Girard e Dupuis, 1988; Figuras 4.7 e 4.8). Sob condições normais de alimentação (sem desbalanços drásticos), entende-se que a taxa de passagem ruminal é amplamente influenciada pelo consumo (Pittroff e Kothmann, 1999). Desta forma, maiores consumos estão associados a maiores taxas de passagem e, conseqüentemente, menor tempo de retenção ruminal e menor tempo para ação microbiana sobre a fibra. Contudo, percebe-se que o efeito do consumo sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd se torna menos prominente na medida que se reduz a qualidade da dieta (aumento na concentração de FDNi), tornando os valores praticamente estáveis na faixa de consumo voluntário avaliada (Figuras 4.7 e 4.8). Entende-se que o consumo voluntário por bovinos é regulado por múltiplos mecanismos que agem

simultaneamente. Contudo, variações nas condições dietéticas podem fazer com que mecanismos reguladores se alternem em importância na soma total das influências sobre a determinação do consumo voluntário (Detmann et al., 2014). Neste sentido, com a redução na qualidade da dieta, mecanismos de regulação física do consumo podem se tornar mais proeminentes devido ao maior tempo de retenção da digesta no rúmen, reduzindo a influência do nível de consumo sobre a passagem e tornando menos evidentes as diferenças quanto ao coeficiente de digestibilidade da FDNpd.

O modelo adotado para vacas em lactação mostrou-se mais simples em relação ao modelo adotado para bovinos em crescimento e terminação (Equação 4.16; Figura 4.9). Para esta categoria animal, o coeficiente de digestibilidade da FDNpd correlacionou-se negativamente com o nível de concentrado da dieta ($r = -0,31$; $P < 0,05$) e com o consumo voluntário de MS ($r = -0,36$; $P < 0,04$). Correlação negativa entre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd e a concentração de PB na dieta foi também observada ($r = -0,47$; $P < 0,01$). Contudo, sua inclusão não resultou em contribuição significativa para o ajustamento da equação, possivelmente devida à forte correlação entre nível de concentrado e concentração de PB na dieta ($r = 0,64$; $P < 0,01$). Em outras palavras, os efeitos da PB estariam refletindo confundimento com o nível de concentrado na dieta. A maior simplicidade do modelo aplicável a vacas em lactação constitui possível reflexo da maior homogeneidade das dietas ofertadas a esta categoria animal em comparação àquelas oferecidas a bovinos em crescimento e terminação.

Em geral, o aumento no consumo voluntário refletiu reduções no coeficiente de digestibilidade da FDNpd por motivos similares aos discutidos para bovinos em crescimento e terminação (Figura 4.9). Similarmente, o aumento no teor de concentrados, expresso por intermédio de

interação com o consumo voluntário de MS (Equação 4.16), exerce efeitos negativos sobre a digestibilidade da fibra. Contudo, estes efeitos se tornam mais proeminentes na medida em que se amplia o nível de concentrado e o consumo total. Maiores níveis de concentrado e consumo voluntário implicam em maior consumo de CNF, causando redução nas condições propícias para a degradação ruminal da fibra devido ao menor pH e à maior competição entre espécies microbianas, como previamente ressaltado.

Por outro lado, a amplitude dos coeficientes de digestibilidade da FDNpd obtidos para vacas em lactação permite evidenciar que o coeficiente previamente adotado para esta categoria animal na segunda edição do Sistema BR-CORTE (0,67) mostra-se subestimado para a grande maioria das condições dietéticas.

Embora as equações (4.15) e (4.16) tenham apresentado ajuste adequado (Figuras 4.3 e 4.4), ressalta-se que estes modelos são baseados exclusivamente em dados experimentais e não em bases biológicas ou teóricas. Portanto, mesmo com ajuste adequado, os modelos devem ser considerados específicos para as condições nas quais os dados foram obtidos (Forbes e France, 1993) e seu valor preditivo restringe-se ao domínio matemático das variáveis independentes de cada modelo. Assim, combinações dietéticas atípicas (e.g., dietas com silagem de milho com 22% de FDNi e 15% de PB para bovinos em crescimento e terminação) poderão produzir valores de coeficiente de digestibilidade da FDNpd biologicamente implausíveis. De forma particular para vacas em lactação, a conformação do modelo (Equação 4.16) indica que o mesmo não deve ser aplicado para consumos voluntários superiores a 32-34 g/kg de peso corporal, pois consumos superiores a estes não foram verificados no banco de dados utilizados para as avaliações meta-analíticas.

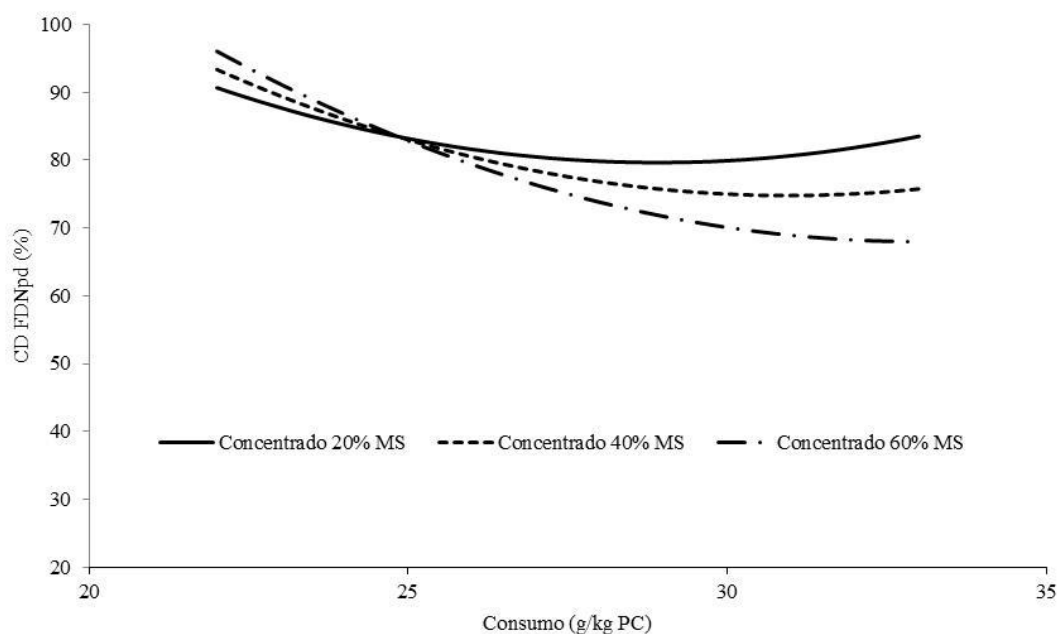


Figura 4.9 - Variações no coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível (CD FDNpd) em função do consumo voluntário de matéria seca e do nível de concentrado na dieta para vacas em lactação (Equação 4.16).

Embora a aproximação meta-analítica tenha por base a interpretação de dados empíricos, uma limitação intrínseca é observada para esta aproximação. Os modelos ajustados exigem como *input* características das dietas que são observadas após sua formulação (i.e., concentrações dietéticas de PB, FDNi e de alimentos concentrados). Isto torna o processo de predição iterativo, ou seja, o processo de avaliação da energia dietética é iniciado a partir de estimativas iniciais para estas variáveis fornecidas pelo usuário. O *output* é então avaliado e utilizado para retroalimentar o modelo. A nova solução obtida é novamente avaliada, repetindo-se o ciclo até que haja convergência entre os valores de exigências de energia pelo animal e de energia fornecida pela dieta.

Desta forma, sub-modelo alternativo e de mais fácil aplicação foi desenvolvido (Equação 4.17) baseado em informações empíricas de dinâmica de degradação ruminal da FDNpd avaliadas em bovinos alimentados exclusivamente com forragem (doravante denominada aproximação empírica). Embora informações de animais alimentados com dietas compostas por volumosos e concentrados estivessem disponíveis, as mesmas não foram utilizadas visando ao

desenvolvimento de sub-modelo simplificado que pudesse ser aplicado a alimentos individuais, sem a demanda de informações da composição da dieta final. Adicionalmente, ajustes discretos com relação às categorias animais não foram contemplados na aproximação empírica, ficando estas restritas a diferenças no nível de consumo e em relação à forragem basal da dieta.

Neste sentido, a taxa de degradação da FDNpd pode ser predita por relação positiva e linear a partir do consumo voluntário de MS (variável estimável pelo Sistema BR-CORTE). A associação positiva entre a taxa de degradação da FDNpd e o consumo voluntário (Equação 4.18; Figura 4.5) baseia-se no fato de o efeito de repleção ruminal da fibra, particularmente sua fração potencialmente degradável, estar negativamente associada com sua taxa de degradação no ambiente ruminal (Waldo et al., 1972; Detmann et al., 2015). Assim, deve ser entendido que a relação expressa pela equação (4.18) estabelece-se com base no aumento da qualidade da dieta.

Por outro lado, a taxa de passagem da FDNpd de alimentos volumosos demonstrou associação simples, negativa e curvilínea com a concentração da FDNi na forragem basal da

dieta, sendo a melhor descrição desta relação realizada por um modelo hiperbólico (Equação 4.19; Figura 4.6). Embora as frações FDNi e FDNpd tenham taxas de passagem distintas no ambiente ruminal (Lund et al., 2007), o aumento da fração FDNi da forragem amplia o efeito de repleção ruminal total da FDN devido ao maior tempo de retenção ruminal da FDN, haja vista que a fração FDNi só exhibe desaparecimento ruminal por uma única via (passagem) e, portanto, menor *turnover* comparado à fração FDNpd. Desta forma, ambas as equações ajustadas (Equações 4.18 e 4.19) apresentam coerência biológica com a ideia de avaliação da disponibilidade da FDNpd a partir da integração entre as dinâmicas de trânsito e degradação ruminal (Equação 4.17).

Contudo, a integração entre trânsito e degradação se refere apenas aos eventos ruminais, não considerando o possível aproveitamento da FDNpd no intestino grosso, o qual complementa o coeficiente de digestibilidade total desta fração. Assim, fator de ajustamento para a digestibilidade intestinal (FAI) foi adotado para compensar aos eventos digestivos pós-ruminais. No banco de dados avaliado, verificou-se que, em média, 89% da digestão total da FDNpd ocorreu no rúmen, o que culminou na adoção de $FAI = 1,12 (1/0,89)$. Esta proporção aproxima-se do sugerido por outros autores em condições não tropicais (Huhtanen et al., 2010).

Como limitação da aproximação empírica tem-se a ausência de dados associados à taxa de passagem da FDNpd de alimentos concentrados. Este tipo de informação é escasso no Brasil. Desta forma, o ajuste para a taxa de passagem de concentrados foi baseado na taxa de passagem da FDNpd da forragem basal e nas relações entre taxas de passagens da fibra de volumosos e concentrados obtida por Bürger et al. (2000) (Equação 4.20). Contudo, este ajustamento poderá sofrer modificações na medida em que novas informações forem obtidas em condições brasileiras.

Como descrito anteriormente para vacas em lactação (Figura 4.9), a inclusão de concentrados à dieta pode afetar o coeficiente de digestibilidade da FDNpd, particularmente em nível ruminal. Este comportamento

evidencia a existência de efeitos associativos com a inclusão de concentrados, o que pode afetar a taxa de degradação da FDNpd (BCNRM, 2016). Alterações na taxa de degradação podem refletir em alterações na taxa de passagem da fibra (Allen, 1996). Contudo, tais impactos não são contemplados diretamente na aproximação empírica e sua consideração em aproximações futuras pode incrementar a capacidade preditiva do modelo.

Por outro lado, como a estimação da taxa de passagem da FDNpd baseia-se na concentração da FDNi da forragem basal, seria impossível obter estimativas para dietas formadas exclusivamente por concentrados. Como dados das dinâmicas de trânsito e degradação ruminal para este tipo específico de dieta são inexistentes em condições brasileiras, optou-se pela recomendação da equação adotada pelo NRC (2001) (Equação 4.21).

A estrutura do sub-modelo adotado para a estimação da fração verdadeiramente digestível da PB foi mantida em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE (Equações 4.24 a 4.27). As únicas alterações realizadas dizem respeito aos coeficientes de digestibilidade das frações da PB associadas ao conteúdo celular e à parede celular. Para o primeiro caso, para melhor adequação às estimativas obtidas com dados brasileiros, este coeficiente foi alterado de 0,98 para 0,95, convergindo ao que é aplicado para estimação dos CNF verdadeiramente digestíveis (Equação 4.10). Considerando-se que a PB associada à parede celular apresenta, por suposição, comportamento digestivo similar ao observado para a porção fibrosa do alimento/dieta, seus coeficientes de digestibilidade devem ser modificados de acordo com o sub-modelo utilizado para estimação da fração digestível da FDNpd (Equações 4.15 a 4.21).

Ressalta-se, contudo, que a estimação da PIIDN a partir da PIDA foi proposta como alternativa para se agilizar o processo de predição (Detmann et al., 2010a). Contudo, ressalvas ainda devem ser mantidas, pois a relação entre PIIDN (conceito analítico biológico) e PIDA (conceito analítico químico) não apresenta alta precisão devido à elevada variabilidade biológica da

disponibilidade dos compostos nitrogenados associados à fibra (Henriques et al., 2007; Detmann et al., 2010a). Neste contexto, a utilização da PIDA como elemento preditor deve ser entendida apenas como aproximação química, sem que nenhum fundamento biológico seja destinado à sua ação sobre a digestibilidade dos compostos nitrogenados.

Para melhor entendimento das modificações dos sub-modelos em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE, processo de avaliação comparativa foi conduzido a partir da composição de volumosos ($n = 16$) e concentrados ($n = 8$) constantes no banco de dados CQBAL 3.0 (Valadares Filho et al., 2015). Os alimentos foram selecionados com base em sua utilização rotineira na alimentação de bovinos, na disponibilidade de todos os itens de composição química necessários ao processo de estimação e na disponibilidade de valores observados de NDT. Ressalta-se, contudo, que este processo de validação deve ser visto com cautela, pois os itens relativos à composição química podem ser oriundos de fontes distintas, além de não haver clareza quanto às situações nas quais as concentrações de NDT foram avaliadas *in vivo*. As avaliações centraram-se sobre as frações digestíveis da FDN e PB, haja vista que não foram estabelecidas modificações quanto aos sub-modelos aplicados para estimação das frações digestíveis de EE e CNF.

De forma geral, não foram observadas diferenças marcantes entre as aproximações meta-analítica e empírica aqui apresentadas e os sub-modelos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE com relação aos valores de frações digestíveis de FDN e PB para alimentos concentrados. Todas as aproximações produziram valores de NDT próximos àqueles observados na base de dados CQBAL 3.0 (Figuras 4.10 e 4.11).

No entanto, diferenças marcantes foram observadas quando amostras de volumosos foram consideradas (Figura 4.10). O sistema somativo adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE tendeu a

superestimar a concentração dietética de NDT em alimentos volumosos como reflexo das maiores estimativas da fração digestível da FDN. Como ressaltado anteriormente, a combinação do uso de coeficiente de digestibilidade fixo com fator de proteção constante associado à lignina (Equação 4.12) tende a superestimar esta fração, notadamente em bovinos em crescimento e terminação. Neste sentido, a aproximação empírica (Equações 4.17 a 4.20), produziu menores estimativas da fração digestível da FDN (Figura 4.10), fazendo com que as concentrações de NDT em forragens apresentassem a maior similaridade com os valores observados *in vivo* (Figura 4.11). Por outro lado, a aproximação meta-analítica (Equação 4.15) incorreu em valores inferiores da fração digestível da FDN, produzindo valores de NDT substancialmente inferiores aos valores observados *in vivo*. Considerando a similaridade entre todas as aproximações quanto aos valores da fração verdadeiramente digestível da PB de forragens (Figura 4.10), entende-se que as principais diferenças entre aproximações residem no processo de estimação da fração digestível da FDN.

Para melhor entendimento das diferenças entre as aproximações, procedimento simplificado de avaliação da composição do erro de predição foi conduzido a partir de fundamentos relatados por Kobayashi e Salam (2000):

$$QMEP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (4.33);$$

$$QV = (\bar{x} - \bar{y})^2 \quad (4.34);$$

$$VMQ = QMEP - QV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})]^2 \quad (4.35);$$

em que: QMEP, quadrado médio do erro de predição; x_i , valores preditos (% da MS); y_i , valores observados (% da MS); QV, quadrado do vício; e VMQ, variação média quadrática.

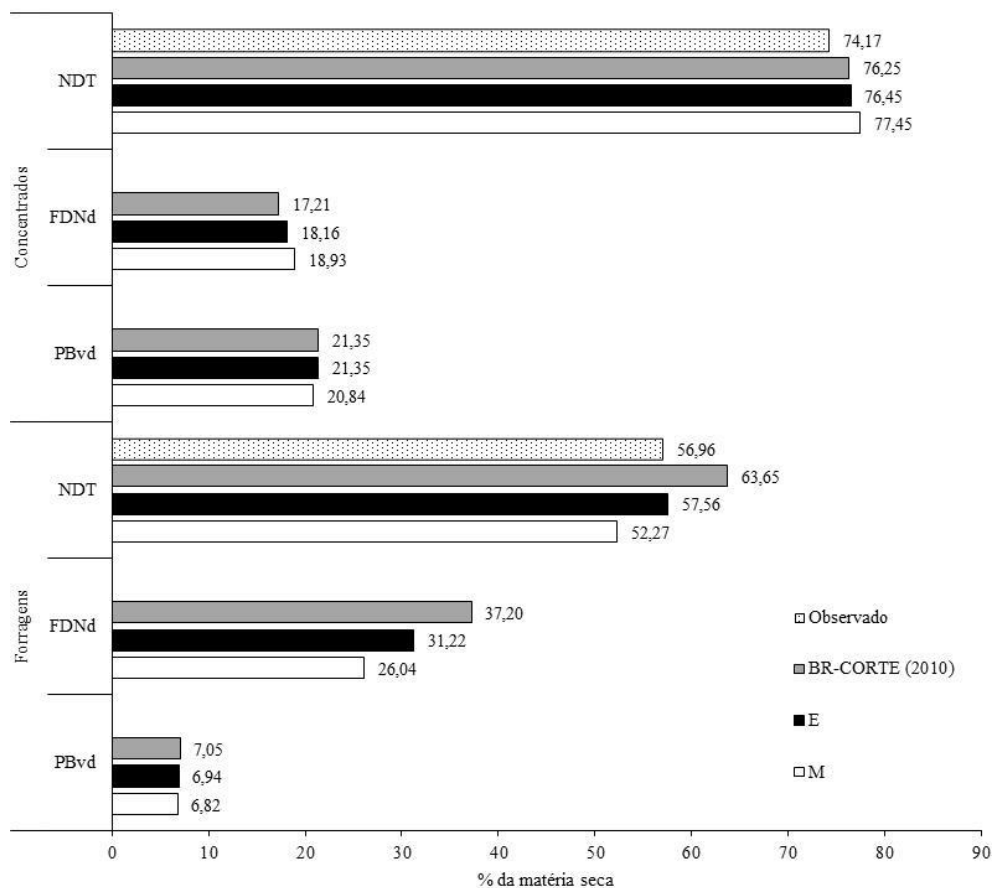


Figura 4.10 - Estimativas da fração verdadeiramente digestível da PB (PBvd), da fração digestível da FDN (FDNd) e da concentração dietética de NDT obtidas pelos sub-modelos adotados pelo BR-CORTE (2010) e pelas aproximações meta-analíticas (M) e empírica (E) para bovinos em crescimento e terminação e valores médios de NDT observados segundo dados do CQBAL 3.0 (forragens, n = 16; concentrados, n = 8). Para os modelos empíricos e meta-analítico considerou-se consumo de 22 g/kg de peso corporal. Para o modelo meta-analítico adotou-se concentração média de 12% de PB e 14% de FDNi na dieta. Para os modelos empírico e meta-analíticos aplicados para concentrados considerou-se como volumoso basal silagem de milho.

Devido à limitação intrínseca ao banco de dados obtido da base CQBAL 3.0, como previamente ressaltado, optou-se pela não realização de processo mais rigoroso de avaliação dos erros de predição. A

decomposição simplificada aqui utilizada (Equações 4.33 a 4.35) permite a identificação básica da composição do erro de predição (QMEP) em relação a limitações na exatidão (QV) ou precisão (VMQ) do modelo avaliado.

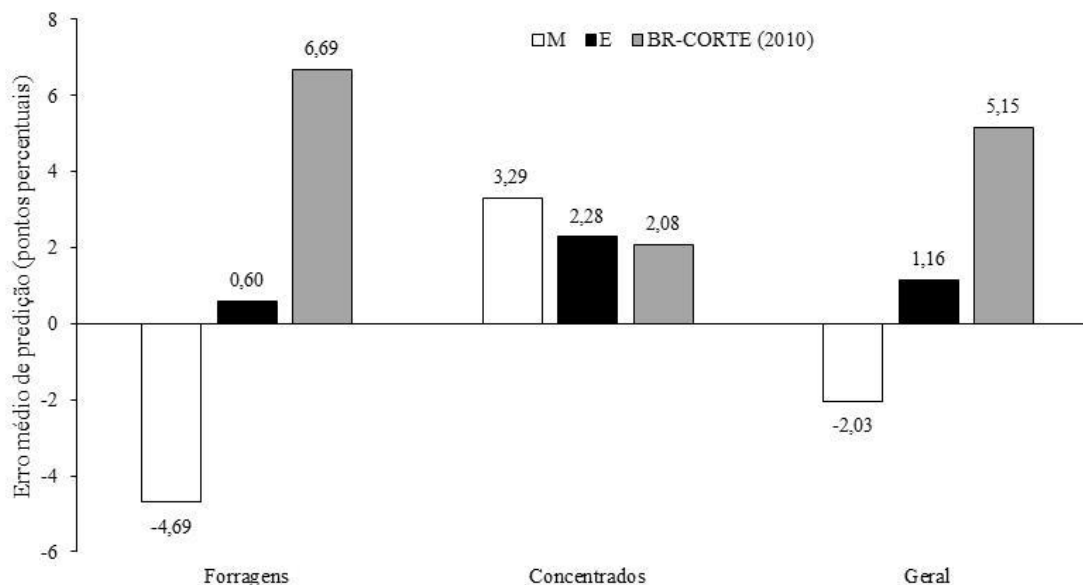


Figura 4.11 - Erro médios de predição em relação ao teor de NDT em alimentos concentrados e forragens obtidos pelos sub-modelos adotados pelo BR-CORTE (2010) e pelas aproximações meta-analíticas (M) e empírica (E) para fibra e proteína para bovinos em crescimento e terminação em relação aos valores médios de NDT observados segundo dados do CQBAL 3.0 (forragens, $n = 16$; concentrados, $n = 8$). Para verificação das pressuposições aplicadas a cada modelo, favor consultar a Figura 4.10.

Neste sentido, a avaliação geral do conjunto de dados permitiu evidenciar que ganhos proeminentes em exatidão e precisão foram obtidos somente na avaliação de alimentos volumosos, pois pouca diferença foi verificada com relação a alimentos concentrados (Figura 4.12).

A utilização da aproximação empírica produziu estimativas mais exatas em relação aos sub-modelos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE. O coeficiente de digestibilidade da fração FDNpd para bovinos em crescimento e terminação previamente adotado pelo Sistema BR-CORTE (0,84) mostrou-se inferior ao coeficiente médio de digestibilidade da FDNpd para amostras de forragens considerando-se a aproximação empírica (0,867). Contudo, mesmo assim verificaram-se estimativas mais altas da fração digestível da FDN, culminando em superestimação da concentração de NDT. Este fato alerta para a presença de vieses positivos na estimação da fração FDNpd por intermédio

da equação (4.12). No entanto, os maiores ganhos foram observados com relação à precisão das estimativas, o que, como ressaltado anteriormente, constituía a principal limitação na avaliação da fração digestível da FDN (Detmann et al., 2007; 2008b; Azevêdo et al., 2011). Embora as equações utilizadas por esta aproximação sejam relativamente simples (Equações 4.17 a 4.20), a consideração das particularidades das forragens basais (i.e., concentração de FDNi) em detrimento de coeficientes constantes para o coeficiente de digestibilidade da FDNpd parecem ter refletido em variações similares e correlações mais fortes com valores observados *in vivo*. Assim, a aproximação empírica mostrou-se alternativa mais exata e precisa para a substituição do sub-modelo previamente adotado pelo Sistema BR-CORTE para estimação da fração digestível da FDN, com as consequentes aplicações sobre a fração digestível da PB.

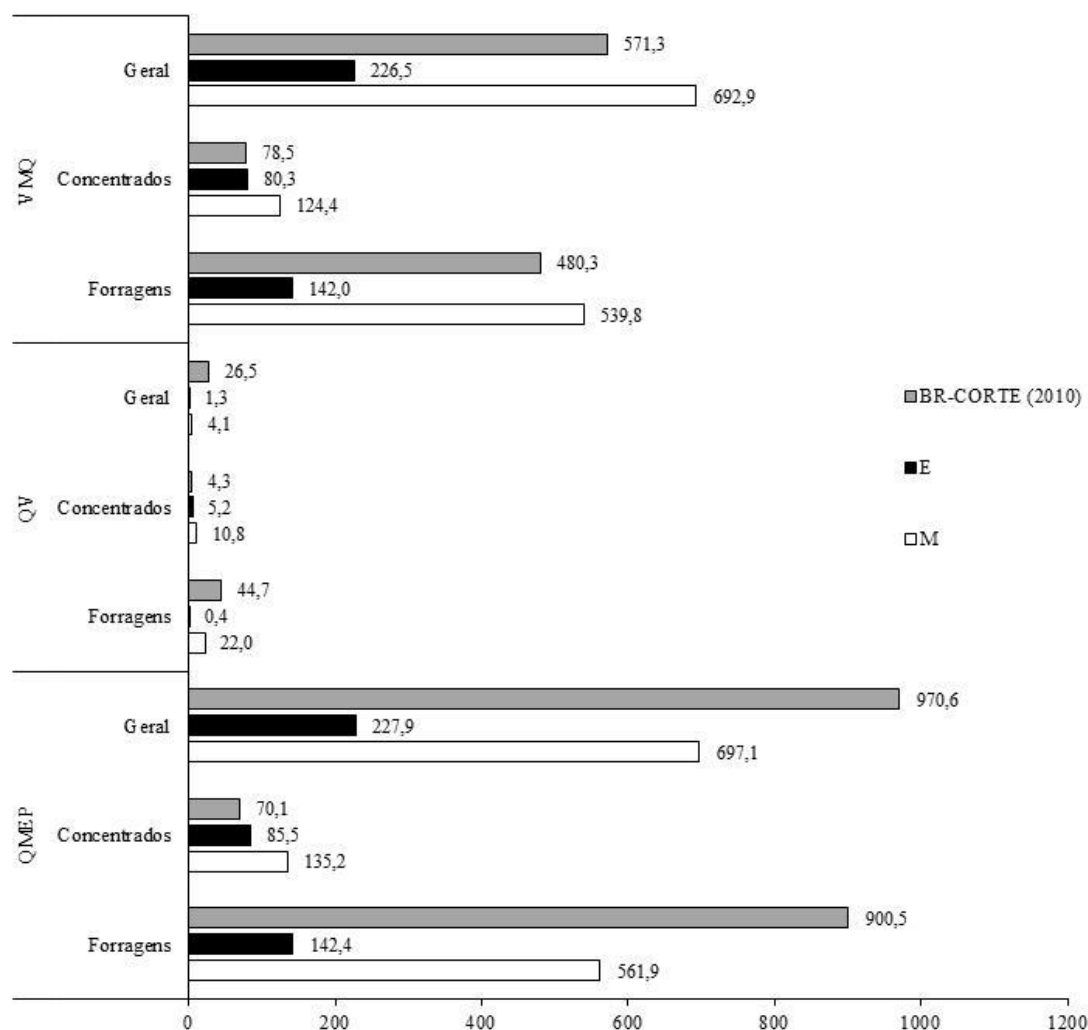


Figura 4.12 - Quadrado médio do erro de predição (QMEP), quadrado do vício (QV) e variação média quadrática (VMQ) para os teores de NDT em alimentos concentrados e forragens obtidos pelos sub-modelos adotados pelo BR-CORTE (2010) e pelas aproximações meta-analíticas (M) e empírica (E) para fibra e proteína para bovinos em crescimento e terminação em relação aos valores médios de NDT observados segundo dados do CQBAL 3.0 (forragens, n = 16; concentrados, n = 8). Para verificação das pressuposições aplicadas a cada modelo, favor consultar a Figura 4.10.

Por outro lado, embora desenvolvida a partir de grande número de observações *in vivo*, a aproximação meta-analítica apresentou limitações quanto à exatidão (Figuras 4.11 e 4.12) e, principalmente, quanto à precisão (Figura 4.12) das estimativas da concentração de NDT em forragens. Este comportamento poderia levar à sua não recomendação. Contudo, há de se ressaltar que as estimativas de frações digestíveis de FDN e PB obtidas por esta aproximação se basearam apenas em estimativas iniciais para a composição final da dieta (Figuras 4.10 e 4.11). Como ressaltado anteriormente, a utilização de tal aproximação constitui processo iterativo, na

qual ajustes sequenciais a partir dos *outputs* são necessários para se alcançar a convergência entre exigências de energia e consumo de energia. Assim, seria esperado que o primeiro *output* (obtido com valores iniciais definidos pelo usuário) produzisse estimativas de baixa precisão. Desta forma, o comportamento aqui observado para a aproximação meta-analítica pode não refletir suas verdadeiras características. Contudo, devido à escassez de dados, procedimentos de avaliação e, principalmente, validação desta aproximação não puderam ser desenvolvidos, o que seria recomendado.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Situação Produtiva – Bovinos Nelore em crescimento e terminação (confinamento).

Dieta: relação volumoso:concentrado 50:50 (base na matéria seca), 12%PB

Consumo esperado: 25 g MS/kg peso corporal.

Volumoso: silagem de milho.

Concentrado: mistura de milho grão (86,43% da MS), farelo de soja (10,07% da MS), ureia:sulfato de amônia (U:SA; 9:1) (1,5% da MS) e mistura mineral (MM; 2,0% da MS).

Tabela 4.4 - Composição química dos alimentos e da dieta total (% da MS)

Item	Silagem	Fubá	F. Soja	U:SA	MM	Concentrado	Dieta
MS	30,92	87,64	88,61	100	100	88,11	45,80
MO	94,74	97,60	92,85	100	0	95,20	94,97
PB	7,26	9,11	48,78	260	-	16,70	12,00
Ur	-	-	-	100	-	1,50	0,75
PBu	-	-	-	260	-	3,90	1,95
EE	3,16	4,07	1,71	-	-	3,69	3,43
FDNcp	51,77	10,19	10,72	-	-	9,89	30,83
FDA	23,79	4,18	3,75	-	-	3,99	13,89
Lignina	4,97	1,16	1,33	-	-	1,14	3,06
CNF	32,55	74,23	31,64	-	-	67,34	49,95
PIDN	1,14	0,87	2,38	-	-	0,99	1,06
PIDA	0,57	0,35	1,34	-	-	0,44	0,51

Exemplo A – Abordagem meta-analítica para avaliação da energia oriunda da FDN e PB

A.1. Cálculo da fração verdadeiramente digestível do EE (Equação 4.9)

$$EE_{vd} = 0,86 \times EE = 0,86 \times 3,43 = 2,95\%$$

A.2. Cálculo da fração verdadeiramente digestível dos CNF (Equação 4.10)

$$CNF_{vd} = 0,95 \times CNF = 0,95 \times 49,95 = 47,45\%$$

A.3. Cálculo da fração digestível da FDN (Equações 4.11, 4.13, 4.14 e 4.15)

$$FDNpd(F) = 3,38 + 0,883 \times FDNcp - 0,834 \times FDA + 0,0065 \times FDA^2 - 0,197 \times L$$

$$FDNpd(F) = 3,38 + 0,883 \times 51,77 - 0,834 \times 23,79 + 0,0065 \times (23,79^2) - 0,197 \times 4,97$$

$$FDNpd(F) = 31,95\%$$

$$FDNpd(C) = -1,19 - 10,16 \times D + 1,012 \times FDNcp - 0,052 \times FDA$$

$$FDNpd(C) = -1,19 - 10,16 \times 0 + 1,012 \times 9,89 - 0,052 \times 3,99$$

$$FDNpd(C) = 8,61\%$$

$$FDNpd(Dieta) = FDNpd(F) \times 0,5 + FDNpd(C) \times 0,5 = 31,95 \times 0,5 + 8,61 \times 0,5 = 20,28\%$$

$$FDNi(Dieta) = FDNcp - FDNpd = 30,38 - 20,28 = 10,55\%$$

$$D_{ct} = 80,21 \times FOR - 0,0166 \times CMS^2 + 2,658 \times FDNi + 3,691 \times PB$$

$$+ 0,0507 \times (CMS \times FDNi) - 2,9673 \times (FOR \times FDNi) - 3,9990 \times (FOR \times PB)$$

$$D_{ct} = 80,21 \times 0 - 0,0166 \times 25^2 + 2,658 \times 10,55 + 3,691 \times 12 \\ + 0,0507 \times (25 \times 10,55) - 2,9673 \times (0 \times 12,05) - 3,9990 \times (0 \times 12) = 75,33\%$$

$$FDN_d = D \times FDNpd$$

$$FDN_d = 75,33\% \times 20,28 = 15,27\%$$

A.4. Cálculo da fração verdadeiramente digestível da PB (Equações 4.15 e 4.26)

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times (PB - PIDN) + D_{vPBPC} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0,8188+1,1676 \times PIDA)}]\}$$

$$PB_{vd} = 0,95 \times (12,00 - 1,06) + 0,7533 \times \{1,06 \times [1 - e^{-(0,8188+1,1676 \times 0,51)}]\}$$

$$PB_{vd} = 0,95 \times 10,94 + 0,7533 \times (1,06 \times 0,7569)$$

$$PB_{vd} = 10,39 + 0,60 = 10,99\%$$

A.5. Cálculo do NDT (Equação 28d; Tabela 4.1)

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - FM_{NDT}$$

$$NDT = 10,99 + 47,45 + 15,27 + 2,25 \times 2,95 - 7,13$$

$$NDT = 80,35 - 7,13 = 73,22\%$$

A.6. Cálculo da ED (Equação 4.29; Tabela 4.1)

$$ED = 0,056 \times PB_{vd} + 0,042 \times CNF_{vd} + 0,042 \times FDN_d + 0,094 \times EE_{vd} - FM_{ED}$$

$$ED = 0,056 \times 10,99 + 0,042 \times 47,45 + 0,042 \times 15,27 + 0,094 \times 2,95 - 0,322 = 3,205 \text{ Mcal/kg MS}$$

A.7. Cálculo da EM (Equação 4.30)

$$EM = 0,9422 \times ED - 0,303$$

$$EM = 0,9455 \times 3,205 - 0,303 = 2,727 \text{ Mcal/kg MS}$$

Exemplo B – Abordagem empírica geral para avaliação da energia oriunda da FDN e PB

B.1. Cálculo da fração digestível da FDN (Equações 4.13, 4.14, 4.17, 4.18, 4.19b e 4.20)

$$FDNpd(F) = 3,38 + 0,883 \times FDNcp - 0,834 \times FDA + 0,0065 \times FDA^2 - 0,197 \times L$$

$$FDNpd(F) = 3,38 + 0,883 \times 51,77 - 0,834 \times 23,79 + 0,0065 \times (23,79^2) - 0,197 \times 4,97$$

$$FDNpd(F) = 31,95\%$$

$$FDNpd(C) = -1,19 - 10,16 \times D + 1,012 \times FDNcp - 0,052 \times FDA$$

$$FDNpd(C) = -1,19 - 10,16 \times 0 + 1,012 \times 9,89 - 0,052 \times 3,99$$

$$FDNpd(C) = 8,61\%$$

$$kd = 0,00329 \times CMS = 0,00329 \times 25 = 0,0823$$

$$kp(F) = \frac{0,287}{FDNi(F)} = \frac{0,287}{(FDNcp - FDNpd)} = \frac{0,287}{(51,77 - 31,95)} = 0,0145$$

$$kp(C) = kp(F) \times 1,8 = 0,0145 \times 1,8 = 0,0261$$

$$FDNd(F) = \left[\left(\frac{0,0823}{0,0823 + 0,0145} \right) \times 31,95 \right] \times 1,12 = 30,42\%$$

$$FDNd(C) = \left[\left(\frac{0,0823}{0,0823 + 0,0261} \right) \times 8,64 \right] \times 1,12 = 7,34\%$$

$$FDNd(Dieta) = 0,5 \times FDNd(F) + 0,5 \times FDNd(C) = 0,5 \times 30,42 + 0,5 \times 7,34 = 18,88\%$$

B.2. Cálculo da fração verdadeiramente digestível da PB (Equações 4.18, 4.19b, 4.20 e 4.27)

$$PB_{vd}(F) = 0,95 \times (7,26 - 1,14) + \frac{0,0823}{0,0823 + 0,0145} \times \{1,14 \times [1 - e^{-(0,8188 + 1,1676 \times 0,57)}]\}$$

$$PB_{vd}(F) = 0,95 \times 6,12 + 0,8502 \times (1,14 \times 0,7733)$$

$$PB_{vd}(F) = 5,81 + 0,75 = 6,56\%$$

$$PB_{vd}(C) = 0,95 \times (16,70 - 0,99) + \frac{0,0823}{0,0823 + 0,0261} \times \{0,99 \times [1 - e^{-(0,8188 + 1,1676 \times 0,44)}]\}$$

$$PB_{vd}(C) = 0,95 \times 15,71 + 0,7592 \times (0,99 \times 0,7362)$$

$$PB_{vd}(C) = 14,92 + 0,55 = 15,47\%$$

$$PB_{vd}(dieta) = 0,5 \times PB_{vd}(F) + 0,5 \times PB_{vd}(C) = 0,5 \times 6,56 + 0,5 \times 15,47 = 11,02\%$$

B.3. Cálculo do NDT (Equação 4.28d; Tabela 4.1)

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - FM_{NDT}$$

$$NDT = 11,02 + 47,45 + 18,88 + 2,25 \times 2,95 - 7,13$$

$$NDT = 83,99 - 7,13 = 76,86\%$$

B.4. Cálculo da ED (Equação 4.29; Tabela 4.1)

$$ED = 0,056 \times PB_{vd} + 0,042 \times CNF_{vd} + 0,042 \times FDN_d + 0,094 \times EE_{vd} - FM_{ED}$$

$$ED = 0,056 \times 11,02 + 0,042 \times 47,45 + 0,042 \times 18,88 + 0,094 \times 2,95 - 0,322 = 3,358 \text{ Mcal/kg MS}$$

B.5. Cálculo da EM (Equação 4.30)

$$EM = 0,9455 \times ED - 0,303$$

$$EM = 0,9455 \times 3,358 - 0,303 = 2,872 \text{ Mcal/kg MS}$$

TABELAS DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS

A seguir são expostas Tabelas de composição química e concentração energética para bovinos em crescimento e terminação em alguns alimentos mais

comumente utilizados. Os dados de composição química foram retirados da base CQBAL 3.0. As concentrações energéticas foram estimadas segundo as equações descritas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Indicação das equações empregadas para estimação da concentração energética dos alimentos constantes nas Tabelas 4.6 a 4.9

Fração	Equações	Tabela
EEvd	9	-
CNFvd	10	-
FDNd	13, 14, 17, 18, 19b e 20	-
PBvd	18, 19b, 20 e 27	-
NDT	28d	4.1
ED	29	4.1
EM	30	-

Para o cálculo das frações FDNd e PBvd assumiu-se consumo voluntário de 22 g de matéria seca por kg de peso corporal. Especificamente para o cálculo destas frações em alimentos concentrados, considerou-se a silagem de milho como volumoso basal. De forma comparativa, os valores de NDT foram também calculados com base na segunda edição do Sistema BR-CORTE, utilizando-se, contudo, o coeficiente de digestibilidade da FDNpd sugerido para vacas em lactação.

Devido à superestimação da concentração de NDT causada pelo sub-modelo aplicável à FDN para bovinos em crescimento e terminação (Figuras 4.10 e 4.11), o Sistema BR-CORTE para formulação de dietas (versão *on line*) tem utilizado o

coeficiente de digestibilidade da FDNpd para vacas em lactação como alternativa para obtenção de valores de NDT aparentemente mais verossímeis ao que seria obtido *in vivo*. Contudo, como ressaltado anteriormente, o coeficiente de digestibilidade da FDNpd para vacas em lactação adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE (0,67) encontra-se subestimado, ao passo que a avaliação da fração FDNpd a partir da lignina por intermédio da equação (4.12) parece gerar superestimativas. Assim, o modelo apresentaria viés negativo quanto ao coeficiente de digestibilidade e positivo quanto à dimensão da fração FDNpd, o que indicaria incoerência em sua utilização.

Tabela 4.6 - Composição química e concentração energética em volumosos (forragens úmidas *in natura*)

Itens	Alimentos											
	Alfafa	Azevém	Braquiária brizantha (0-30 d)	Braquiária brizantha (91-120d)	Braquiária decumbens (31-45 d)	Braquiária decumbens (46-60 d)	Cana- de- açúcar	Coast cross	Capim Elefante Cameroon (61-90 d)	Capim Tifton 85	Capim Tanzânia	Palma Forrageira
MS	25,30	19,43	17,15	27,72	22,39	27,14	28,77	32,62	16,68	26,96	23,31	11,30
MO	90,62	90,45	89,98	92,30	90,33	91,04	96,55	91,49	90,22	90,91	88,63	88,04
PB	90,97	18,78	12,32	4,80	11,66	9,39	2,76	12,03	8,89	12,91	9,45	4,24
EE	3,70	3,22	1,20	1,16	1,79	2,23	1,34	2,50	2,41	2,00	2,53	1,80
CNF	26,08	21,83	15,28	10,87	21,48	19,84	42,72	7,73	10,85	10,68	7,59	52,92
FDNcp	39,87	46,62	61,18	75,47	55,40	59,58	49,73	69,23	68,07	65,32	69,06	29,08
FDA	26,63	27,41	34,68	42,87	28,19	36,76	33,52	35,78	43,91	36,91	41,58	18,61
Lig	7,47	4,06	4,44	6,41	3,82	5,18	5,86	6,13	7,10	7,49	5,89	4,93
PIDA	1,69	0,72	2,55	1,59	0,90	2,28	0,12	1,93	0,97	3,75	1,31	0,82
PIDN	4,99	5,28	3,00	3,87	5,14	3,38	0,46	5,81	2,56	6,81	3,30	1,40
NDT ¹	60,1	60,9	54,7	49,4	57,1	56,0	63,1	51,8	50,4	51,0	50,1	62,8
NDT ²	62,2	60,5	55,5	54,0	58,2	56,8	63,0	56,7	53,4	55,5	52,7	63,2
ED ²	2,86	2,75	2,47	2,30	2,56	2,48	2,66	2,51	2,33	2,47	2,31	2,68
EM ²	2,39	2,29	2,02	1,88	2,12	2,04	2,21	2,07	1,90	2,03	1,88	2,23

¹ NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; ² NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

Tabela 4.7 - Composição química e concentração energética em volumosos conservados (fenos e silagens)

Itens	Fenos					Silagens						
	Alfafa	Aveia	Braquiária brizantha	Braquiária decumbens	Coast cross	Tifton 85	Cana- de- açúcar	Capim Elefante	Milho	Soja	Sorgo	Tifton (pré- secado)
MS	89,32	87,42	87,95	88,68	88,90	88,94	26,12	27,70	31,11	25,83	29,76	47,76
MO	88,38	91,82	93,30	93,26	92,91	92,20	95,14	90,29	94,23	91,78	93,59	91,12
PB	18,77	11,96	4,13	6,64	8,57	9,69	3,77	5,47	7,24	17,79	6,45	16,62
EE	2,85	1,77	1,22	1,77	1,48	1,55	1,71	2,23	2,84	9,45	2,53	2,41
CNF	23,77	27,93	8,82	6,64	10,14	9,92	27,64	15,32	33,81	15,43	26,02	10,60
FDN _{cp}	42,99	50,16	79,13	78,21	72,72	71,04	62,02	67,27	50,34	49,11	58,59	61,49
FDA	37,52	41,13	49,59	46,52	40,59	38,72	43,03	48,71	30,26	35,69	31,27	32,00
Lig	9,74	7,04	7,26	6,82	6,05	6,13	8,13	7,47	4,87	8,91	5,10	4,76
PIDA	2,14	2,15	0,36	0,80	1,75	1,16	0,38	0,76	0,87	1,95	0,93	1,14
PIDN	3,94	3,63	0,58	3,83	3,45	4,74	0,61	1,19	1,31	3,11	2,37	5,53
NDT ¹	54,0	56,8	49,2	49,3	51,8	51,0	55,5	50,5	63,3	62,8	59,2	55,4
NDT ²	55,1	56,2	53,7	54,2	55,8	55,4	58,0	52,5	63,2	65,1	61,2	57,8
ED ²	2,53	2,49	2,29	2,33	2,43	2,42	2,46	2,25	2,72	2,94	2,62	2,61
EM ²	2,09	2,05	1,86	1,90	1,99	1,98	2,03	1,83	2,27	2,48	2,18	2,17

¹ NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; ² NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

Tabela 4.8 - Composição química e concentração energética em concentrados energéticos

Itens	Alimentos								
	Aveia (grão)	Casca de soja	Farelo de arroz	Farelo de trigo	Milheto (grão)	Milho (grão)	Sorgo (grão)	Polpa cítrica	Raspa de mandioca
MS	90,44	90,30	89,03	87,97	88,95	87,91	88,12	88,45	87,66
MO	93,59	94,18	89,17	93,32	94,19	97,54	97,87	91,72	95,83
PB	14,06	12,73	13,22	17,13	13,35	9,05	9,67	6,93	2,80
EE	3,82	2,20	16,32	3,51	4,49	4,02	2,94	3,11	0,45
CNF	48,09	15,88	39,02	33,07	53,95	72,48	73,90	60,36	78,97
FDN _{cp}	27,62	63,37	20,60	39,61	22,40	11,99	11,36	21,32	13,61
FDA	22,92	49,15	11,88	13,19	7,21	4,00	6,07	20,76	7,19
Lig	3,51	3,64	4,49	3,80	1,41	1,18	1,80	1,84	1,64
PIDA	0,14	2,29	0,55	0,94	1,40	0,18	0,05	0,08	0,47
PIDN	1,57	5,61	1,81	0,28	2,41	1,39	0,87	2,72	0,64
NDT ¹	72,2	69,5	83,7	68,5	77,7	83,8	82,8	76,1	79,7
NDT ²	80,4	74,8	81,0	71,2	82,9	86,6	86,0	78,0	81,6
ED ²	3,53	3,27	3,54	3,20	3,63	3,73	3,71	3,33	3,44
EM ²	3,04	2,79	3,04	2,72	3,13	3,22	3,21	2,84	2,95

¹ NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; ² NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

Tabela 4.9 - Composição química e concentração energética em concentrados protéicos

Itens	Alimentos								
	Caroço de algodão	Farelo de algodão 38	Torta de algodão	Farelo de girasol	Farelo de Gluten 21	Glutenose	Farelo de amendoim	Farelo de soja	Soja (grão)
MS	90,76	89,92	90,68	91,06	88,77	90,57	89,23	88,57	90,88
MO	95,78	91,07	95,14	93	92,20	96,81	92,47	92,89	93,71
PB	22,99	39,63	29,74	31,81	23,93	63,90	58,38	48,71	38,46
EE	19,32	1,43	9,43	1,94	2,78	2,73	0,40	1,86	19,05
CNF	7,71	20,55	10,05	10,76	29,79	23,93	11,50	28,86	20,78
FDNcp	45,76	29,46	45,92	48,49	35,70	6,25	22,19	13,46	15,42
FDA	35,24	22,94	34,92	34,64	10,68	3,75	10,96	9,47	12,12
Lig	7,39	3,66	9,68	5,40	1,19	0,26	2,22	1,62	2,29
PIDA	2,06	1,05	1,67	0,91	0,25	2,13	1,12	0,39	2,67
PIDN	3,33	3,38	5,73	4,22	3,09	4,48	3,13	2,78	6,51
NDT ¹	84,9	67,0	71,04	67,5	70,2	85,75	74,0	76,86	94,99
NDT ²	87,0	66,7	84,73	66,5	77,3	84,84	77,8	79,25	96,47
ED ²	3,92	3,29	3,91	3,18	3,52	4,38	3,45	3,94	4,51
EM ²	3,40	2,81	3,39	2,70	3,03	3,84	2,96	3,42	3,97

¹ NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; ² NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

REFERÊNCIAS

- Allen, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, 74:3063-3075, 1996.
- Allen, M. S.; Linton, J. A. V. In vivo methods to measure digestibility and digestion kinetics of feed fractions in the rumen. In: Simpósio Internacional Avanços em Pesquisa de Nutrição de Ruminantes, 1, 2007, Pirassununga. Anais... Pirassununga: USP, p.72-89, 2007.
- Arroquy, J. I.; Cochran, R. C.; Nagaraja, T. G. Titgemeyer, E. C.; Johnson, D. E. Effect of types of non-fiber carbohydrates on in vitro forage fiber digestion of low-quality grass hay. *Animal Feed Science and Technology*, 120:93-106, 2005.
- Arroyo-Aguilu, J. A.; Evans, J. L. Nutrient digestibility of lower-fiber rations ruminant animal. *Journal of Dairy Science*, 55:1266-1274, 1972.
- Azevêdo, J. A. G.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Pina, D. S.; Pereira, L. G. R.; Oliveira, K. A. M.; Fernandes, H. J.; Souza, N. K. P. Predição das frações digestíveis e valor energético de subprodutos agrícolas e agroindustriais para bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:391-402, 2011.
- Barbosa, M. M.; Detmann, E.; Rocha, G. C.; Franco, M. O.; Valadares Filho, S. C. Evaluation of laboratory procedures to quantify the neutral detergent fiber content in forage, concentrate, and ruminant feces. *Journal of AOAC International*, 98:883-889, 2015.
- Beef Cattle Nutrient Requirement Model – BCNRM. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th edition. Washington, DC: The National Academies Press, 475p, 2016.
- Blaxter, K. L.; Mitchell, H. H. The factorization of the protein requirements of ruminants and of the protein values of feeds, with particular reference to the significance of metabolic fecal nitrogen. *Journal of Animal Science*, 7:351-372, 1948.
- Bürger, P. J.; Pereira, J. C.; Coelho da Silva, J. F.; Valadares Filho, S. C.; Cecon, P. R.; Jordão, C. P.; Braz, S. P. Taxas de passagem e cinética da degradação ruminal em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29:225-235, 2000.
- Campos, P. R. S. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Cecon, P. R.; Leão, M. I.; Lucchi, B. B.; Souza, S. M.; Pereira, E. G. Consumo, digestibilidade e estimativa do valor energético de alguns volumosos por meio da composição química. *Revista Ceres*, 57:79-86, 2010.
- Carvalho, I. P. C.; Detmann, E.; Mantovani, H. C.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Costa, V. A. C.; Gomes, D. I. Growth and antimicrobial activity of lactic acid bacteria from rumen fluid according to energy or nitrogen source. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:1260-1265, 2011.

- Casali, A. O.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Pereira, J. C.; Henriques, L. T.; Freitas, S. G.; Paulino, M. F. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:335-342, 2008.
- Conrad, H. R.; Weiss, W. P.; Odwongo, W. O.; Shockey, W. L. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. *Journal of Dairy Science*, 67:427-436, 1984.
- Costa, M. A. L.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Cecon, P. R.; Paulino, P. V. R.; Chizzotti, M. L. Paixão, M. L. Validação das equações do NRC (2001) para predição do valor energético de alimentos em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:280-287, 2005.
- Costa, V. A. C.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Henriques, L. T.; Mantovani, H. C. Degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro de forragem tropical de alta qualidade em função da suplementação com proteína e/ou carboidratos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1803-1811, 2009.
- Detmann, E. Fibra na nutrição de novilhas leiteiras. In: Pereira, E. S.; Pimentel, P. G.; Queiroz, A. C.; Mizubuti, I. Y. (Eds.) *Novilhas leiteiras*. Fortaleza: Graphiti, p.253-302, 2010.
- Detmann, E.; Valadares Filho, S. C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62:980-984, 2010.
- Detmann, E.; Zervoudakis, J. T.; Cabral, L. S.; Rocha Jr., V. R.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Ponciano, N. J.; Fernandes, A. M. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33:1866-1875, 2004a.
- Detmann, E.; Clipes, R. C.; Coelho da Silva, J. F.; Vieira, R. A. M.; Lista, F. N.; Nunes, L. B. M. Avaliação da proteína insolúvel em detergente ácido como estimador da fração protéica indegradável no rúmen em forragens tropicais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, 2004, Campo Grande. Anais... Campo Grande: SBZ, 2004b (CD-ROM, Nutrição de Ruminantes - NR131.pdf).
- Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Pina, D. S.; Campos, J. M. S.; Paulino, M. F.; Oliveira, A. S.; Silva, P. A. Estimação da digestibilidade do extrato etéreo em ruminantes a partir dos teores dietéticos: desenvolvimento de um modelo para condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35:1469-1478, 2006a.
- Detmann, E.; Pina, D. S.; Valadares Filho, S. C.; Campos, J. M. S.; Paulino, M. F.; Oliveira, A. S.; Silva, P. A.; Henriques, L. T. Estimação da fração digestível da proteína bruta em dietas para bovinos a partir dos teores dietéticos em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35:2101-2109, 2006b.
- Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Henriques, L. T.; Pina, D. S.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D.; Chizzotti, M. L.; Magalhães, K. A. Estimação da digestibilidade dos carboidratos não-fibrosos em bovinos a partir do conceito de entidade nutricional em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35:1479-1486, 2006c.
- Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Henriques, L. T.; Pina, D. S.; Paulino, M. F.; Magalhães, A. L. R.; Figueiredo, D. M.; Porto, M. O.; Chizzotti, M. L. Reparametrização do modelo baseado na Lei de Superfície para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:155-164, 2007.
- Detmann, E.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C. Avaliação nutricional de alimentos ou de dietas? Uma abordagem conceitual. In: *SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE*, 6, 2008, Viçosa. Anais... Viçosa: DZO-UFV, p.21-52, 2008a.
- Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Pina, D. S.; Henriques, L. T.; Paulino, M. F.; Magalhães, K. A.; Silva, P. A.; Chizzotti, M. L. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 143:127-147, 2008b.
- Detmann, E.; Magalhães, K. A.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Henriques, L. T. Desenvolvimento de um sub-modelo bi-compartimental para estimação da fração digestível da proteína bruta em bovinos a partir da composição química dos alimentos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:2215-2221, 2008c.

- Detmann, E.; Paulino, M. F.; Mantovani, H. C.; Valadares Filho, S. C.; Sampaio, C. B.; Souza, M. A.; Lazzarini, I.; Detmann, K. S. C. Parameterization of ruminal fiber degradation of low-quality tropical forage using Michaelis-Menten kinetics. *Livestock Science*, 126:136-146, 2009.
- Detmann, E.; Coelho da Silva, J. F.; Clipes, R. C.; Henriques, L. T.; Queiroz, A. C.; Paulino, M. F. Estimação por aproximação química dos teores de proteína indegradável insolúvel em detergente neutro em forragens tropicais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62:742-746, 2010a.
- Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F. Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos. In: Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. (Eds.) Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados BR-CORTE. 2 ed. Viçosa, MG: DZO-UFV, p.47-64, 2010b.
- Detmann, E.; Souza, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Berchielli, T. T.; Saliba, E. O. S.; Cabral, L. S.; Pina, D. S.; Ladeira, M. M.; Azevêdo, J. A. G. (Eds.) *Métodos para análise de alimentos*. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 214p., 2012.
- Detmann, E.; Gionbelli, M. P.; Huhtanen, P. A meta-analytical evaluation of the regulation of voluntary intake in cattle fed tropical forage-based diets. *Journal of Animal Science*, 92:4632-4641, 2014.
- Detmann, E.; Franco, M. O.; Batista, E. D.; Reis, W. L. S.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F. Cinética de digestão e passagem da fibra em ruminantes e sua otimização por meio de estratégias nutricionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO RÚMEN, 1, 2015, Cuiabá. Anais... Cuiabá: UFMT, 2015 (CD-ROM).
- Draper, N. R.; Smith, H. Applied regression analysis. New York: John Wiley, 407p., 1966.
- Forbes, J. M.; France, J. Introduction. In: Forbes, J. M.; France, J. (Eds.) *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Wallingford: CAB International, p.1-12. 1993.
- Girard, V.; Dupuis, G. Effect of structural and chemical factors of forages on potentially digestible fiber, intake, and true digestibility by ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 68:787-799, 1988.
- Gomes, D. I.; Detmann, E.; Valente, T. N. P.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C. Avaliação laboratorial de compostos fibrosos em alimentos e fezes bovinas sob diferentes ambientes físicos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63:522-525, 2011a.
- Gomes, D. I.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Fukushima, R. S.; Souza, M. A.; Valente, T. N. P.; Paulino, M. F.; Queiroz, A. C. Evaluation of lignin contents in tropical forages using different analytical methods and their correlations with degradation of insoluble fiber. *Animal Feed Science and Technology*, 168:206-222, 2011b.
- Gomes, D. I.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Mezzomo, R.; Souza, N. K. P.; Queiroz, A. C.; Detmann, K. S. C. Evaluation of sodium sulfite and protein correction in analyses of fibrous compounds in tropical forages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:225-231, 2012.
- Henriques, L. T.; Detmann, E.; Queiroz, A. C.; Valadares Filho, S. C.; Leão, M. I.; Paulino, M. F. Frações dos compostos nitrogenados associados à parede celular em forragens tropicais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59:258-263, 2007.
- Huhtanen, P.; Ahvenjärvi, S.; Broderick, G. A.; Reynal, S. M.; Shingfield, K. J. Quantifying ruminal digestion of organic matter and neutral detergent fiber using the omasal sampling technique in cattle - a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 93:3203-3215, 2010.
- Kobayashi, K.; Salam, M. U. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agronomy Journal*, 92:345-352, 2000.
- Lazzarini, I.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Batista, E. D.; Rufino, L. M. A.; Reis, W. L.; Franco, M. O. Nutritional performance of cattle grazing during rainy season with nitrogen and/or starch supplementation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29:1120-1128, 2016.
- Lucas, H. L. *Relations between apparent digestibility and the composition of feed and feces*. 1.A quantitative theory. Raleigh: North Carolina State College, 1960.

- Lucas, H. L.; Smart, W. W. G. Chemical composition and the digestibility of forages. In: *PROCEEDINGS OF PASTURE AND CROP IMPROVEMENT CONFERENCE*, 16, Mississipi. Proceedings... p.23-26, 1959.
- Lund, P.; Weisbjerg, M. R.; Hvelpund, T. Digestible NDF is selectively retained in the rumen of dairy cows compared do indigestible NDF. *Animal Feed Science and Technology*, 137:1-17, 2007.
- Magalhães, K. A.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Diniz, L. L.; Pina, D. S.; Azavedo, J. A. G.; Araujo, F. L.; Marcondes, M. I.; Fonseca, M. A.; Tedeschi, L. O. Evaluation of indirect methods to estimate the nutritional value of tropical feeds for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 155:44-54, 2010.
- Mertens, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85:1217-1240, 2002.
- Mertens, D. R. Challenges in measuring insoluble dietary fiber. *Journal of Animal Science*, 81:3233-3249, 2003.
- Mertens, D. R.; Lofton, J. R. The effects of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, 63:1437-1446, 1980.
- Moore, D. *A estatística básica e sua prática*. Rio de Janeiro: LTC, 482p., 1995.
- Mould, F. L.; Ørskov, E. R.; Manns, O. Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen pH on cellulolysis *in vivo* and dry matter digestion of various roughages. *Animal Feed Science and Technology*, 10:15-30, 1983.
- National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th ed. Washington: Academic Press, 381p., 2001.
- Ørskov, E. R. *Nutrición proteica de los rumiantes*. Zaragoza: Editora Acribia, 178p., 1988.
- Palmonari, A.; Gallo, A.; Fustini, M.; Canestrari, G.; Masoero, F.; Sniffen, C. J.; Formigoni, A. Estimation of the indigestible fiber in different forage types. *Journal of Animal Science*, 94:248-254, 2016.
- Pittroff, W.; Kothmann, M. M. Regulation of intake and diet selection by herbivores. In: Jung, H. J.; Fahey Jr., G. C. (Eds.) *Nutritional ecology of herbivores*. Savoy: American Society of Animal Science, p.366-422, 1999.
- Rocha Jr., V. R.; Valadares Filho, S. C.; Borges, A. M.; Detmann, E.; Magalhães, K. A.; Valadares, R. F. D.; Gonçalves, L. C.; Cecon, P. R. Estimativa do valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC (2001). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32:480-490, 2003.
- Sampaio, C. B.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Valente, T. N. P.; Silva, R. R.; Souza, M. A.; Costa, V. A. C. Evaluation of models for prediction of the energy value of diets for growing cattle from chemical composition of feeds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:2110-2123, 2012.
- Silva, P. A.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Cecon, P. R.; Detmann, E.; Paixão, M. L. Valor energético do capim-elefante em diferentes idades de rebrota e estimativa da digestibilidade *in vivo* da fibra em detergente neutro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, 711-718, 2007.
- Silva, T. E.; Detmann, E.; Franco, M. O.; Palma, M. N. N.; Rocha, G. C. Evaluation of digestion procedures in Kjeldahl method to quantify total nitrogen in analyses applied to animal nutrition. *Acta Scientiarum – Animal Sciences*, 38:45-51, 2016.
- Spiegel, M. R. *Estatística*. São Paulo: McGraw-Hill, 580p., 1971.
- Thiex, N.; Richardson, C. R. Challenges in measuring moisture content of feeds. *Journal of Animal Science*, 81:3255-3266, 2003.
- Valadares Filho, S. C.; Machado, P. A. S.; Furtado, T.; Chizzotti, M. L.; Amaral, H. F. *Tabelas brasileiras de composição de alimentos para ruminantes*. Viçosa: Editora UFV, 473p., 2015.
- Valente, T. N. P.; Detmann, E.; Queiroz, A. C.; Valadares Filho, S. C.; Gomes, D. I.; Figueiras, J. F. Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:2565-2573, 2011.

Van Soest, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press, 476p., 1994.

Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. *Analysis of forages and fibrous foods*. Ithaca: Cornell University, 202p., 1985.

Waldo, D. R.; Smith, L. W.; Cox, E. L. Model of cellulose disappearance from the rumen. *Journal of Dairy Science*, 55:125-129, 1972.

Weiss, W. P.; Conrad, H. R.; St. Pierre, N. R. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forage and concentrates. *Animal Feed Science and Technology*, 39:95-110, 1992.

Predição da composição corporal e da carcaça de bovinos de corte

Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Polyana Pizzi Rotta, Marcos Inácio Marcondes, Fabyano Fonseca e Silva, Mário Fonseca Paulino, Mateus Pies Gionbelli, Mario Luiz Chizzotti

INTRODUÇÃO

As exigências nutricionais de bovinos dependem primeiramente do conhecimento da composição corporal dos animais. Os métodos utilizados para a predição da composição corporal podem ser classificados como diretos e indiretos. Os métodos diretos consistem na separação e dissecação de todos os componentes do corpo e posterior quantificação dos constituintes físicos e químicos de cada componente. Com isso, experimentos conduzidos a partir da utilização do método direto se tornam extremamente trabalhosos, demorados e de custo elevado devido à perda de pelo menos metade da carcaça dos animais e pelo grande número de pessoas e análises laboratoriais envolvidas no processo. Enquanto os métodos indiretos estão envolvidos na predição da composição corporal e da carcaça dos animais, a partir de parâmetros obtidos de maneira simples, sem necessidade de dissecação completa da carcaça dos animais.

Existem diversos métodos indiretos desenvolvidos e utilizados em diferentes escalas em todo o mundo. O método de estimativa da água e extrato etéreo (EE) do corpo calculados a partir da gravidade específica foi desenvolvido por Kraybill et al. (1952) e apresentou, na década de 90, certo interesse por pesquisadores no Brasil (Gonçalves et al., 1991; Peron et al., 1993; Lanna et al., 1995; Alleoni et al., 1997); contudo, esse método não resultou em estimativas que se adequassem às características apresentadas pelos animais criados nas condições brasileiras (Lanna et al., 1995; Alleoni et al., 1997). Outras técnicas,

tais como antipirina, água tritiada, N-acetil-amino-antipirina (Panaretto e Till, 1963), diluição de uréia (Preston e Kock, 1973) e ⁴⁰K (Clark et al., 1976) apresentaram pouca difusão no Brasil, devido principalmente à dificuldade de utilização dessas técnicas, elevado custo, falta de equipamentos e/ou mão de obra adequada. Nesse contexto, o método indireto mais utilizado no Brasil é o proposto por Hankins e Howe (1946), em que equações foram desenvolvidas para estimar a composição corporal de bovinos baseada na composição do corte compreendido entre a 9ª e 11ª costelas. Essa técnica apresenta grande difusão devido à facilidade, rapidez e baixo custo, além de alguns estudos terem apresentado bons resultados quando essa técnica foi empregada (Silva, 2001; Henrique et al., 2003; Paulino et al., 2005a).

USO DA SEÇÃO COMPREENDIDA ENTRE A 9ª E 11ª COSTELAS – SEÇÃO HH

Estudos da década de 20 (Trowbridge e Haigh, 1921; Trowbridge e Haigh, 1922; Moulton, 1923; Lush, 1926) avaliaram diversos cortes da carcaça a fim de estimar a composição física da mesma e concluíram que a região da costela apresentava as melhores relações com a composição da carcaça. Assim, com base nesses resultados, Hankins e Howe (1946) avaliaram o uso de cortes na carcaça de bovinos na predição da composição física e química da carcaça, a partir da técnica para obtenção de uma amostra da carcaça compreendida entre a 9ª e 11ª costelas (seção HH). A técnica utilizada por esses autores pode ser visualizada na Figura 5.1

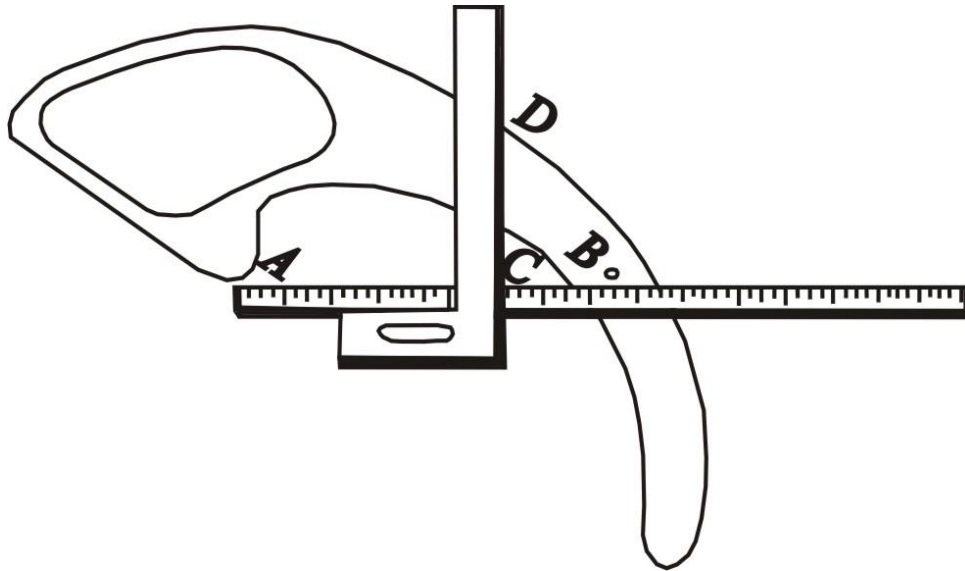


Figura 5.1 - Representação do método de corte da seção compreendida entre a 9ª e 11ª costelas desenvolvido por Hankins e Howe (1946)

O corte compreendido entre a 9ª e 11ª costelas pode ser obtido ao considerar uma carcaça pendurada pelo forame transversário localizado na pelve do animal, onde promove-se o corte entre a 11ª e 12ª costelas (Figura 5.1). A distância entre o primeiro e último ponto ósseo da costela é medida (distância entre os pontos A e B) e 61,5% dessa distância é calculada (ponto C). O corte da seção compreendida entre a 9ª e 11ª costelas deve ser realizado no ponto em que uma reta perpendicular à régua passa pelo ponto C (ponto D), conforme demonstrado na Figura 5.1.

COMPOSIÇÕES FÍSICA E QUÍMICA DA CARÇAÇA E QUÍMICA DO CORPO VAZIO

No estudo desenvolvido por Hankins e Howe (1946), equações de predição da composição física e química da carcaça foram estabelecidas. Porém, essas equações foram desenvolvidas a partir de dados provenientes de machos castrados e fêmeas. Assim, equações para cada classe sexual e uma equação geral que abrangeria ambas foram definidas (Tabela 5.1).

Essas equações têm sido amplamente utilizadas no exterior e no Brasil devido à facilidade de obtenção da seção HH. Alguns estudos (Cole et al., 1962; Powell e Huffman, 1973; Crouse e Dikeman, 1974; Nour e Thonney, 1994) objetivaram validar essas equações, porém, apresentaram resultados

distintos. Essas diferenças podem estar relacionadas ao fato de que as equações de predição da composição química foram estimadas a partir do tecido mole (*soft tissue*) e a composição dos ossos não foi levada em consideração.

Algumas pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de prever a composição química da carcaça de bovinos de corte a partir da composição química da seção HH (Peron et al., 1993; Jorge et al., 2000; Ferreira et al., 2001; Vêras et al., 2001), analisando quimicamente as amostras de tecidos muscular, adiposo e ósseo obtidas a partir da dissecação da seção HH e estimando a composição química da carcaça. Entretanto, a composição física da carcaça dos animais foi estimada a partir das equações desenvolvidas por Hankins e Howe (1946). Com isso, a composição química da carcaça foi estimada a partir dos dados das análises químicas obtidas nas amostras da seção HH, enquanto que a composição corporal foi determinada pela soma da composição da carcaça e dos componentes não carcaça. Como a carcaça é o principal componente quantitativo do corpo vazio, a maioria desses estudos concluiu que a composição química corporal poderia ser predita a partir da composição química da seção HH. Contudo, outros estudos (Silva, 2001; Paulino et al., 2005a; Costa e Silva et al., 2013) relataram que essa premissa poderia não estar correta, principalmente em relação à percentagem de EE da carcaça.

Tabela 5.1 - Equações de predição da composição física e química da carcaça a partir da composição do corte compreendido entre a 9ª e 11ª costelas propostas por Hankins e Howe (1946)

Item	Classe sexual	Equação ¹
Composição física da carcaça		
	Geral	% $G_{\text{carc}} = 3,06 + 0,82 \times \% G_{\text{HH}}$
Gordura na carcaça, %	Machos castrados	% $G_{\text{carc}} = 3,54 + 0,80 \times \% G_{\text{HH}}$
	Fêmeas	% $G_{\text{carc}} = 3,14 + 0,83 \times \% G_{\text{HH}}$
	Geral	% $M_{\text{carc}} = 15,56 + 0,81 \times \% M_{\text{HH}}$
Músculo na carcaça, %	Machos castrados	% $M_{\text{carc}} = 16,08 + 0,80 \times \% M_{\text{HH}}$
	Fêmeas	% $M_{\text{carc}} = 16,09 + 0,79 \times \% M_{\text{HH}}$
	Geral	% $O_{\text{carc}} = 4,30 + 0,61 \times \% O_{\text{HH}}$
Osso na carcaça, %	Machos castrados	% $O_{\text{carc}} = 5,52 + 0,57 \times \% O_{\text{HH}}$
	Fêmeas	% $O_{\text{carc}} = 6,88 + 0,44 \times \% O_{\text{HH}}$
Composição química da carcaça		
	Geral	% $EE_{\text{carc}} = 2,82 + 0,77 \times \% EE_{\text{HH}}$
Extrato etéreo, %	Machos castrados	% $EE_{\text{carc}} = 3,49 + 0,74 \times \% EE_{\text{HH}}$
	Fêmeas	% $EE_{\text{carc}} = 2,73 + 0,78 \times \% EE_{\text{HH}}$
	Geral	% $PB_{\text{carc}} = 5,98 + 0,66 \times \% PB_{\text{HH}}$
Proteína bruta, %	Machos castrados	% $PB_{\text{carc}} = 6,19 + 0,65 \times \% PB_{\text{HH}}$
	Fêmeas	% $PB_{\text{carc}} = 5,64 + 0,69 \times \% PB_{\text{HH}}$
	Geral	% $A_{\text{carc}} = 14,90 + 0,78 \times \% A_{\text{HH}}$
Água, %	Machos castrados	% $A_{\text{carc}} = 16,83 + 0,75 \times \% A_{\text{HH}}$
	Fêmeas	% $A_{\text{carc}} = 14,28 + 0,78 \times \% A_{\text{HH}}$

¹ G_{carc} = gordura na carcaça; G_{HH} = gordura na seção HH; M_{carc} = músculo na carcaça; M_{HH} = músculo na seção HH; O_{carc} = osso na carcaça; O_{HH} = osso na seção HH; EE_{carc} = extrato etéreo na carcaça; EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH; PB_{carc} = proteína bruta na carcaça; PB_{HH} = proteína bruta na seção HH; A_{carc} = água na carcaça; A_{HH} = água na seção HH.

Visando contornar esse problema, na primeira edição das Tabelas de Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos (Valadares Filho et al., 2006), equações foram desenvolvidas para prever a composição química da carcaça e do corpo vazio de animais zebuínos a partir da seção HH, em que foram utilizados dados provenientes apenas de estudos que avaliaram a composição química após a dissecação completa de meia-carcaça e a composição química da seção HH. O banco de dados foi composto por 66 animais provenientes de uma dissertação e de uma tese (Paulino, 2002; Paulino, 2006; Tabela 5.2).

Na primeira edição do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2006), sugeriu-se a completa dissecação e moagem da carcaça de bovinos utilizados em experimentos cujo objetivo fosse estimar as exigências

nutricionais. Além disso, essa técnica deveria ser utilizada até que um número adequado de informações fosse gerado e a partir de então, equações mais abrangentes e representativas fossem desenvolvidas. Nesse sentido, Marcondes et al. (2010; 2012) compuseram um novo banco de dados com 247 animais a partir de 6 experimentos conduzidos em confinamento. Os animais desse banco de dados foram da raça Nelore, sendo puros ou cruzados com Angus ou Simental. Com isso, esses autores avaliaram a inclusão de novas variáveis aos modelos, bem como os efeitos de classe sexual, estudo e raça e assim, equações de predição da composição física e química da carcaça bem como a composição química do corpo vazio foram desenvolvidas (Tabela 5.3).

Tabela 5.2 - Equações de predição da composição química da carcaça e do corpo vazio de zebuínos a partir da composição química do corte compreendido entre 9ª e 11ª costelas propostas pelo BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2006)

Item	Equação ¹	Erro padrão	Coefficiente de determinação
Composição química da carcaça			
Extrato etéreo	$\% EE_{\text{carc}} = 4,96 + 0,54 \times \% EE_{\text{HH}}$	2,22	0,80
Proteína	$\% PB_{\text{carc}} = 4,05 + 0,78 \times \% PB_{\text{HH}}$	1,00	0,72
Cinzas	$\% CZ_{\text{carc}} = 2,88 + 0,50 \times \% CZ_{\text{HH}}$	0,66	0,40
Água	$\% A_{\text{carc}} = 34,97 + 0,45 \times \% A_{\text{HH}}$	1,94	0,66
Composição química do corpo vazio			
Extrato etéreo	$\% EE_{\text{CVZ}} = 4,56 + 0,60 \times \% EE_{\text{HH}}$	2,37	0,81
Proteína	$\% PB_{\text{CVZ}} = 4,96 + 0,76 \times \% PB_{\text{HH}}$	0,90	0,75
Cinzas	$\% CZ_{\text{CVZ}} = 2,54 + 0,39 \times \% CZ_{\text{HH}}$	0,47	0,45
Água	$\% A_{\text{CVZ}} = 31,42 + 0,51 \times \% A_{\text{HH}}$	1,94	0,71

¹EE_{carc} = extrato etéreo na carcaça; PB_{carc} = proteína bruta na carcaça; CZ_{carc} = cinzas na carcaça; A_{carc} = água na carcaça; EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH; PB_{HH} = proteína bruta na seção HH; CZ_{HH} = cinzas na seção HH; A_{HH} = água na seção HH; EE_{CVZ} = extrato etéreo no corpo vazio; PB_{CVZ} = proteína bruta no corpo vazio; CZ_{CVZ} = cinzas no corpo vazio; A_{CVZ} = água no corpo vazio.

Tabela 5.3 - Descrição dos dados utilizados por Marcondes et al. (2010; 2012) para desenvolver as equações de predição da composição corporal de bovinos a partir do corte das 9-11ª costelas

Item	Média	DP ¹	Máximo	Mínimo
Peso de corpo vazio (PCVZ), kg	328	78,8	506	176
Peso de carcaça, kg	206	50,3	323	99,7
Órgãos + vísceras, % PCVZ	15,3	1,60	21,8	12,2
Gordura visceral, % PCVZ	4,60	1,60	8,80	1,40
Extrato etéreo no PCVZ, %	18,2	5,60	30,0	4,15
Proteína bruta no PCVZ, %	17,6	1,62	23,4	12,9
Água no PCVZ, %	58,5	4,27	71,4	49,1
Extrato etéreo na carcaça, %	17,9	5,20	29,8	3,87
Proteína bruta na carcaça, %	17,3	1,93	28,5	12,4
Água na carcaça, %	58,0	3,91	73,5	43,9
Tecido adiposo na carcaça, %	20,7	6,30	33,6	7,30
Músculo na carcaça, %	61,8	4,20	73,1	52,8
Ossos na carcaça, %	17,5	3,00	28,1	12,6
Extrato etéreo na seção HH, %	23,2	8,91	50,9	4,85
Proteína bruta na seção HH, %	16,7	2,07	24,0	11,4
Água na seção HH, %	52,8	6,53	67,6	29,3
Tecido adiposo na seção HH, %	28,1	9,00	50,6	7,00
Músculo na seção HH, %	53,4	7,20	71,4	25,0
Ossos na seção HH, %	18,7	3,90	32,7	11,4

¹DP = desvio padrão.

As equações propostas por Marcondes et al. (2012) já haviam sido utilizadas anteriormente na segunda edição das Tabelas Brasileiras de Exigências Nutricionais para

Zebuínos – BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2010) e podem ser visualizadas nas Tabelas 5.4 e 5.5.

Tabela 5.4 - Equações de predição da composição física e química da carcaça e química do corpo vazio de zebuínos e seus cruzados de corte a partir da composição química do corte compreendido entre 9^a a 11^a costelas propostas por Marcondes et al. (2010; 2012)

Variável	GG/Sexo ¹	Equação ²	R ²	RQME ³
Composição física da carcaça				
Gordura *		$\% G_{CARC} = a + 0,30 \times \% G_{HH} + b \times \% GV$	0,79	3,01
Músculo	Nelore	$\% M_{CARC} = 57,33 + 0,20 \times \% M_{HH} - 1,39 \times \% GV$	0,51	2,97
	Nelore × Simental	$\% M_{CARC} = 60,96 + 0,12 \times \% M_{HH} - 1,39 \times \% GV$		
Osso	Nelore	$\% O_{CARC} = 29,26 + 0,30 \times \% O_{HH} - 0,21 \times RC - 0,95 \times \% GV$	0,77	1,43
	Nelore × Simental	$\% O_{CARC} = 29,26 + 0,30 \times \% O_{HH} - 0,21 \times RC - 1,01 \times \% GV$		
Composição química da carcaça				
EE		$\% EE_{CARC} = 4,31 + 0,31 \times \% EE_{HH} + 1,37 \times \% GV$	0,83	2,13
PB		$\% PB_{CARC} = 17,92 + 0,60 \times \% PB_{HH} - 0,17 \times RC$	0,50	1,26
Água	Nelore	$\% A_{CARC} = 48,74 + 0,28 \times \% A_{HH} - 0,017 \times PCVZ$	0,67	2,27
	Nelore × Angus	$\% A_{CARC} = 38,06 + 0,48 \times \% A_{HH} - 0,017 \times PCVZ$		
	Nelore × Simental	$\% A_{CARC} = 46,69 + 0,32 \times \% A_{HH} - 0,017 \times PCVZ$		
Composição química do corpo vazio				
EE	Machos não castrados	$\% EE_{CVZ} = 2,75 + 0,33 \times \% EE_{HH} + 1,80 \times \% GV$	0,89	1,97
	Machos castrados**	$\% EE_{CVZ} = 1,84 + 0,33 \times \% EE_{HH} + 1,91 \times \% GV$		
	Fêmeas	$\% EE_{CVZ} = 4,77 + 0,33 \times \% EE_{HH} + 1,28 \times \% GV$		
PB		$\% PB_{CVZ} = 10,78 + 0,47 \times \% PB_{HH} - 0,21 \times \% GV$	0,59	1,03
Água	Machos não castrados	$\% A_{CVZ} = 38,31 + 0,33 \times \% A_{HH} - 1,09 \times \% GV + 0,50 \times \% OV$	0,82	1,96
	Machos castrados**	$\% A_{CVZ} = 45,67 + 0,25 \times \% A_{HH} - 1,89 \times \% GV + 0,50 \times \% OV$		
	Fêmeas	$\% A_{CVZ} = 31,61 + 0,47 \times \% A_{HH} - 1,06 \times \% GV + 0,50 \times \% OV$		

¹GG = grupo genético; ²G_{carc} = gordura na carcaça (%); G_{HH} = gordura na seção HH (%); M_{carc} = músculo na carcaça (%); M_{HH} = músculo na seção HH (%); O_{carc} = osso na carcaça (%); O_{HH} = osso na seção HH (%); EE_{carc} = extrato etéreo na carcaça (%); EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH (%); EE_{PCVZ} = extrato etéreo no corpo vazio (%); % GV = porcentagem de gordura visceral no corpo vazio; PB_{carc} = proteína bruta na carcaça (%), PB_{HH} = proteína bruta na seção HH (%); RC = rendimento de carcaça; PB_{PCVZ} = proteína bruta no corpo vazio (%); A_{carc} = água na carcaça (%); A_{HH} = água na seção HH (%); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); A_{PCVZ} = água no corpo vazio (%); % OV = porcentagem de órgãos e vísceras no corpo vazio; ³RQME = raiz do quadrado médio do erro de predição.

*Houve efeito de classe sexual para o intercepto, enquanto que houve interação entre classe sexual e raça para o coeficiente relacionado à GV e o desmembramento dessa interação pode ser visualizado na Tabela 5.5.

**As novas equações para machos castrados Nelore x Angus estão apresentadas na seção “Avaliação das equações propostas por Hankins e Howe (1946), BR-CORTE (2006) e BR-CORTE (2010)”.

Tabela 5.5 - Desmembramento do efeito de classe sexual sobre o intercepto e da interação entre classe sexual e grupo genético sobre o coeficiente relacionado à gordura visceral (GV)

Classe sexual	Grupo genético	Intercepto	Coeficiente relacionado à GV
Machos não castrados	Nelore	0,689	1,177
	Nelore × Angus		1,198
Machos castrados	Nelore	5,259	0,379
	Nelore × Angus		0,430
	Nelore × Simental		0,740
Fêmeas	Nelore	0,471	1,532
	Nelore × Angus		1,981
	Nelore × Simental		2,338

De acordo com Marcondes et al. (2012), a inclusão de novas variáveis aos modelos, ou efeito de grupo genético e classe sexual proporcionaram melhores estimativas. Dentre as variáveis utilizadas, a mais importante foi a inclusão da gordura visceral nas equações de predição, isso em virtude da gordura presente na carcaça ser o componente mais variável. A gordura visceral, juntamente com outras variáveis apresentadas, pode apresentar um melhor entendimento do padrão metabólico do animal. A variável gordura visceral foi constituída pela separação física da gordura do mesentério somada à gordura renal, pélvica e cardíaca (Valadares Filho et al., 2010). O efeito do nível alimentar sobre a composição corporal já foi extensivamente discutido na literatura (Prior et al., 1977; Ferrell et al., 1978; Nour et al., 1981; Williams et al., 1983; Nour e Thonney, 1987), assim, um indicador com essa importância, sendo representado pela gordura visceral nas equações, é de extrema importância para a aplicabilidade das equações.

AVALIAÇÃO DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS POR HANKINS E HOWE (1946), BR-CORTE (2006) E BR-CORTE (2010)

Composição corporal de zebuínos (machos não castrados) e cruzados de corte (machos não castrados e machos castrados)

No Brasil, poucos trabalhos foram conduzidos objetivando avaliar a aplicabilidade das equações propostas por Hankins e Howe (1946) para animais zebuínos e seus cruzados com raças taurinas.

Nesse sentido, algumas pesquisas (Lana et al., 1995; Silva, 2001; Paulino et al., 2005b; Costa e Silva et al., 2013; Fonseca et al., 2014) avaliaram se a seção compreendida entre a 9ª e 11ª costelas poderia estimar a composição da carcaça e do corpo vazio e concluíram que as equações desenvolvidas por Hankins e Howe (1946) não são aplicáveis a animais zebuínos e seus cruzados.

Com relação à composição física, Costa e Silva et al. (2013) concluíram que as equações propostas por Marcondes et al. (2012) estimam adequadamente a composição física de machos Nelore não castrados e não recomendaram o uso das equações propostas por Hankins e Howe (1946). Além disso, Fonseca et al. (2014) concluíram que as equações propostas por Marcondes et al. (2012) estimam adequadamente os tecidos muscular e adiposo de machos F1 Nelore × Angus não castrados e castrados, porém relatam que nenhuma das equações estimou corretamente a quantidade de tecido ósseo para os animais F1 Nelore × Angus.

Da mesma forma, alguns estudos (Prados, 2012; Costa e Silva et al., 2013; Neves, 2013; Fonseca et al., 2014) avaliaram se as equações propostas por Hankins e Howe (1946), Valadares Filho et al. (2006, BR-CORTE) e Valadares Filho et al. (2010, BR-CORTE) estimam corretamente a composição química da carcaça e do corpo vazio de zebuínos e seus cruzados. Costa e Silva et al. (2013) recomendaram que as equações propostas por Valadares Filho et al. (2006) e Hankins e Howe (1946) não deveriam ser utilizadas para estimar a composição da carcaça e do corpo vazio de machos Nelore não castrados, enquanto que as equações

propostas por Marcondes et al. (2012) apresentaram boas estimativas.

Fonseca et al. (2014) utilizaram dados de machos F1 Nelore × Angus não castrados e castrados e verificaram que as equações propostas por Marcondes et al. (2012) foram as que apresentaram melhores estimativas, exceto para água no corpo vazio. Como a água é calculada por diferença, esse componente está sujeito ao acúmulo de erros oriundos de outras análises (Costa e Silva et al., 2013). Além disso, Fonseca et al. (2014) observaram que a equação proposta por Marcondes et al. (2012) para o EE no corpo vazio foi acurada e precisa principalmente quando a classe sexual foi levada em consideração. Para machos não castrados, a equação estima corretamente e não requer ajuste, enquanto que para machos castrados, a equação apresentou problemas, principalmente, para animais com maior deposição de gordura.

Nesse sentido, a partir da falta de ajuste da equação proposta por Marcondes et al. (2012) para estimar EE e água no corpo vazio de machos castrados, um novo banco de dados foi elaborado utilizando os dados usados por Marcondes et al. (2012) e adicionando os dados gerados por Fonseca et al. (2014) para estimar EE enquanto que o mesmo banco de dados utilizado por Marcondes et al. (2012) foi utilizado para estimar água no corpo vazio.

Dessa forma, as estimativas de EE e água no corpo vazio de machos castrados foram reajustadas, utilizando o procedimento *cross validation* (Duchesne e MacGregor, 2001). Para o caso do EE no corpo vazio, 20% dos dados de cada experimento foram aleatoriamente separados para validação, enquanto que para água, um experimento independente foi utilizado para a validação das equações (Tabela 5.6).

$$\% EE_{CVZ} = 2,797 + 0,289 \times \% EE_{HH} + 2,056 \times \% GV \quad (R^2 = 0,84; RQME = 2,51)$$

$$\% AC_{CVZ} = 30,77 + 0,48 \times \% A_{HH} - 1,07 \times \% GV + 0,50 \times \% OV \quad (R^2 = 0,88; RQME = 2,42)$$

Portanto, verifica-se que a inclusão de novas variáveis, como gordura visceral (GV) e órgãos e vísceras (OV) melhoraram as

estimativas da composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos zebuínos e seus cruzados, o que permitirá aos novos experimentos, a utilização das equações aqui propostas ao invés de promover a dissecação completa de meia-carcaça. O uso dessas equações é recomendado quando se necessita estimar a composição do corpo vazio e, como resultado, haverá decréscimo nos custos e na mão de obra de experimentos conduzidos quando o objetivo for estimar as exigências nutricionais de bovinos de corte (Costa e Silva et al., 2013).

Composição corporal de zebuínos (machos castrados e fêmeas)

Não foram encontrados estudos que avaliaram a acurácia e precisão das equações preconizadas por Marcondes et al. (2012) para machos castrados e fêmeas zebuínos. Com isso, dados foram coletados da tese de Costa e Silva (2015) em que 32 fêmeas Nelore e 18 machos castrados Nelore foram utilizados a fim de averiguar se as equações estimam corretamente a composição química da carcaça e do corpo vazio (Tabela 5.6).

As comparações entre as equações foram realizadas do mesmo modo utilizado por Costa e Silva et al. (2013) e verificou-se que as equações propostas por Hankins e Howe (1946), Valadares Filho et al. (2006) e Marcondes et al. (2012) estimam corretamente a quantidade de proteína bruta (PB) na carcaça, enquanto apenas as equações sugeridas por Marcondes et al. (2012) estimam corretamente as quantidades de EE e água na carcaça (Tabela 5.7).

Em relação aos componentes do corpo vazio, apenas as equações propostas por Marcondes et al. (2012), e apresentadas inicialmente no BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2010), estimaram corretamente todos os componentes, enquanto que as equações sugeridas por Valadares Filho et al. (2006) apresentaram problemas com o intercepto e/ou a inclinação e não são recomendadas para estimar as composições corporais de machos castrados e fêmeas zebuínos (Tabela 5.8).

Tabela 5.6 - Descrição dos dados utilizados para validar as equações de predição da composição corporal de machos castrados ($n = 18$) e fêmeas ($n = 32$) Nelore

Item	Média	DP ¹	Máximo	Mínimo
Machos castrados				
Peso de corpo vazio, kg	168	39,5	260	109
Peso de carcaça, kg	101	24,5	160	65,4
Órgãos + vísceras, % PCVZ	14,1	1,56	17,5	11,7
Gordura visceral, % PCVZ	3,02	0,93	4,63	1,73
Extrato etéreo no PCVZ, %	9,83	1,60	12,7	7,52
Proteína bruta no PCVZ, %	18,7	0,78	20,0	17,0
Água no PCVZ, %	67,7	1,16	69,6	65,5
Extrato etéreo na carcaça, %	10,6	1,55	13,4	7,55
Proteína bruta na carcaça, %	18,5	0,94	20,3	16,9
Água na carcaça, %	66,2	1,61	68,8	62,0
Extrato etéreo na seção HH, %	12,2	2,69	17,4	6,06
Proteína bruta na seção HH, %	18,9	1,77	21,8	15,8
Água na seção HH, %	64,1	1,52	65,8	58,8
Fêmeas				
Peso de corpo vazio, kg	190	40,4	266	104
Peso de carcaça, kg	116	24,8	162	62,6
Órgãos + vísceras, % PCVZ	14,8	0,99	16,81	13,1
Gordura visceral, % PCVZ	3,93	0,88	5,83	1,65
Extrato etéreo no PCVZ, %	13,1	2,38	18,9	7,45
Proteína bruta no PCVZ, %	18,5	0,75	20,4	17,1
Água no PCVZ, %	64,9	2,49	70,0	60,4
Extrato etéreo na carcaça, %	13,0	2,36	18,1	8,23
Proteína bruta na carcaça, %	18,5	0,90	21,3	16,6
Água na carcaça, %	64,3	2,59	69,0	59,5
Extrato etéreo na seção HH, %	15,2	2,91	20,4	9,12
Proteína bruta na seção HH, %	17,5	1,52	20,1	14,3
Água na seção HH, %	62,7	1,73	67,1	59,9

¹DP = desvio padrão.

Tabela 5.7 - Médias (kg) e estatística descritiva da relação entre os valores observados e preditos da composição química da carcaça de machos castrados e fêmeas Nelore em crescimento

Item	Proteína bruta				Extrato etéreo				Água			
	Obs ¹	HH	V06	V10	Obs	HH	V06	V10	Obs	HH	V06	V10
Média	19,9	19,3	19,4	19,7	14,0	15,7	14,2	15,5	71,1	70,0	69,6	69,4
Desvio-padrão	4,36	3,79	3,75	3,78	5,61	5,47	4,57	5,41	14,9	15,43	15,6	15,0
Máximo	28,7	27,4	27,5	28,1	29,4	25,0	22,1	27,8	104	103	101	99,3
Mínimo	11,9	11,8	11,8	12,0	4,94	6,19	6,28	5,93	42,9	41,7	40,8	41,2
r	-	0,94	0,92	0,95	-	0,92	0,93	0,94	-	0,99	0,99	0,99
CCC ²	-	0,92	0,90	0,94	-	0,87	0,91	0,90	-	0,99	0,98	0,98
Regressão												
Intercepto												
Estimativa	-	-0,96	-0,92	-1,75	-	-0,84	-2,29	-1,09	-	4,25	5,26	2,67
Erro padrão	-	1,17	1,33	1,05	-	0,97	0,96	0,86	-	1,47	1,39	1,43
P valor ³	-	0,42	0,49	0,10	-	0,39	0,02	0,21	-	0,006	0,0004	0,07
Inclinação												
Estimativa	-	1,08	1,07	1,10	-	0,94	1,14	0,97	-	0,96	0,95	0,99
Erro padrão	-	0,06	0,07	0,05	-	0,06	0,06	0,05	-	0,02	0,02	0,02
P valor ⁴	-	0,19	0,29	0,07	-	0,32	0,03	0,58	-	0,04	0,008	0,49
EPM ⁵	-	2,67	3,11	1,88	-	8,02	4,54	6,19	-	6,41	7,26	7,09
Vício médio	-	0,34	0,23	0,03	-	3,11	0,07	2,38	-	1,33	2,29	2,88
Erro sistemático	-	0,09	0,07	0,13	-	0,10	0,42	0,02	-	0,46	0,69	0,04
Erro aleatório	-	2,24	2,80	1,71	-	4,81	4,05	3,79	-	4,62	4,27	4,17

¹Obs – valores observados; HH – valores preditos pelo método do Hankins and Howe (1946); V06 – valores preditos pelo método de Valadares Filho et al. (2006); V10 – valores preditos pelo método de Valadares Filho et al. (2010).

²CCC – coeficiente de correlação e concordância; ³H₀: β₀=0. ⁴H₀: β₁=1. ⁵EPM = erro padrão da média.

Tabela 5.8 - Médias (kg) e estatística descritiva da relação entre os valores observados e preditos da composição química do corpo vazio de machos castrados e fêmeas Nelore em crescimento

Item	Proteína bruta			Extrato etéreo			Água		
	Obs ¹	V06	V10	Obs	V06	V10	Obs	V06	V10
Média	33,7	33,7	33,4	22,1	24,0	25,2	117	113	113
Desvio-padrão	6,10	5,49	5,50	8,73	7,80	9,06	23,1	23,8	23,2
Máximo	46,8	45,9	45,7	41,6	37,5	42,6	171	165	158
Mínimo	19,9	20,3	20,2	7,77	10,4	8,93	72,9	68,4	70,1
r	-	0,95	0,97	-	0,94	0,96	-	0,99	0,98
CCC ²	-	0,94	0,96	-	0,91	0,91	-	0,98	0,97
Regressão									
Intercepto									
Estimativa	-	-1,79	-2,24	-	-3,14	-1,34	-	8,25	6,69
Erro padrão	-	1,94	1,47	-	1,41	1,02	-	2,19	3,38
P valor ³	-	0,36	0,14	-	0,03	0,19	-	0,001	0,053
Inclinação									
Estimativa	-	1,05	1,08	-	1,05	0,93	-	0,96	0,98
Erro padrão	-	0,06	0,04	-	0,06	0,04	-	0,02	0,03
P valor ⁴	-	0,35	0,09	-	0,36	0,06	-	0,06	0,40
EPM ⁵	-	3,79	2,43	-	12,6	16,0	-	26,8	35,7
Vício médio	-	0,0002	0,08	-	3,65	10,1	-	17,1	15,0
Erro sistemático	-	0,08	0,17	-	0,16	0,42	-	0,74	0,33
Erro aleatório	-	3,70	2,17	-	8,75	5,44	-	9,04	20,4

¹Obs – valores observados; V06 – valores preditos pelo método de Valadares Filho et al. (2006); V10 – valores preditos pelo método de Valadares Filho et al. (2010). ²CCC – coeficiente de correlação e concordância; ³H₀: $\beta_0=0$. ⁴H₀: $\beta_1=1$. ⁵EPM = erro padrão da média.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CARÇAÇA E DO CORPO VAZIO DE CRUZADOS DE LEITE

As equações geradas para estimar composição química da carcaça e do corpo vazio na última edição do BR-CORTE foram obtidas a partir do banco de dados que continha animais zebuínos (predominantemente da raça Nelore) e animais cruzados de corte (Nelore cruzados com raças de corte). No intuito de verificar se essas equações seriam aplicáveis a bovinos cruzados de leite, Prados (2012), utilizando bovinos ¼ Holandês × ¾ Zebu, verificou que a PB do corpo vazio pode ser estimada adequadamente pela equação proposta por Valadares Filho et al. (2010) enquanto que o EE e a água do corpo vazio foram estimados corretamente pela equação proposta por Valadares Filho et al. (2006). Por outro lado, Neves (2013), avaliando machos Holandês × Zebu não castrados, verificou que as equações propostas por Hankins e Howe (1946) apresentaram as melhores estimativas para PB na carcaça e PB e água no corpo vazio. Ainda, o autor concluiu que as

equações propostas por Marcondes et al. (2012) não foram eficazes para estimar a composição química da carcaça e do corpo vazio de machos Holandês × Zebu não castrados.

Com isso, observa-se que à medida que o grau de sangue Holandês é incluído nos cruzamentos, as equações de predição da composição corporal e do corpo vazio apresentam problemas de ajuste. Possivelmente, isso se deve ao banco de dados utilizado por Marcondes et al. (2012) ser composto por animais zebuínos (Nelore) e seus cruzamentos com raças de corte, como Angus e Simental em sua maioria, ou seja, raças que foram selecionadas para a produção de carne. Portanto, houve a necessidade do desenvolvimento de novas equações de predição para a composição corporal de bovinos cruzados de leite.

Um banco de dados utilizando animais cruzados de leite foi construído a partir de 5 experimentos (Prados, 2012; Neves, 2013; Zanetti, 2014; Rodrigues, 2014; Silva, 2015). Esse banco de dados continha 180 animais, sendo 80 machos não castrados, 56 machos castrados e 44 fêmeas (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 - Descrição dos dados usados para gerar as equações de predição da composição corporal de bovinos Cruzados de leite a partir da composição do corte entre a 9ª e 11ª costelas

Item	Média	DP ¹	Máximo	Mínimo
Peso de corpo vazio, kg	311	82,5	529	118
Peso de carcaça, kg	188	51,8	345	68,3
Peso de componentes não carcaça, kg	117	29,4	224	50,0
Peso de órgãos e vísceras, kg	59,3	21,0	124	20,9
Peso de gordura visceral, kg	16,4	7,59	46,2	2,25
Proteína bruta na seção HH, %	17,2	2,22	25,5	8,70
Extrato etéreo na seção HH, %	19,8	6,54	36,5	3,01
Matéria mineral na seção HH, %	5,24	2,36	10,9	0,68
Água na seção HH, %	57,4	6,13	74,3	42,3
Proteína bruta na carcaça, %	17,3	1,96	21,7	12,1
Extrato etéreo na carcaça, %	16,5	4,24	30,6	7,47
Matéria mineral na carcaça, %	4,43	1,27	7,90	1,60
Água na carcaça, %	61,7	3,45	69,6	54,6
Proteína bruta no corpo vazio, %	17,8	1,63	21,5	14,7
Extrato etéreo no corpo vazio, %	16,1	4,27	28,0	4,84
Matéria mineral no corpo vazio, %	3,90	1,11	6,47	1,51
Água no corpo vazio, %	62,0	3,75	71,8	52,7

¹DP = desvio padrão.

A partir desse banco de dados, as equações de predição da composição corporal de bovinos Cruzados de leite puderam ser estabelecidas (Tabela 5.10). A partir do procedimento *cross validation* (Duchesne e MacGregor, 2001), o efeito de animal foi considerado na análise estatística, o que proporcionou a geração de apenas uma equação para cada componente avaliado (PB,

EE e água). As equações apresentaram uma boa precisão, porém, ressalta-se que essas equações ainda não foram validadas com um banco de dados independente. Contudo, recomenda-se o uso dessas equações por considerar que o procedimento *cross validation* é o mais adequado quando há um pequeno número de dados.

Tabela 5.10 - Equações de predição da composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos Holandês × Zebu

Item	Equações ¹	R ²
Composição química da carcaça		
Extrato etéreo	% EE _{CARC} = 4,54 + 0,48 × % EE _{HH} + 0,12 × % OV	0,66
Proteína bruta	% PB _{CARC} = 18,38 + 0,16 × % PB _{HH} - 0,20 × % OV	0,53
Água	% A _{CARC} = 55,67 - 0,21 × % A _{HH} - 0,021 × PCVZ	0,40
Composição química do corpo vazio		
Extrato etéreo	% EE _{CVZ} = 3,53 + 0,34 × % EE _{HH} + 0,80 × % GV + 0,10 × % OV	0,73
Proteína bruta	% PB _{CVZ} = 19,92 + 0,086 × % PB _{HH} - 0,19 × % OV	0,58
Água	% A _{CVZ} = 53,02 + 0,17 × % A _{HH} - 1,28 × % GV + 0,27 × % OV	0,47

¹EE_{carc} = extrato etéreo na carcaça; EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH; OV = porcentagem de órgãos e vísceras no corpo vazio; PB_{CARC} = proteína bruta na carcaça; GV = porcentagem de gordura visceral no corpo vazio; PB_{HH} = proteína bruta na seção HH; A_{CARC} = água na carcaça; A_{HH} = água na seção HH; PCVZ = peso de corpo vazio; EE_{CVZ} = extrato etéreo no corpo vazio; PB_{CVZ} = proteína bruta no corpo vazio; A_{CVZ} = água no corpo vazio.

PREDIÇÃO DA COMPOSIÇÃO MINERAL DO CORPO

Na última edição do BR-CORTE, a predição da composição mineral do corpo foi baseada nas equações propostas por Marcondes et al. (2009) em que a composição da seção compreendida entre a 9ª e 11ª

costelas poderia ser utilizada como um possível estimador da composição de macrominerais (cálcio, fósforo, sódio, potássio e magnésio) do PCVZ a partir de dados de dois estudos (Paulino, 2002; Marcondes, 2007; Tabela 5.11).

Tabela 5.11 - Equações de predição da composição de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) no corpo vazio para bovinos de corte a partir da composição mineral do corte entre a 9ª e 11ª costelas (Adaptada de Marcondes et al., 2009)

Item	Equação ¹	r ²
Cálcio	% Ca _{CVZ} = 0,7334 + 0,5029 × % Ca _{HH}	0,71
Fósforo	% P _{CVZ} = 0,3822 + 0,4241 × % P _{HH}	0,70
Magnésio	% Mg _{CVZ} = 0,0096 + 0,6260 × % Mg _{HH}	0,73
Sódio	% Na _{CVZ} = 0,1111 + 0,2886 × % Na _{HH}	0,31
Potássio	% K _{CVZ} = 0,0357 + 0,6732 × % K _{HH}	0,60

¹Ca_{CVZ} = cálcio no corpo vazio; Ca_{HH} = cálcio na seção HH; P_{CVZ} = fósforo no corpo vazio; P_{HH} = fósforo na seção HH; Mg_{CVZ} = magnésio no corpo vazio; Mg_{HH} = magnésio na seção HH; Na_{CVZ} = sódio no corpo vazio; Na_{HH} = sódio na seção HH; K_{CVZ} = potássio no corpo vazio; K_{HH} = potássio na seção HH.

Marcondes et al. (2009) sugeriram que existia uma boa correlação entre os componentes minerais encontrados na seção HH e no corpo vazio, sustentado pelos altos valores para r² (Tabela 5.11). Contudo, a partir dos dados provenientes de Costa e Silva

(2011), houve a avaliação dessas equações, observando-se que as equações geradas por Marcondes et al (2009) não estimaram corretamente a composição corporal de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos zebuínos (Tabela 5.12).

Tabela 5.12 - Médias (kg) e estatística descritiva da relação entre os valores observados e preditos da composição mineral do corpo vazio de machos Nelore não castrados

Item	Cálcio		Fósforo		Magnésio		Sódio		Potássio	
	Obs ¹	Predito	Obs	Predito	Obs	Predito	Obs	Predito	Obs	Predito
Média	4,37	3,00	2,83	2,91	0,12	0,14	0,42	0,39	0,60	0,41
Desvio-padrão	1,03	0,67	0,60	0,80	0,03	0,03	0,09	0,12	0,16	0,13
Máximo	7,15	4,66	4,25	5,47	0,17	0,20	0,61	0,68	0,90	0,71
Mínimo	2,24	1,93	1,91	1,77	0,06	0,08	0,28	0,18	0,33	0,22
r	-	0,76	-	0,67	-	0,75	-	0,68	-	0,85
CCC ²	-	0,31	-	0,64	-	0,62	-	0,62	-	0,46
Regressão										
Intercepto										
Estimativa	-	0,85	-	1,35	-	0,03	-	0,22	-	0,19
Erro padrão	-	0,52	-	0,28	-	0,01	-	0,04	-	0,04
P valor ³	-	0,11	-	< 0,001	-	0,03	-	< 0,001	-	< 0,001
Inclinação										
Estimativa	-	1,17	-	0,51	-	0,63	-	0,53	-	1,01
Erro padrão	-	0,17	-	0,09	-	0,09	-	0,10	-	0,10
P valor ⁴	-	0,32	-	< 0,001	-	< 0,001	-	< 0,001	-	0,92
EPM ⁵	-	2,31	-	0,35	-	0,0009	-	0,009	-	0,043
Vício	-	1,86	-	0,01	-	0,0004	-	0,001	-	0,037
MaF	-	0,01	-	0,15	-	0,0000	-	0,003	-	0,000
MoF	-	0,44	-	0,19	-	0,0005	-	0,005	-	0,007

¹Obs – valores observados; ²CCC – coeficiente de correlação e concordância; ³H₀: β₀=0. ⁴H₀: β₁=1. ⁵EPM = erro padrão da média; Vício = vício do modelo; MaF = magnitude de flutuação aleatória; MoF = modelo de flutuação aleatória.

Devido ao não ajuste das equações, um novo banco de dados foi desenvolvido a partir dos dois estudos utilizados por Marcondes et al. (2009) adicionado dos dados da tese de Costa e Silva (2015; Tabela 5.13) para animais zebuínos. Além disso, foram utilizados dados de dois estudos (Marcondes,

2010; Souza, 2010) para o desenvolvimento de equações que estimaram a composição mineral para cruzados de corte e dados de dois estudos (Rodrigues, 2014; Zanetti, 2014) para estimar a composição mineral para cruzados de leite.

Tabela 5.13 - Descrição dos dados usados para gerar as equações de predição da composição de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) do corpo vazio de zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite

Item	Média	DP ¹	Máximo	Mínimo
Zebuínos (n=133)				
Peso de corpo vazio, kg	272	102	549	104
Matéria mineral na seção HH, %	5,56	1,63	10,3	2,74
Cálcio no corpo vazio, %	2,23	0,90	4,75	0,89
Fósforo no corpo vazio, %	0,77	0,18	1,26	0,41
Magnésio no corpo vazio, %	0,04	0,01	0,08	0,02
Sódio no corpo vazio, %	0,12	0,02	0,18	0,08
Potássio no corpo vazio, %	0,17	0,02	0,26	0,10
Cruzados de corte (n=117)				
Peso de corpo vazio, kg	344	82,6	506	192
Matéria mineral na seção HH, %	6,29	1,29	9,68	1,79
Cálcio no corpo vazio, %	1,51	0,29	3,19	1,04
Fósforo no corpo vazio, %	0,72	0,12	0,98	0,48
Magnésio no corpo vazio, %	0,04	0,01	0,07	0,03
Sódio no corpo vazio, %	0,13	0,03	0,21	0,08
Potássio no corpo vazio, %	0,21	0,03	0,41	0,14
Cruzados de leite (n=80)				
Peso de corpo vazio, kg	318	67,9	510	195
Matéria mineral na seção HH, %	3,90	2,55	8,06	0,68
Cálcio no corpo vazio, %	1,32	0,25	1,77	0,59
Fósforo no corpo vazio, %	0,71	0,18	1,10	0,20
Magnésio no corpo vazio, %	0,03	0,01	0,05	0,02
Sódio no corpo vazio, %	0,14	0,02	0,17	0,10
Potássio no corpo vazio, %	0,20	0,05	0,28	0,11

Com isso, a meta-análise foi o procedimento utilizado para avaliar composição corporal de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite e as equações geradas podem ser visualizadas na Tabela 5.14.

Ao analisar as equações, percebe-se que as estimativas do coeficiente de determinação (r^2) para a maioria dos minerais em função de cada grupo genético apresentaram valores altos. No entanto, as

estimativas de r^2 foram próximas a zero para fósforo e potássio de zebuínos, para magnésio e potássio de cruzados de corte e para magnésio e sódio de cruzados de leite, demonstrou que existe uma tendência de constância desses minerais no corpo. Contudo, ressalta-se que essas equações ainda necessitam de um processo de validação, devendo-se avaliar o efeito de grupo genético.

Tabela 5.14 - Equações de predição da composição de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) no corpo vazio para zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite

Item	Equação ¹	r ²
Zebuínos		
Cálcio	% Ca _{CVZ} = 1,4557 + 0,2362 × % CZ _{HH} - 0,00223 × PCVZ	0,80
Fósforo	% P _{CVZ} = 1,0068 - 0,00099 × PCVZ	0,10
Magnésio	% Mg _{CVZ} = 0,02859 + 0,001721 × % CZ _{HH} - 0,00001 × PCVZ	0,54
Sódio	% Na _{CVZ} = 0,1213 + 0,002116 × % CZ _{HH} - 0,00002 × PCVZ	0,51
Potássio	% K _{CVZ} = 0,1942 + 0,000833 × % CZ _{HH} - 0,0001 × PCVZ	0,22
Cruzados de corte		
Cálcio	% Ca _{CVZ} = 1,7028 + 0,04638 × % CZ _{HH} - 0,00142 × PCVZ	0,52
Fósforo	% P _{CVZ} = 0,4619 - 0,0404 × % CZ _{HH}	0,49
Magnésio	% Mg _{CVZ} = 0,02418 + 0,00196 × % CZ _{HH}	0,34
Sódio	% Na _{CVZ} = 0,1205 + 0,002747 × % CZ _{HH} - 0,00002 × PCVZ	0,56
Potássio	% K _{CVZ} = 0,1636 + 0,007102 × % CZ _{HH}	0,35
Cruzados de leite		
Cálcio	% Ca _{CVZ} = 1,2445 + 0,0506 × % CZ _{HH} - 0,00035 × PCVZ	0,58
Fósforo	% P _{CVZ} = 0,7279 + 0,0333 × % CZ _{HH} - 0,00048 × PCVZ	0,58
Magnésio	% Mg _{CVZ} = 0,0406 - 0,00106 × % CZ _{HH}	0,06
Sódio	% Na _{CVZ} = 0,1454 + 0,00064 × % CZ _{HH}	0,05
Potássio	% K _{CVZ} = 0,1411 + 0,01478 × % CZ _{HH}	0,79

¹Ca_{CVZ} = cálcio no corpo vazio (%); CZ_{HH} = cinzas na seção HH (%); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); P_{CVZ} = fósforo no corpo vazio (%); P_{HH} = fósforo na seção HH (%); Mg_{CVZ} = magnésio no corpo vazio (%); Na_{CVZ} = sódio no corpo vazio (%); K_{CVZ} = potássio no corpo vazio (%).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS COMPONENTES NÃO CARÇAÇA

Tomando como base as equações propostas na última edição do BR-CORTE (Tabela 5.4), as equações de predição da composição química do corpo vazio apresentaram um melhor ajuste, quando comparadas às equações de predição da composição química da carcaça utilizando-se a composição química da seção HH como estimador. Porém, caso o pesquisador tome a decisão em utilizar as equações de predição da composição química da carcaça, ou ainda caso opte por obter a composição real da carcaça pela sua dissecação, ainda assim seria necessário determinar a composição de outras partes do corpo (sangue, couro, pés, cabeça, órgãos e vísceras) para se obter, ao final, a composição química do corpo vazio.

A determinação da composição química dos componentes não carcaça implica, necessariamente, em maior tempo, custo e trabalho, uma vez que são ao menos 6 amostras (sangue, couro, cabeça, membros, órgãos e vísceras) por animal que devem ser

analisadas em laboratório. Considerando ainda que o rendimento de carcaça em relação ao PCVZ seria em torno de 60 a 65 % (Costa et al., 2005; Missio et al., 2009), todos os componentes não carcaça, em conjunto, representariam de 35 a 40 % do PCVZ. Assim, nota-se a importância do conhecimento da composição química dos componentes não carcaça devido à sua representatividade na composição do corpo vazio.

Dessa forma, Costa e Silva et al. (2012) avaliaram a possibilidade em se estimar as composições químicas do sangue, couro, pés + cabeça e órgãos + vísceras de forma a diminuir o trabalho e o custo experimental. Esses autores reuniram um banco de dados de 335 animais para realizar as avaliações, controlando o efeito de estudo, e testando os efeitos de grupo genético ou classe sexual sobre a composição desses componentes não carcaça. Para que a composição química de cada um dos componentes não carcaça (sangue, couro, membros, cabeça e órgãos + vísceras) fosse

estimada, um ajuste de equações para cada um dos componentes seria necessário. No entanto, esse procedimento produziria uma grande quantidade de equações, considerando que fossem propostos modelos para estimar EE, PB, água e minerais, o que tornaria seu uso confuso e pouco prático. Dessa forma, com o intuito de simplificar o processo, os componentes não carcaça foram agrupados (cabeça + membros, couro + sangue e órgãos + vísceras) de forma a diminuir o número de equações e facilitar a estimação dos mesmos.

No entanto, Costa e Silva et al. (2013) avaliaram a acurácia das equações de predição dos componentes não carcaça, descritas no BR-CORTE (2010), e verificaram que, para couro + sangue, apenas PB foi estimada corretamente, enquanto que as equações para estimar EE e água apresentaram problemas de reproducibilidade e precisão. Com relação à cabeça + membros, nenhuma das equações estimou corretamente a composição química. Para órgãos + vísceras, apenas EE foi corretamente estimado. Assim, esses autores concluíram que novas equações deveriam ser

desenvolvidas, ou ainda, que ao invés de dividir os componentes não carcaça em três grupos (couro + sangue, cabeça + membros e órgãos + vísceras), a composição desses componentes deveria ser analisada conjuntamente, gerando apenas uma equação para cada constituinte, considerando assim, todos os componentes não carcaça como uma amostra única. Nesse sentido, um banco de dados foi criado a partir da composição dos componentes não carcaça de 19 dissertações e/ou teses: Moraes (2006), Souza (2009), Marcondes (2007), Marcondes (2010), Chizzotti (2007), Porto (2009), Gionbelli (2010), Paixão (2009), Paulino (2006), Machado (2009), Costa e Silva (2011), Costa e Silva (2015), Valente (2013), Fonseca (2014), Silva (2015), Prados (2012), Rodrigues (2013), Zanetti (2014) e Neves (2014). O banco de dados foi composto por 505 animais sendo 231 zebuínos, 94 cruzados de corte e 180 cruzados de leite, sendo 248 machos não castrados, 134 machos castrados e 123 fêmeas (Tabela 5.15).

Tabela 5.15 - Descrição dos dados utilizados para gerar as novas equações de predição da composição química dos componentes não carcaça de zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite (n = 505)

Item ¹	Média	DP ²	Máximo	Mínimo
Peso de corpo vazio, kg	302	92,2	549	80,7
Peso dos componentes não carcaça (NC), kg	112	34,0	224	31,6
Proteína bruta no NC, kg	20,7	7,42	53,3	4,42
Extrato etéreo no NC, kg	20,4	12,5	69,9	1,89
Água no NC, kg	65,4	17,5	134	22,5
Cálcio no NC, kg	0,80	0,62	3,57	0,04
Fósforo no NC, kg	0,31	0,26	1,76	0,02
Magnésio no NC, g	16,5	8,28	50,0	2,37
Sódio no NC, g	149	79,3	426	36,8
Potássio no NC, g	134	62,8	324	31,4

¹NC = não carcaça; ²DP = desvio padrão.

A partir dos dados acima, equações de predição da composição química dos componentes não carcaça foram geradas a partir da meta-análise usando o procedimento PROC NLMIXED em que as variáveis dependentes foram regredidas em função do PCVZ. Além disso, os efeitos de classe sexual e grupo genético foram testados sendo que apenas a classe sexual foi significativa para

todos os componentes, menos fósforo e magnésio (Tabelas 5.16 e 5.17).

Contudo, ressalta-se que essas equações devem ser submetidas à validação a fim de verificar se estimam corretamente a composição química dos componentes não carcaça para animais zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite das três classes sexuais.

Tabela 5.16 - Equações de predição da composição química dos componentes não carcaça para zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite em função da classe sexual

Item	Classe sexual	Equações
Proteína bruta	Machos não castrados	$PB_{NC} = 0,1675 \times PCVZ^{0,8434}$
	Machos castrados	$PB_{NC} = 0,5263 \times PCVZ^{0,6452}$
	Fêmeas	$PB_{NC} = 1,2411 \times PCVZ^{0,4921}$
Extrato etéreo	Machos não castrados	$EE_{NC} = 3,7171 \times \exp^{(0,004936 \times PCVZ)}$
	Machos castrados	$EE_{NC} = 4,8911 \times \exp^{(0,004671 \times PCVZ)}$
	Fêmeas	$EE_{NC} = 3,5533 \times \exp^{(0,006199 \times PCVZ)}$
Água	Machos não castrados	$A_{NC} = 1,5768 \times PCVZ^{0,6547}$
	Machos castrados	$A_{NC} = 3,1486 \times PCVZ^{0,5242}$
	Fêmeas	$A_{NC} = 7,3003 \times PCVZ^{0,3865}$

¹PB_{NC} = proteína bruta nos componentes não carcaça (kg); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); EE_{NC} = extrato etéreo nos componentes não carcaça (kg); A_{NC} = água nos componentes não carcaça (kg).

Tabela 5.17 - Equações de predição da composição de macrominerais dos componentes não carcaça para zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite em função da classe sexual

Item	Classe sexual	Equações
Cálcio	Machos não castrados	$Ca_{NC} = 43,71 \times PCVZ^{0,3510}$
	Machos castrados	$Ca_{NC} = 5,176 \times PCVZ^{0,8772}$
	Fêmeas	$Ca_{NC} = 69,36 \times PCVZ^{0,4342}$
Fósforo		$P_{NC} = 2,262 \times PCVZ^{0,4522}$
Magnésio		$Mg_{NC} = 10,99 \times PCVZ^{0,1736}$
Sódio	Machos não castrados	$Na_{NC} = 73,65 \times PCVZ^{0,1181}$
	Machos castrados	$Na_{NC} = 3,264 \times PCVZ^{0,6916}$
	Fêmeas	$Na_{NC} = 23,04 \times PCVZ^{0,3544}$
Potássio	Machos não castrados	$K_{NC} = 96,43 \times PCVZ^{0,0673}$
	Machos castrados	$K_{NC} = 5,147 \times PCVZ^{0,5781}$
	Fêmeas	$K_{NC} = 31,54 \times PCVZ^{0,2821}$

¹Ca_{NC} = cálcio nos componentes não carcaça (g); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); P_{NC} = fósforo nos componentes não carcaça (g); Mg_{NC} = magnésio nos componentes não carcaça (g); Na_{NC} = sódio nos componentes não carcaça (g); K_{NC} = potássio nos componentes não carcaça (g).

RELAÇÃO ENTRE A MATÉRIA SECA DESENGORDURADA E A COMPOSIÇÃO CORPORAL

Reid et al. (1955) sugeriram que o EE corporal poderia ser estimado pelo conteúdo de água no corpo, e indicaram ainda que a razão proteína/cinzas no corpo seria constante na matéria seca livre de gordura, sendo afetada apenas pela idade do animal. Nesse sentido, Marcondes et al. (2010) estudaram a

relação entre a matéria seca desengordurada e a composição do PCVZ, utilizando um banco de dados de 272 animais. Marcondes et al. (2010) propuseram a equação apresentada abaixo para estimar o EE corporal baseado na percentagem de água, seguindo o modelo sugerido por Reid et al. (1955). Não foi evidenciado efeito de grupo genético ou classe sexual sobre os parâmetros da regressão, apresentando o modelo um R² de 0,96 e RQME de 1,26.

$$\% EE_{CVZ} = 236,21 - 126,25 \times \log (A_{CVZ}) + 1,114 \times \% GV,$$

em que EE_{CVZ} é a percentagem de extrato etéreo no corpo vazio, A_{CVZ} é a percentagem de água no corpo vazio e GV é a percentagem de gordura visceral no corpo vazio.

Conhecendo a proporção de gordura no corpo, seria possível estimar a concentração de proteína na matéria seca desengordurada do peso de corpo vazio do animal. No entanto, ao contrário de Reid et al. (1955), que correlacionaram a razão proteína/cinzas com a idade, Marcondes et al. (2010) correlacionaram esta razão com o PCVZ, uma vez que a idade pode ser uma medida muito relativa para fins de composição corporal, pois diferentes planos nutricionais podem proporcionar pesos corporais diferentes numa mesma idade, com consequente diferença na composição corporal. Assim, a equação sugerida por Marcondes et al. (2010), apresentada abaixo, pode ser utilizada alternativamente e a percentagem de cinzas poderia, então, ser estimada como $100 - PB$ na matéria seca desengordurada.

$$\% PBMSD_{PCVZ} = 74,09 + 0,0098 \times PCVZ,$$

em que $PBMSD_{PCVZ}$ é a percentagem de proteína bruta na matéria seca desengordurada do corpo vazio e $PCVZ$ é o peso de corpo vazio (kg).

NOVAS METODOLOGIAS PARA PREDIZER A COMPOSIÇÃO CORPORAL DE BOVINOS

Técnicas que não necessitam do abate de animais para se obter a composição corporal têm sido amplamente estudadas devido à sua praticidade. Essas são, principalmente, empregadas na formação de lotes homogêneos em confinamentos, a fim de reduzir as diferenças quanto às exigências nutricionais e assim, atingir a padronização das carcaças dos animais entregues aos frigoríficos para o abate.

Medidas biométricas utilizando fita métrica

Estudos foram desenvolvidos (Fernandes et al., 2010; De Paula et al., 2013; Fonseca, 2013) objetivando prever a composição corporal, principalmente a gordura, a partir de medições corporais, conhecidas como medidas biométricas. Fernandes et al. (2010) observaram que a combinação de diferentes medidas biométricas, sendo elas mensuradas *in vivo* ou *postmortem* podem ser ferramentas importantes para estimar a quantidade de gordura na carcaça e no corpo vazio de bovinos em pastejo. De Paula et al. (2013) sugeriram equações para estimar a gordura em diferentes partes do corpo do animal, sendo divididas em gordura subcutânea, gordura interna, gordura na carcaça e gordura no corpo vazio (Tabela 5.18).

Tabela 5.18 - Equações de predição da gordura corporal a partir de medidas biométricas, utilizando animais Nelore

Item	Equações ¹	R ²	RQME
Gordura subcutânea	$GS = 0,03 \times PCJ - 0,099 \times CC + 0,052 \times AC$	0,97	0,94
Gordura interna	$GI = 0,0405 \times PCJ - 0,159 \times LPO$	0,98	1,26
Gordura na carcaça	$G_{CARC} = 0,029 \times PCJ + 25,941 \times G_{HH}$	0,99	2,41
Gordura no corpo vazio	$G_{CVZ} = 0,017 \times PCJ + 1,184 \times G_{CARC}$	0,99	1,18

¹GS = gordura subcutânea (kg); PCJ = peso corporal em jejum (kg); CC = comprimento corporal (cm); AC = altura de cernelha (cm); GI = gordura interna (kg); LPO = largura do pino ósseo (cm); G_{CARC} = gordura na carcaça (kg); G_{HH} = gordura na seção HH (kg); G_{CVZ} = gordura no corpo vazio (kg). Adaptada de De Paula et al. (2013).

Contudo, percebe-se que, mesmo em estudos onde as medidas biométricas foram realizadas (Fernandes et al., 2010; De Paula et al., 2013), existe a necessidade de utilizar medidas *post-mortem*, como a quantidade de gordura na carcaça e na seção compreendida

entre a 9^a e 11^a costelas para que as estimativas de gordura no corpo vazio possam ser estimadas corretamente. Além disso, um problema encontrado nas medições biométricas é a necessidade de medir manualmente diferentes pontos no animal,

havendo a obrigatoriedade do animal estar em uma determinada posição. Devido ao temperamento de alguns animais, essa técnica torna-se de difícil execução e precisão.

Medidas biométricas obtidas a partir do KINECT®

A partir do uso do Kinect® (Microsoft, EUA), um aparelho composto por um laser projetor infravermelho, uma câmera de infravermelho e uma câmera de RGB, novas técnicas têm sido empregadas a fim de estimar a composição corporal sem que haja a necessidade de abater o animal. Dessa

forma, Monteiro (2015) avaliaram diversas medidas a fim de prever o peso corporal e a composição corporal de machos não castrados Nelore e Angus, sendo que esse autor correlacionou variáveis físicas, como peso corporal, e variáveis químicas, como gordura no corpo vazio, com as áreas geradas pelo Kinect®. A partir da altura e da área do dorso (Figura 5.2) e da largura do peito, foram gerados índices que, a partir dos mesmos, o peso corporal e a gordura contida no corpo vazio puderam ser estimados (Tabela 5.19).

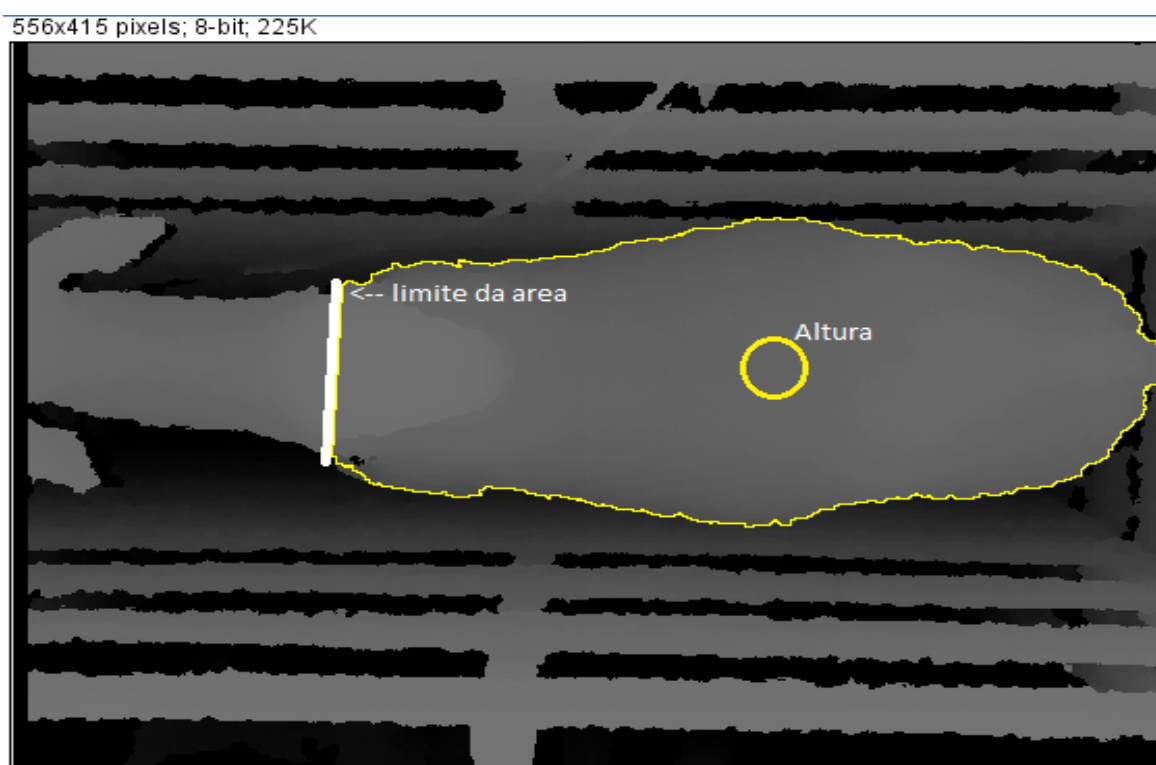


Figura 5.2 - Limites da área do plano dorsal obtidos por imagem tridimensional. *Fonte: Monteiro (2015).*

Tabela 5.19 - Descrição dos índices usados nas equações

Índice	Descrição ¹
I ₁	Diferença entre a altura dorsal e a altura na qual a largura do peito foi medida
I ₃	$(\text{Área dorsal})^{0,75} / (\text{altura do dorso})^2$
I ₄	Largura do peito / $(\text{área dorsal})^{1/2}$
I ₅	$(\text{Largura do peito})^2 \times \text{comprimento do corpo}$
I ₆	$\text{Área dorsal} / (\text{área dorsal}/1000)^2$

¹ altura em mm, área em pixel², largura e comprimento em pixel.

A partir desses índices, a composição corporal dos animais foi obtida pela correlação desses índices com a gordura corporal e com o peso corporal (Tabela 5.20). Contudo, mais

estudos devem ser realizados a fim de aumentar a confiabilidade e avaliar essas equações utilizando um banco de dados independente.

Tabela 5.20 - Regressões entre o peso corporal (PC), peso de carcaça quente (PCq) e gordura corporal (GC) a partir de medidas corporal obtidas por análises de imagem digital em machos não castrados Nelore e Angus

Modelo	Equações ^{1,2}	R ²	AIC	QMEP
Peso corporal, kg				
1	$81,4 + 58,3 \times I_1 + 0,0000222 \times I_5 + 0,0310 \times I_3$	0,84	105,2	19,4
2	$164,6 + 0,0000278 \times I_5$	0,77	106,3	19,8
Peso de carcaça quente, kg				
3	$74,8 + 0,0000141 \times I_5 + 0,0124 \times I_3$	0,83	87,8	15,4
4	$91,9 + 0,0000168 \times I_5$	0,80	88,3	16,5
Gordura corporal, % PCVZ				
5	$22,4 + 0,0319 \times PC - 6,46 \times I_1 - 28,2 \times I_4 - 118,2 \times I_6$	0,43	18,5	1,4

¹As descrições dos índices estão apresentados na Tabela 5.19; ²PCVZ = peso de corpo vazio, kg; PC = peso corporal, kg.

Composição corporal obtida a partir do DXA

A técnica de densitometria de raios-X de energia dupla (DXA) surgiu como alternativa à dissecação da carcaça para avaliar a composição corporal dos animais. Esse método é o mais utilizado na medicina humana com o objetivo de se avaliar a redução da massa óssea precoce. Com isso, ela pode ser utilizada sem que haja a necessidade de dissecar e analisar quimicamente a carcaça do animal. Neste sentido, Prados et al. (2016) agruparam um banco de dados com 116 animais, sendo 96

machos Nelore não castrados e 20 machos Nelore × Angus não castrados e desenvolveram equações para estimar a composição da seção compreendida entre a 9^a e 11^a costelas a partir do uso do equipamento DXA (GE Lunar Prodigy Advance Dxa System, GE Healthcare, Madison, Wisconsin, USA). Após escanear a seção compreendida entre a 9^a e 11^a costelas, esses autores dissecaram essa seção e obtiveram as comparações entre os valores observados pelo equipamento DXA e os valores a partir da composição química (Tabela 5.21).

Tabela 5.21 - Equações de predição da composição química da seção compreendida entre a 9^a e 11^a costelas usando densitometria de raios-X de energia dupla (DXA)

Variável ¹	Equações ²	R ²
Extrato etéreo (EE)	$EE_{HH} = 122,40 + 1,12 \times G_{DXA}$	0,86
Livre de gordura (LG)	$LG_{HH} = 103,22 + 0,87 \times LG_{DXA}$	0,93
Tecido magro (TM)	$PB_{HH} = 37,08 + 0,91 \times TM_{DXA}$	0,95
Cinzas (C)	$C_{HH} = 18,72 + 1,02 \times BMC_{DXA}$	0,39

¹EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH; G_{DXA} = gordura medida pelo DXA; Livre de gordura = tecido magro adicionado do teor de minerais no osso, LG_{HH} = tecido livre de gordura na seção HH (água + proteína + cinzas); LG_{DXA} = livre de gordura medido pelo DXA (TM_{DXA} + BMC_{DXA}); PB_{HH} = proteína bruta na seção HH; TM_{DXA} = tecido magro medido pelo DXA; C_{HH} = cinzas na seção HH; BMC_{DXA} = conteúdo de mineral ósseo medido pelo DXA. ² Todas as variáveis em gramas (Adaptada de Prados et al., 2016).

Além disso, Prados et al. (2016) avaliaram a acurácia dessas equações e concluíram que as mesmas são acuradas e são, assim, uma ferramenta fácil e rápida para determinar a composição química da seção compreendida entre a 9^a e 11^a costelas. Dessa forma, as equações são

recomendadas para serem usadas em bovinos Nelore e Nelore × Angus. No entanto, Prados et al. (2016) ressaltaram que mais estudos devem ser conduzidos objetivando avaliar a composição da carcaça como um todo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da validação das equações de predição da composição corporal, recomenda-se o uso das equações propostas pelo BR-CORTE para animais zebuínos e cruzados de corte em substituição à dissecação da carcaça, o que resulta em redução de custos e mão de obra.

Espera-se que as equações geradas para animais cruzados de leite possam contribuir para a economia em experimentos que visem avaliar a composição corporal desses animais.

Além disso, o uso das equações de predição para os componentes não carcaça em conjunto trazem melhor entendimento e menor erro. Porém, ressalta-se que estudos devem ser realizados para validá-las.

Por fim, o uso de novas técnicas, como o DXA e o Kinect® apresentam-se como alternativas futuras.

REFERÊNCIAS

- Alleoni, G. F.; Boin, C.; Leme, P. R.; Vieira, P. F.; Nardon, R. F.; Demarchi, J. J. A. A.; Otsuk, I. P.; Avaliação da gravidade específica e de outras medidas corporais e da carcaça para estimar a composição corporal de novilhos Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26:375-381, 1997.
- Cole, J. W.; Ramsey, C. B.; Epley, R. H. Simplified method for predicting pounds of lean in beef carcasses. *Journal of Animal Science*, 21:355-361, 1962.
- Costa E Silva L. F.; Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Ribeiro, A. M. F.; Prados, L. F.; Nascimento, F. B.; Gionbelli, M. P.; Santos, R. M. Prediction of non-carcass components in cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:907-1914, 2012.
- Costa E Silva L. F.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Marcondes, M. I.; Rotta, P. P.; Prados, L. F.; Zanetti, D. Evaluation of equations to predict body composition in Nelore bulls. *Livestock Science*, 151:46-57, 2013.
- Costa E Silva, L.F. 2015. *Mineral requirements for Nelore cattle and equations to predict milk yield and dry matter intake for lactating Nelore cows and suckling Nelore calves*. 2015. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa.
- Costa, M. A. L.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D.; Cecon, P. R.; Paulino, P. V. R.; Moraes, E. H. B. K.; Magalhães K. A. Desempenho, digestibilidade e características de carcaça de novilhos Zebuínos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:268-279, 2005.
- Clark, J. L.; Hedrick, H. B.; Thompson, G. B. Determination of body composition of steers by ⁴⁰K. *Journal of Animal Science*, 42:352-356, 1976.
- Crouse, J. D.; Dikeman, M. E. Methods of estimating beef carcass chemical composition. *Journal of Animal Science*, v.38, n.6, p.1190-1196, 1974.
- De Paula, N. F.; Tedeschi, L. O.; Paulino, M. F.; Fernandes, H. J.; Fonseca, M. A. Predicting carcass and body fat composition using biometric measurements of grazing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 91:3341-3351, 2013.
- Duchesne, C.; Macgregor, J. F. Jackknife and bootstrap methods in the identification of dynamic models. *Journal of Process Control*, 11:553-564, 2001.
- Fernandes, H. J.; Tedeschi, L. O.; Paulino, M. F.; Paiva, L. M. Determination of carcass and body fat compositions of grazing crossbred bulls using body measurements. *Journal of Animal Science*, 88:1442-1453, 2010.
- Ferreira, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Veras, A. S. C.; Araújo, G. G. L.; Signoretti, R. D. Predição da composição corporal por intermédio de método indireto. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:242-246, 2001.
- Ferrell, C. L.; Kohlmeier, R. H.; Crouse, J. D.; Glimp, H. Influence of dietary energy and protein biological type of steer upon rate of gain and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 46:255-270, 1978.
- Fonseca, M. A. 2013. *Evaluation and development of mathematical models to explain beef cattle growth, and its relationship with nutritional requirements of F1 Nelore x Angus bulls and steers*. 196p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa.

- Fonseca, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Tedeschi, L. O.; Chizzotti, M. L.; Machado, M. G.; Abreu, D. C. 2014. Evaluation of predictive equations developed to assess body composition of F1 Nellore x Angus bulls and steers. *Animal Production Science*. <http://dx.doi.org/10.1071/AN13439>
- Gonçalves, L. C.; Silva, J. F. C.; Oliveira, A. I. G.; Castro, A. C. G. Métodos para determinação da composição corporal e estudo da área corporal de novilhos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 20:405-412, 1991.
- Hankins, O. G.; Howe, P. E. Estimation of the composition of beef carcasses and cuts. USDA, p. 1-20 (Technical Bulletin). 1946.
- Henrique, W.; Sampaio, A. A. M.; Leme, P. R.; Alleoni, G. F.; Lanna, D. P. D. Estimativa da composição química corporal de tourinhos Santa Gertrudis a partir da composição química e física das 9-10-11^a costelas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32:709-718, 2003.
- Jorge, A. M.; Fontes, C. A. A.; Paulino, M. F.; Gomes Junior, P. Utilização de método indireto para predição da composição química corporal de zebuínos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29:1862-1867, 2000.
- Kraybill, H. F.; Bitter, H. L.; Hankins, O. G. Body composition of cattle. II. Determination of fat and water content from measurement of body specific gravity. *Journal of Applied Physiology*, 4:575-583, 1952.
- Lanna, D. P. D.; Boin, C.; Alleoni, G. F.; Leme, P. R. Estimativa da composição química corporal de tourinhos Nelore através da gravidade específica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 24:351-362, 1995.
- Lush, J. L. 1926. Practical methods of estimating proportions of fat and bone in cattle slaughtered in commercial packing plants. *Journal of Agriculture Research*, 57:79-97.
- Marcondes, M. I. 2010. *Exigências nutricionais e predição da composição corporal de bovinos nelore puros e cruzados*. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil. 248p.
- Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Detmann, E.; Valadares, R. F. D.; Santos, T. R.; Diniz, L. L. Predição da composição corporal e da carcaça a partir da seção entre a 9^a e 11^a costelas em bovinos Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1597-1604, 2009.
- Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Valadares Filho, S. C.; Tedeschi, L. O. 2010. Prediction of Nellore empty body composition using indirect measurements. In: SAUVANT, D.(Ed). *Proceedings of Modeling nutrient digestion and utilization in farm animals*. 1.ed. Paris, FR: EAAP Publisher.
- Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Chizzotti, M. L. Prediction of physical and chemical body compositions of purebred and crossbred Nellore cattle using the composition of a rib section. *Journal of Animal Science*, 90:1280-1290, 2012.
- Missio, R. L.; Brondani, I. L.; Restle, J.; Silva, J. H. S.; Silveira, M. F.; Silva, V. S. Partes não-integrantes da carcaça de tourinhos alimentados com diferentes níveis de concentrado na dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:906-915, 2009.
- Monteiro, G. R. 2015. *Uso de câmera de infravermelho para predizer peso, composição corporal e de carcaça em bovinos Nelore e Angus*. 40p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras.
- Moulton, C. R. 1923. Age and chemical development in mammals. *Journal of Biological Chemistry*, 57:79-97.
- Neves, M. L. M. W. 2013. *Exigências nutricionais e componentes não carcaça de bovinos mestiços leiteiros*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brazil. 150p.
- Nour, A. Y. M.; Thonney, M. L.; Stouffer, J. R.; White Jr, W. R. C. Muscle, fat and bone in serially slaughtered large dairy or small beef cattle fed corn or corn silage diets in one of two locations. *Journal of Animal Science*, 52:512-521. 1981.
- Nour, A. Y. M.; Thonney, M. L. Carcass soft tissue and bone composition of early and late maturing steers fed two diets in two housing types and serially slaughtered over a wide weight range. *Journal of Agricultural Science*, 109:345-356, 1987.
- Nour, A. Y. M.; Thonney, M. L. Technical Note: Chemical composition of Angus and Holstein carcasses predicted from rib section composition. *Journal of Animal Science*, 72:1239-1241, 1994.
- Panaretto, B. A.; Till, A. R. Body composition in vivo. II. The composition of mature goats and its relationship to the antipyrine, tritiated water, and N-acetyl-4-aminoantipyrine spaces. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14:926-943, 1963.

- Paulino, P. V. R. 2002. *Exigências nutricionais e validação da seção HH para predição da composição corporal de zebuínos*. 2002. 150p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- Paulino, P. V. R.; Costa, M. A. L.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D.; Magalhães, K. A.; Detmann, E.; Porto, M. O.; Moraes, K. A. K. Validação das equações desenvolvidas por Hankins e Howe para predição da composição da carcaça de Zebuínos e desenvolvimento de equações para estimativa da composição corporal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:327-339, 2005a.
- Paulino, P. V. R.; Valadares Filho, S. C.; Costa, M. A. L.; Paulino, M. F.; Magalhães, K. A.; Detmann, E.; Valadares, R. F. D.; Porto, M. O.; Moraes, K. A. K. Validation of the 9-11th rib cut to estimate the chemical composition of the dressed carcass and of the whole empty body of Zebu cattle. *Livestock Production Science*, 93:245-253, 2005b.
- Paulino, P. V. R. 2006. *Desempenho, composição corporal e exigências nutricionais de bovinos Nelore de diferentes classes sexuais*. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 159p. Tese (Doutorado em zootecnia).
- Prados, L. F., Zanetti, D., Amaral, P. M., Mariz, L. D. S., Sathler, D. F. T., Valadares Filho, S. C., Silva, F. F., Silva, B. C., Pacheco, M. C., Meneguelli, H. A., Chizzotti, M. L. Technical note: Prediction of chemical rib section composition by dual energy x-ray absorptiometry in Zebu beef cattle. *Journal of Animal Science*, 94:2479-2484, 2016.
- Peron, A. J.; Fontes, C. A. A.; Lana, R. P.; Queiroz, A. C.; Silva, D. J.; Freitas, J. A. Predição da composição corporal e da carcaça de bovinos através de métodos indiretos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 22:227-237, 1993.
- Powell, W. E.; Huffman, D. L. Predicting chemical composition of beef carcasses from easily obtainable carcass variables. *Journal of Animal Science*, 36:1069-1076, 1973.
- Prados, L. F. 2012. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de cálcio e fósforo*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil. 97p.
- Preston, R. L.; Kock, S. W. In vivo prediction of body composition in cattle from urea space measurements. In: Proceedings of the society for experimental biology and medicine, 1057-1061, 1973.
- Prior, R. L.; Kohlmeier, R. H.; Cundiff, L. V.; Dikeman, M. E.; Crouse, J. D. Influence of dietary energy and protein on growth and carcass composition in different biological types of cattle. *Journal of Animal Science*, 45:132-146, 1977.
- Reid, J. T.; Wellington, G. H.; Dunn, H. O. Some relationships among the major chemical components of the bovine body and their application to nutritional investigations. *Journal of Dairy Science*, 38:1344-1359, 1955.
- Rodrigues, F. C. 2014. *Turnover protéico, avaliação e predição da composição química e do corpo vazio de bovinos 3/4 Zebu x 1/4 Holandês*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil. 44p.
- Silva, F. F. 2001. *Desempenho, características de carcaça, composição corporal e exigências nutricionais (de energia, proteína, aminoácidos e macrominerais) de novilhos Nelore, nas fases de recria e engorda, recebendo diferentes níveis de concentrado e proteína*. 2001. (Dissertação) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Silva, F. A. S. 2015. *Desempenho, produção de metano entérico, eficiência de utilização da energia, metabolismo protéico muscular e exigências nutricionais de novilhas Holandês x Zebu alimentadas com silagem de milho ou cana-de-açúcar em duas proporções*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil. 82p.
- Trowbridge, P. F.; Haigh, L. D. Studies in animal nutrition. I. Changes in form and weight on different planes of nutrition. Montana Agriculture Experimental Station. 111p. (Research Bulletin, 54). 1921.
- Trowbridge, P. F., Haigh, L. D. Studies in animal nutrition. II. Changes in proportions of carcass and offal on different planes of nutrition. Montana Agriculture Experimental Station. 111p. (Research Bulletin, 43). 1922.

- Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhães, K. A. Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos – BR-CORTE. 1.ed. Viçosa, MG: Suprema Grafica Ltda, 142p. 2006.
- Valadares Filho S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados — BR-CORTE. 2. ed. Viçosa, MG: Suprema Grafica Ltda, 193p. 2010.
- Véras, A. S. C.; Valadares Filho, S. C.; Silva, J. F. C.; Paulino, M. F.; Cecon, P. R.; Valadares, R. F. D.; Ferreira, M. A.; Silva, C. M.; Silva, B. C. Predição da composição química corporal de bovinos Nelore e F1 Simental × Nelore a partir da composição química da seção Hankins e Howe (seção HH). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:1112-1119, 2001.
- Williams, J. E.; Wagner, D. G.; Walters, L. E.; Horn, G.W.; Waller, G. R.; Sims, P. L.; Guenther, J. J. Effect of production systems on performance, body composition and lipid and mineral profiles of soft tissue in cattle. *Journal of Animal Science*, 57:1020-1028, 1983.
- Zanetti, D. 2014. *Exigências nutricionais, frequência de alimentação e níveis de cálcio e fósforo para bovinos Holandês x Zebu em confinamento*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brazil. 78p.

Respirometria e exigências nutricionais de zebuínos e cruzados de leite, em diferentes níveis de alimentação e estádios fisiológicos

Ana Luiza da Costa Cruz Borges, Ricardo Reis e Silva, Alexandre Lima Ferreira, Helena Ferreira Lage, Paolo Antônio Dutra Vivenza, Pedro Henrique Araújo de Carvalho, Marcelina Pereira da Fonseca, Lúcio Carlos Gonçalves, Norberto Mário Rodriguez

As informações geradas pela técnica de respirometria são baseadas na mensuração das trocas respiratórias pelos animais, permitindo a avaliação da energia líquida dos alimentos e do metabolismo animal. Estima-se a produção de calor a partir da medição do consumo de oxigênio e da produção de gás carbônico e metano durante 24h, em ambiente controlado. Todas as medições são precedidas de um ensaio de digestibilidade aparente com coleta total de fezes de urina. Utilizam-se diferentes níveis nutricionais, tais como restrito para manutenção do peso, intermediário e *ad libitum*, com diferentes proporções de volumoso e concentrado. O jejum alimentar é utilizado como ferramenta para estudo do metabolismo basal dos animais. O conhecimento da produção de calor pelo animal em diferentes fases fisiológicas, com diferentes dietas, permite a estimativa dos valores de eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção, ganho de peso, gestação e lactação.

INTRODUÇÃO

A calorimetria é baseada nas leis que regem a termodinâmica, em que “a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada” e “a quantidade de energia liberada ou absorvida em um sistema não depende dos caminhos transcorridos durante sua transformação, mas apenas da energia contida nos reagentes e nos produtos finais” (Lavoisier, 1780). Na calorimetria indireta, também conhecida como respirometria, as trocas gasosas realizadas entre o organismo e o meio são medidas. Conhecendo-se o consumo de oxigênio (O₂) e a produção de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), calculam-se as perdas energéticas por gases e calor. O Laboratório de Calorimetria e

Metabolismo da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte, Minas Gerais, foi o primeiro laboratório a construir câmaras respirométricas na América Latina. Desde 2009, foram realizados experimentos para avaliar o metabolismo energético e a produção de metano. Os resultados obtidos são expressos em energia líquida (EL), que pode ser energia líquida para manutenção (EL_m), energia líquida para produção de leite (EL_l), energia líquida para ganho de peso (EL_g) e energia líquida para gestação (EL_{gest}). Determina-se o que de fato foi utilizado pelo animal nas funções produtivas descritas. Calculam-se os fatores de conversão dos nutrientes digestíveis totais (NDT) para energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM), e desta última para cada função fisiológica ou EL. Determinam-se os valores de *k* (eficiência de conversão da EM em EL) para manutenção (*km*), produção de leite (*kl*), ganho de peso ou crescimento (*kg*) e gestação (*kgest*).

RESPIROMETRIA EM SISTEMA DE CIRCUITO ABERTO

Na respirometria em circuito aberto, o animal é alojado em uma câmara com sistema de vedação que não permite qualquer troca gasosa entre o ar no interior da mesma e o ar externo, a não ser pelo próprio sistema de circulação de ar. Um fluxômetro de massa corrige o fluxo de ar em função da temperatura, pressão e umidade, sendo a concentração de CO₂ no interior da câmara nunca superior a 1%. Durante as 24 horas de medições, o equipamento analisador (marca *Sable*) realiza leitura a cada cinco minutos das concentrações de CO₂, O₂ e CH₄, no ar atmosférico e no ar que sai da câmara. Estas concentrações, multiplicadas pelo volume de

ar que passou pela câmara durante o tempo de mensuração, permitem calcular quanto de O₂ foi consumido e quanto de CO₂ e CH₄ foram produzidos (Rodríguez et al., 2007).

Um fator de correção deve ser gerado para ajuste das leituras, que devem estar dentro de valores adequados de quociente respiratório. A calibração dos analisadores de gás é realizada sempre que o equipamento for utilizado, e consiste em injetar, a fluxo constante, gases com concentrações conhecidas no sistema de análise. Com o objetivo de calibrar os analisadores para o valor zero de concentração dos gases é utilizado nitrogênio puro. Para calibrar os analisadores de O₂ é utilizado ar atmosférico - assumindo-se que este apresenta concentração de O₂ constante (20,948%) e mistura de gases com concentrações conhecidas, CO₂ a 5% diluído em nitrogênio, e metano a 1%, também diluído em nitrogênio.

RESPIROMETRIA PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CALOR

Um ensaio de digestibilidade aparente é realizado imediatamente antes de toda medição na câmara respirométrica. A coleta total de fezes é realizada por cinco dias e de urina por 24h. Em seguida, o animal é confinado por 24h na câmara respirométrica. Os procedimentos e a especificação do sistema foram descritos por Rodríguez et al. (2007). As determinações da produção de calor são realizadas com os animais alimentados em nível de produção de acordo com o tratamento estabelecido (manutenção do peso, intermediário e *ad libitum*), nas diferentes fases fisiológicas, ou após jejum de 48h de sólidos. Os volumes (L/dia) de O₂ consumido, CO₂ e CH₄ produzidos em 24h e o nitrogênio urinário excretado (Nu, g/dia) são utilizados para estimar a produção de calor (PCalor), conforme a equação de Brouwer (1965): $PCalor (kcal) = (3,866 \times VO_2) + (1,200 \times VCO_2) - (0,518 \times VCH_4) - (1,431 \times Nu)$. A EM da dieta é determinada subtraindo-se da energia bruta consumida (EB) as perdas energéticas das fezes, urina e metano. Quantifica-se a energia perdida na forma de metano assumindo-se a perda de 9,45 kcal/L CH₄ produzido (Brouwer, 1965).

As concentrações de ED e EM da dieta, expressas em Mcal/kg MS são obtidas durante ensaio de metabolismo.

A medição das trocas gasosas na câmara é realizada pelo menos duas vezes com cada animal, sendo uma vez com o animal alimentado e outra vez com o animal submetido a 48 horas de jejum de sólidos. Dessa forma, conhece-se a produção de calor do animal alimentado e em jejum, sendo esta última correspondente ao valor de energia líquida necessária para a manutenção do animal. A diferença entre os valores obtidos com o animal alimentado e em jejum corresponderá ao incremento calórico, e conhecendo-se o teor de EM da dieta pode-se então determinar o valor de EL da mesma (Kleiber, 1975).

Uma vez que alguns autores mencionam valores altos para estimativa da exigência de ELM a partir da produção de calor em jejum, também foi realizada nos experimentos a regressão da produção de calor em diferentes planos alimentares, em função do consumo de energia metabolizável, estimando-se a exigência líquida para manutenção por extrapolação.

BANCO DE DADOS

O banco de dados de mensurações de trocas respiratórias compreende uma série de experimentos realizados no Laboratório de Calorimetria e Metabolismo da UFMG usando câmaras respirométricas, a partir de 2009. Foram consideradas 202 avaliações, tendo sido descartadas aquelas que não se ajustaram adequadamente. Os animais eram pertencentes aos grupos genéticos zebuínos (Nelore, Gir e Guzerá) e cruzados de leite (F1 Holandês × Gir). Os volumosos utilizados foram feno de *Tifton-85* (*Cynodon spp*) e silagens de sorgo (*Sorghum bicolor*), milho (*Zeamays*) e de capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq cv. Tanzania), em proporções de volumoso:concentrado variando de 100:0 a 50:50. O concentrado era composto de milho farelado, farelo de soja e suplemento mineral. Os animais foram alimentados nos planos nutricionais manutenção, *ad libitum* e intermediário (ganhos leves, 0,5 a 0,6 kg/dia). A Tabela 6.1 descreve o banco de dados utilizado.

Tabela 6.1 - Características do banco de dados utilizado no desenvolvimento e validação das equações de produção de metano

Fonte	Título/Ano	N	Classe sexual	Grupo genético	Raças	Plano nutricional
Ochoa, Sandra Lúcia Posada	Doutorado, 2010	5	Macho não castrado	Zebuíno	Nelore	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Silva, Ricardo Reis	Doutorado, 2011	18	Fêmea vazia	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹ Holandês	Mantença
Lage, Helena Ferreira	Mestrado, 2011	12	Fêmea vazia	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹	Mantença
Fonseca, Marcelina Pereira da	Mestrado, 2012	20	Macho não castrado	Cruzado de leite	HolxGir ¹	<i>Ad libitum</i>
Vivenza, Paolo Antônio Dutra	Doutorado, 2016	12	Fêmea lactante	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Ferreira, Alexandre Lima	Doutorado, 2014	15	Macho não castrado	Cruzado de leite	HolxGir ¹	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Pancoti, Carlos Giovani	Doutorado, 2015	18	Fêmea vazia	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹ Holandês	<i>Ad libitum</i>
Lage, Helena Ferreira	Doutorado, 2015	12	Fêmea gestante	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹	Restrito ²
Carvalho, Pedro Henrique de Araújo	Mestrado, 2016	12	Fêmea lactante	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Souza, André Santos	Doutorado, 2016	12	Fêmea	Zebuíno	Nelore Guzerá	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Duque, Anna Carolinne Alvim	Doutorado, 2016	12	Fêmea	Zebuíno	Guzerá	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Silva, Juliana Sávia	Doutorado, 2016	20	Macho não castrado	Cruzado de leite	HolxGir ¹	Restrito <i>Ad libitum</i>

¹Animais F1 Holandês × Gir.

²Restrito = nível de alimentação intermediário entre o consumo *ad libitum* e o consumo em nível de manutenção.

A relação entre as variáveis independentes e dependentes foi estimada utilizando-se o modelo estatístico:

$$Y = B_0 + B_1X_{1ij} + b_0 + b_1X_{1ij} + B_2X_{2ij} + \dots + B_nX_{nij} + e_{ij},$$

em que B_0 , B_1X_{1ij} , e B_2X_{2ij} , . . . , B_nX_{nij} são efeitos fixos (intercepto e efeitos das variáveis independentes); b_0 , intercepto, b_1 , *slope* e e_{ij} , efeitos aleatórios dos experimentos ($i=1, \dots, n$ estudos e $j=1, \dots, n_i$ valor). Para as análises estatísticas utilizou-se o programa Minitab 16. Equações de regressão múltipla foram desenvolvidas utilizando-se modelo misto irrestrito. Para escolha das variáveis a serem incluídas no modelo foram utilizados os

procedimentos de regressão *stepwise* e *bestsubsets*. Cada variável foi testada quanto ao seu efeito aleatório do intercepto para seleção de melhor ajuste com base no menor RQMR (raiz do quadrado médio do resíduo) e CP de Mallows. A presença de colinearidades entre as variáveis independentes foi avaliada. As equações que apresentaram melhor ajuste foram selecionadas.

A estatística descritiva (mínimo, máximo, média, mediana, erro padrão da média) para todas as variáveis no desenvolvimento das equações de predição da produção de metano e fracionamento energético encontram-se na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Estatística descritiva das variáveis: produção de metano (CH₄), consumo de matéria seca (CMS), CMS por peso metabólico, peso corporal (PC), consumo de fibra em detergente neutro (CFDN), CFDN por peso corporal metabólico, CFDN digestível (CFDNDig), consumo de energia bruta (CEB), consumo de energia digestível (CED), consumo de energia metabolizável (CEM) e energia bruta do metano (EBCH₄) para bovinos zebuínos (n = 95) e cruzado de leite (n = 107)

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	EPM
CH ₄ , L/dia	73,9	313	165	122	4,60
CMS, kg/dia	2,92	13,4	6,08	5,70	0,21
CMS, g/PC ^{0,75}	41,0	214	96,5	94,3	2,30
PC, kg	180	683	366	381	9,70
CFDN, kg/dia ¹	1,27	9,21	3,18	3,84	0,11
CFDN, g/PC ^{0,75}	16,3	72,4	38,6	40,6	1,20
CFDNDig, kg/dia	0,70	4,39	1,94	1,78	0,08
CEB, Mcal/dia	12,8	89,1	38,4	32,5	1,47
CED, Mcal/dia	9,10	62,8	27,6	24,5	1,17
CEM, Mcal/dia	8,05	53,4	23,4	20,3	0,98
EBCH ₄ , Mcal/dia	0,70	6,58	2,31	1,83	0,09

¹FDN = fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína.

RESULTADOS

Animal, raça, classe sexual e estágio fisiológico foram avaliados e não apresentaram efeito significativo sobre a produção de metano. De modo contrário, verificou-se significância para efeito de autor, que foi considerado para o desenvolvimento das equações a seguir. Excluiu-se o banco de dados de determinado experimento quando houve pequeno ajuste destes com os modelos em desenvolvimento. Utilizando-se as variáveis selecionadas pelos procedimentos *stepwise* e *best subsets*, foram obtidas equações para estimativa da produção de metano, apresentadas na Tabela 6.3, juntamente com a solução dos efeitos fixos das equações de regressão para a predição da produção diária de metano (CH₄) expressa em litros/dia e seus respectivos coeficientes de determinação (R²).

Avaliando-se os parâmetros obtidos das regressões, observa-se que os coeficientes de determinação ajustados (R²) foram elevados e os valores de RQMR foram relativamente baixos. Quando analisado como efeito fixo no modelo de regressão, o consumo de matéria seca (CMS) explicou 87,7% da variação na produção de metano, não havendo melhorias no modelo de predição com a inclusão de outras variáveis preditoras. O mesmo ocorreu com o consumo de EB (CEB). Adicionalmente, foi testado efeito quadrático para CMS e, apesar de significativo (P<0,001), não houve melhora no ajuste do modelo de regressão, o que sugere o uso do modelo mais simples. Na Figura 6.1 verifica-se a produção de metano em função do CMS.

Tabela 6.3 - Solução dos efeitos fixos de equações de regressão com base nas variáveis: consumo de matéria seca (CMS), consumo de energia bruta (CEB), teor de proteína bruta na dieta (PB) e proporção de volumoso na dieta (V)

Equações		1	2	3
Intercepto	Estimativa	37,52	30,87	-439,0
	EP	4,773	5,238	199,2
	Valor P	<0,001	<0,001	0,030
CMS (kg/dia)	Estimativa	19,33	---	21,71
	EP	0,7629	---	1,528
	Valor P	<0,001	---	<0,001
CEB (Mcal/dia)	Estimativa	---	4,777	---
	EP	---	0,1969	---
	Valor P	---	<0,001	---
PB (g/kg)	Estimativa	---	---	1,155
	EP	---	---	0,445
	Valor P	---	---	0,011
V (%) ¹	Estimativa	---	---	417,3
	EP	---	---	189,1
	Valor P	---	---	0,030
RQMR (L/dia)		17,25	17,89	17,79
R ²		0,877	0,867	0,806

¹V (%) = porcentagem de volumoso na dieta, expressa em escala de 0 a 1.

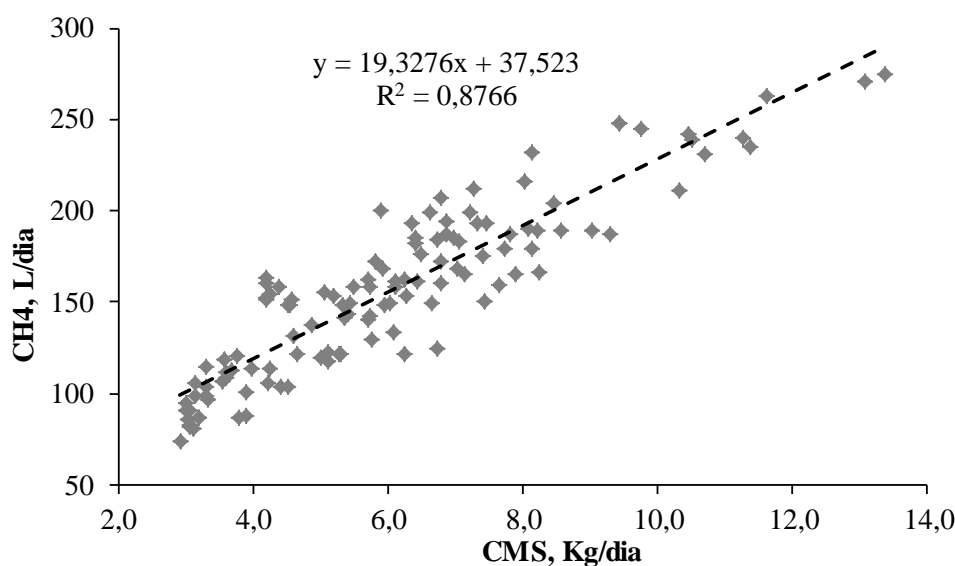


Figura 6.1- Relação entre a produção diária de metano e o consumo de matéria seca. Os pontos representam as avaliações consideradas para o desenvolvimento do modelo (n=125).

Alguns autores corroboraram essa forte relação positiva, considerando o CMS como fator preponderante para produção de metano, independente da dieta consumida (Kriss 1930, Axelsson 1949, Shibata et al., 1993). Algumas equações foram desenvolvidas relacionando produção de metano à composição dietética (Moe e Tyrell,

1979; Bratzler e Forbes, 1940), e ao CED, CEB e ao nível de alimentação (Blaxter e Clapperton, 1965). Mais recentemente, Ramin e Huhtanen (2013) desenvolveram equações mais complexas associando variáveis como CMS, consumo de matéria orgânica (CMO), consumo de extrato etéreo (CEE), relação carboidratos não fibrosos:carboidratos totais (CNF:CHOT) e

digestibilidade da matéria orgânica (DMO), cujas equações apresentaram baixos valores de RQMR (21,0 - 21,1 L/dia), atestando a acurácia da estimativa. Entretanto, considerando-se a maior facilidade de determinação e maior disponibilidade de informações quanto à variável CMS, recomenda-se a utilização da equação apresentada na figura 6.1 para predição da

produção de metano entérico por bovinos em crescimento em condições tropicais.

Com o objetivo de avaliar as relações entre a quantidade de energia perdida na forma de metano e os consumos de EB (Figura 6.2) e ED (Figura 6.3) realizaram-se análises de regressão entre estes valores, as quais foram significativas e cujos erros de predição foram de 0,546 e 0,532 Mcal, respectivamente.

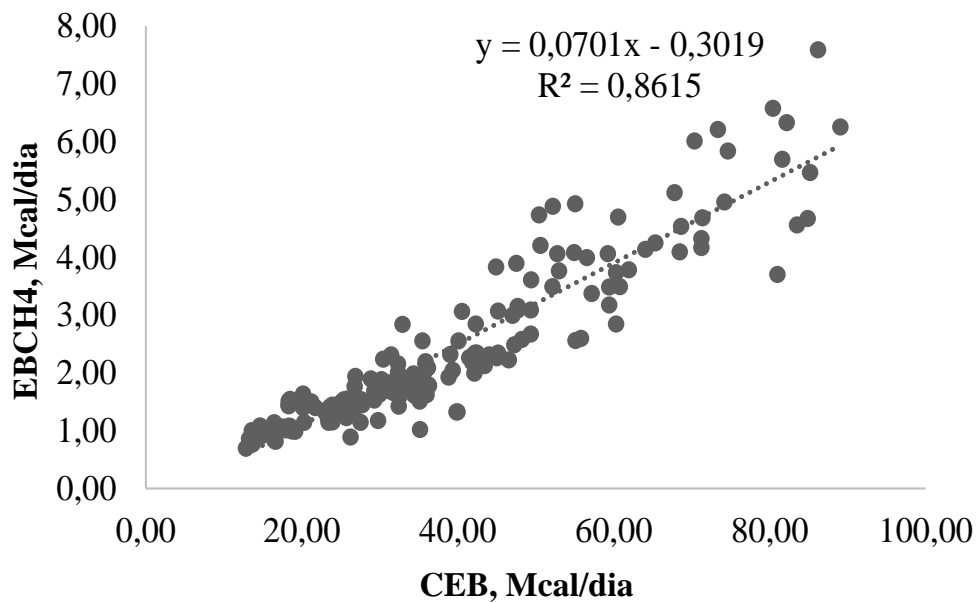


Figura 6.2 - Relação entre perda de energia bruta na forma de metano e o consumo de energia bruta. Os pontos representam todas as avaliações contidas no banco de dados.

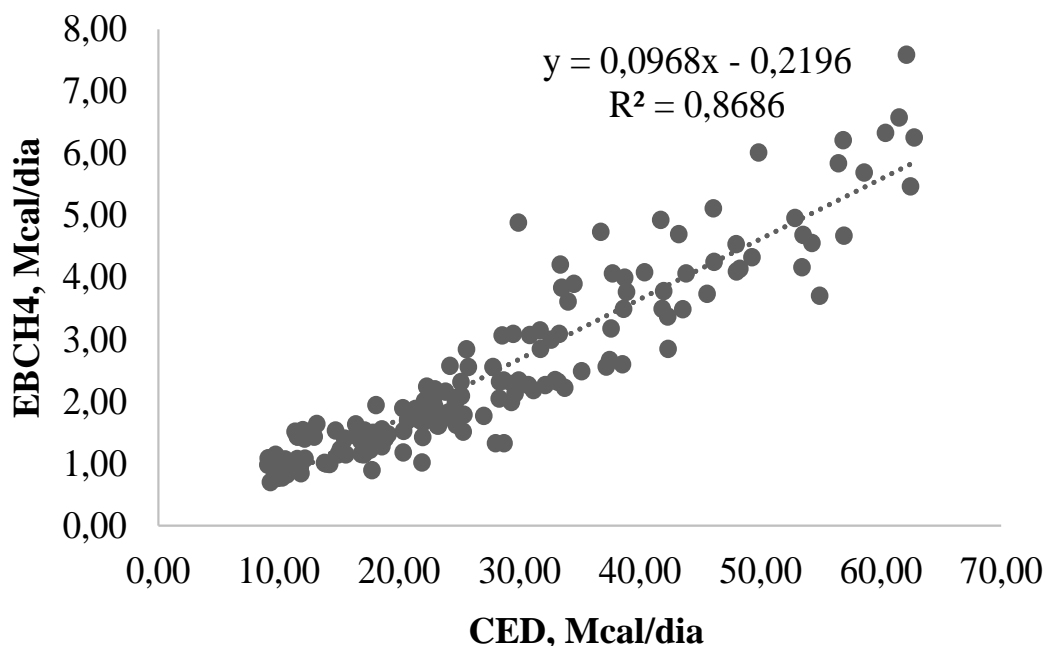


Figura 6.3 - Relação entre perda de energia bruta na forma de metano e o consumo de energia digestível. Os pontos representam todas as avaliações contidas no banco de dados.

Mcallister et al. (1996) mencionaram a importância da disponibilidade de nutrientes para a microbiota ruminal como fator primordial que define o limite superior de produção. Desse modo, quando há menor eficiência de crescimento microbiano, ou seja, menor eficiência de síntese de proteína microbiana, ocorrerá baixa relação proteína:energia nos nutrientes absorvidos e, conseqüentemente, maior produção de metano. Portanto, a emissão de metano em relação à produtividade do ruminante depende da eficiência fermentativa no rúmen e da eficiência de conversão do alimento em produtos animais. Leng et al. (1993) citaram que bovinos submetidos a dietas de baixa qualidade perderam cerca de 15 a 18% da ED na forma de metano, ao passo que o fornecimento de dietas balanceadas reduziu a emissão de metano em torno de 7%.

Diversos estudos demonstraram que aumentando a produtividade animal há uma redução na proporção de metano produzido por unidade de produto. Segundo a Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EPA, 2005) aumentar a produtividade da pecuária para se conseguir menores emissões de metano por unidade de produto é a maneira mais promissora e rentável para redução das emissões. Correlações moderadas foram obtidas (- 0,49; P=0,03) no estudo de Ferreira (2014), demonstrando que o nível de ingestão relativo à manutenção foi inversamente relacionado à produção de metano. O aumento da ingestão em uma unidade acima da manutenção resultou em decréscimo de 0,73 unidades percentuais na produção de metano (% CEB).

Moss (1994) citou que em forragens de baixa qualidade a adição de nutrientes para os microrganismos incrementa a eficiência do crescimento microbiano, pois aumenta a eficiência do processo fermentativo no rúmen com decréscimo na atividade metanogênica por unidade de carboidratos degradados. Entretanto, há aumento na produção de metano por animal, pois maior quantidade de matéria orgânica é fermentada, variando de 8,4% a 12,3% do CEB. Verificou-se que o coeficiente de regressão da equação apresentada na Figura 6.2, que representa 7% do CEB, é ligeiramente inferior aos valores

sugeridos pela literatura consultada. De forma semelhante verificou-se que o coeficiente de regressão da equação apresentada na Figura 6.3 representou 9,68% da CED.

Os resultados de ELM, eficiência de utilização da EM para manutenção (km), ganho de peso (kg), gestação ($kgest$) e leite (kl), obtidos nos diferentes experimentos, estão apresentados na Tabela 6.4.

Em um trabalho com cruzados leiteiros, Ferreira (2014) avaliou a produção de calor em jejum de machos não castrados em diferentes planos alimentares, correspondentes a 1; 1,5 e 2 vezes ($1\times$, $1,5\times$ e $2\times$) o CMS para manutenção do peso. O consumo de O_2 ($L/PC^{0,75}$), em estado de jejum e alimentado, não diferiu entre os animais em $1x$ e $1,5x$ a manutenção, apresentando valores médios de 22,25 e 30,35 $L/PC^{0,75}$, que representaram um aumento de 36,4% no consumo de O_2 em função da ingestão de alimento. O tratamento $2\times$ apresentou os maiores ($P<0,001$) consumos de O_2 , com valores de 26,77 e 39,03 $L/PC^{0,75}$ para os animais em estado de jejum e alimentados, respectivamente. A produção de CO_2 , de maneira semelhante ao consumo de O_2 , foi maior nos animais com $2\times$, os quais apresentaram produções 21,2 e 37,6% superiores ($P<0,001$) aos animais do grupo $1x$, quando em estado de jejum e alimentados.

A produção de calor em jejum (PC_j) foi maior ($P<0,001$) para o grupo $2x$ (133,3 $kcal/PC^{0,75}$) em comparação aos demais grupos (112,1 e 107,9, respectivamente), entre os quais a PC_j não diferiu. Os menores consumos de O_2 e produções de CO_2 ocorridos com a redução da ingestão estão de acordo com os resultados obtidos por Ferrell et al. (1986) que indicaram que as taxas de consumo de oxigênio de órgãos como fígado e rins, por grama de tecido ou em função de sua massa, diminuíram em resposta à alimentação em nível de manutenção. O efeito do plano de nutrição sobre o metabolismo de manutenção tem sido associado a variações na taxa metabólica tecidual. As causas dessas variações estão associadas às alterações nas taxas e custos energéticos do fluxo sanguíneo, da entrada de oxigênio no fígado e na transferência de nutrientes do lúmen intestinal (CSIRO, 2007).

Tabela 6.4 - Exigência de energia líquida para manutenção (ELm) e eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (km), ganho de peso (kg), gestação ($kgest$) e produção de leite (k_l) de animais zebuínos e cruzados, em diferentes faixas de peso e estádios fisiológicos ($status$)

Crescimento							
Fonte	Categoria	Status	PC (kg)	Raça	ELm	km	kg
Ochoa	Zebuíno, macho não castrado	Crescimento	200	Nelore	124 ²	0,65	0,23
					116 ³	0,60	
			300		94,0 ²	0,60	0,25
					92,0 ³	0,59	
			400		98,0 ²	0,70	
	92,0 ³	0,65	0,40				
	450	83,0 ²	0,65		0,64	0,40	
Fonseca	Cruzado de leite, macho não castrado	Crescimento	250	F1 HxG	-	-	0,27
Ferreira	Cruzado de leite, macho não castrado	Crescimento	350	F1 HxG	108 ²	0,76	0,23
					74,6 ³	0,60	
Silva	Zebuíno, novilha, vazia	Crescimento	300	Gir	88,0 ²	0,60	-
	Cruzado de leite, novilha, vazia			F1 HxG	95,6 ²	0,67	-
Pancoti	Zebuíno, novilha, vazia	Crescimento	400	Gir	83,9 ²	-	-
	Cruzado de leite, novilha, vazia			F1 HxG	96,7 ²	-	-
Silva	Cruzado de leite, macho não castrado	Crescimento 0-60 dias	30-60	F1 HxG	73,71 ²	0,67	0,45
Maturidade e Gestação							
Fonte	Categoria	Status	PC	Raça	ELm	km	$kgest$
	Zebuíno, fêmea, vazia	Maturidade	450	Gir	76,8 ²	0,64	-
	Cruzado de leite, fêmea, vazia			F1 HxG	92,0 ²	0,63	-
Lage ¹	Zebuíno, fêmea, gestante	Gestação	Peso	Raça	ELgest (Mcal/d)	km	$kgest$
		180 dias	450	Gir	2,86	-	0,15
		210 dias			2,33	-	
	240 dias	1,62			-		
	Cruzado de leite, fêmea, gestante	180 dias	550	F1 HxG	2,70	-	
		210 dias			2,71	-	
240 dias		2,88			-		
Lactação							
Fonte	Categoria	Status	Peso	Raça	ELm	EL _l ⁴	k_l ⁵
Vivenza	Zebuíno, vaca, Lactante	1° terço lactação	453	Gir	79,1 ³	0,778	0,69
	Cruzado de leite, vaca, lactante	1° terço lactação	526	F1 HxG	88,3 ³	0,778	0,72

¹Dados referentes à dissertação de mestrado e à tese de doutorado.

²Exigência de energia líquida para manutenção (ELm²) obtida pela produção de calor em jejum (PC_j).

³Exigência de energia líquida para manutenção (ELm³) obtida por extrapolação.

⁴Exigência de energia líquida para lactação (Mcal/kg de leite).

⁵Eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação.

Observou-se, no presente estudo, aumento linear ($P < 0,001$) da PC_j com o aumento da ingestão de MS. Os maiores valores observados de PC_j para os maiores níveis de alimentação refletem o aumento nas exigências de energia em função do estado produtivo em que o animal se encontra. Computar o quanto deste aumento deve-se à manutenção ou ao ganho

torna-se uma questão de semântica, como o próprio ARC (1980) relata, uma vez que a relação curvilínea entre a energia retida e a ingestão de alimento pode ser explicada considerando-se um decréscimo na eficiência de utilização do alimento fornecido acima de uma manutenção constante ou considerando-se uma

eficiência constante e um progressivo aumento nos componentes análogos à manutenção.

Alguns autores relatam valores de ELM aumentados quando estimados pela PC_j. Ochoa (2010) e Ferreira (2014) fizeram a equação de regressão obtida pelo logaritmo da produção de calor (PC_j) medida na câmara respirométrica, em diferentes planos alimentares, em função do CEM. Os valores encontrados pela extrapolação para ingestão de energia metabolizável igual a zero corresponderam aos valores de “ELM³” descritos na Tabela 6.4. Verifica-se que estes valores de ELM³ são inferiores aos obtidos pela PC_j (ELM²), e mais próximos aqueles obtidos em experimentos com abate comparativo. Os trabalhos encontram-se em fase inicial, e precisam ser incrementados, uma vez que podem indicar a modificação da metodologia adotada nos experimentos com respirometria. Da mesma forma que a ELM, o *km* encontrado a partir da ELM³ diferencia-se do valor obtido a partir da ELM².

A eficiência de conversão da ED em EM é influenciada por vários fatores, tais como taxa de crescimento microbiano no rúmen,

produção de metano, relação entre energia e proteína na dieta, eficiência de utilização da proteína metabolizável, entre outros. O ARC (1980) relata que a relação EM/ED é de aproximadamente 0,82. O CSIRO (1990) e o NRC (2000) sugerem um valor de 0,81 e 0,80, respectivamente, enquanto o AFRC (1993) utiliza valores de 0,81 a 0,86, e relações mais elevadas, de 0,89 a 0,92, foram encontradas por Hales (2013). Realizou-se a análise das relações entre ED e EM determinadas a partir de ensaios de metabolismo em câmaras respirométricas. O efeito de autor foi significativo, sendo considerado para o desenvolvimento dos modelos plotados (Figuras 6.4 e 6.5). Os dados apresentados demonstraram a alta dependência da variável CEM em função do CED (Figura 6.4, R²=0,99). Considerando-se que em todos os experimentos estudados as perdas por metano foram medidas em câmara respirométrica, e não estimadas, é importante ressaltar que a relação EM/ED foi sempre superior a 0,82.

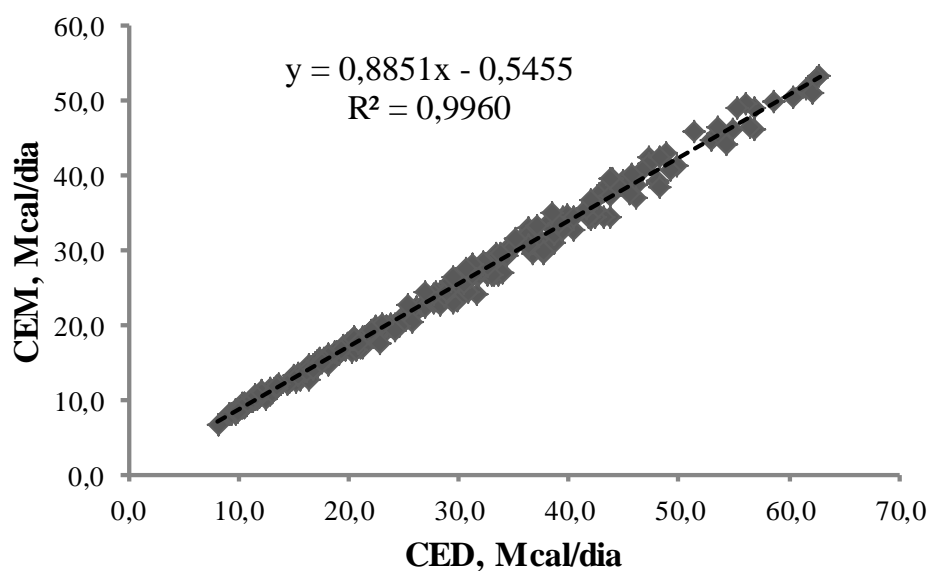


Figura 6.4 - Relação entre o consumo de energia digestível e o consumo de energia metabolizável expressas em Mcal por dia.

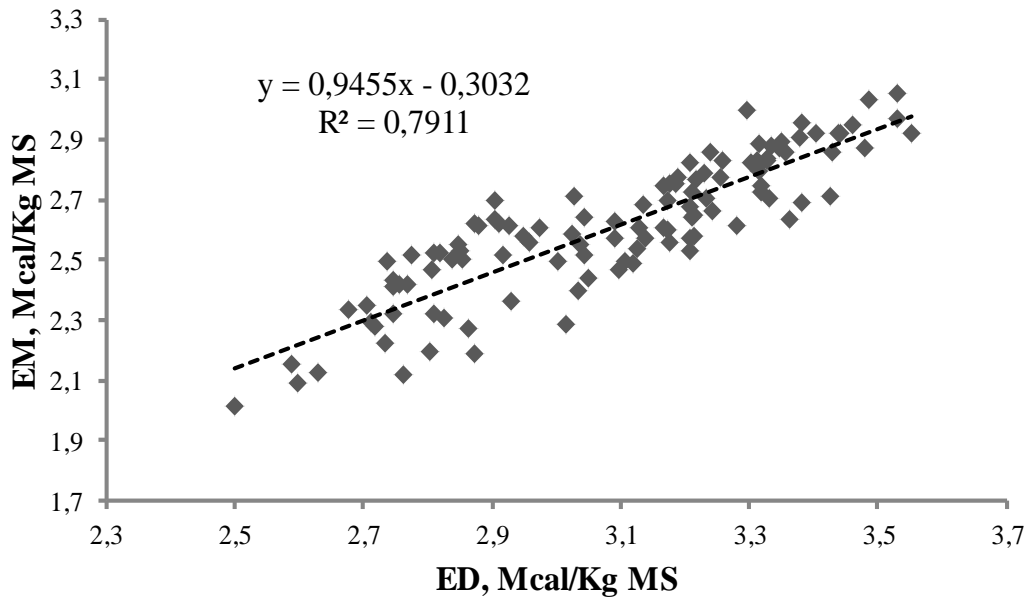


Figura 6.5 - Relação entre energia digestível e energia metabolizável expressas em Mcal por kg de matéria seca.

De modo semelhante Galyean et al. (2016) propuseram um modelo para predição da EM a partir da ED, em Mcal/kg de MS, a partir da análise de 23 trabalhos publicados em várias revistas entre os anos de 1975 e 2015. A predição da EM a partir de um modelo linear apresentou forte correlação com componentes da dieta, porém o aumento na precisão do modelo com a inclusão das

variáveis %PB, %EE e %amido foi pequeno, sendo que os autores recomendaram o uso de uma regressão linear simples. A comparação entre o modelo proposto (Figura 6.5) e aquele sugerido por Galyean et al. (2016) pode ser visualizada na Figura 6.6.

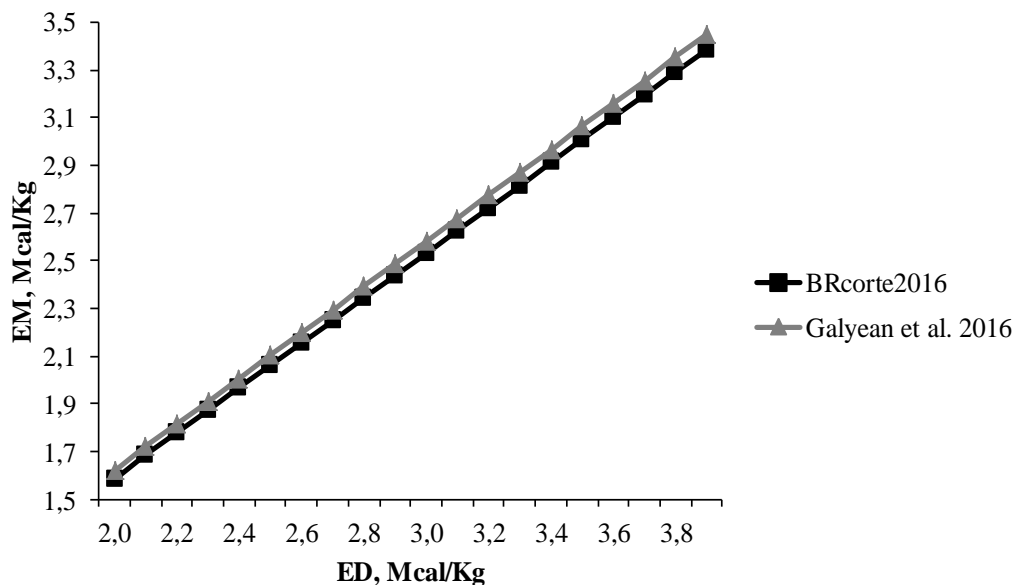


Figura 6.6 - Predição da EM (Mcal/kg) a partir da ED (Mcal/kg) segundo os modelos propostos por BR-CORTE (2016) e Galyean et al. (2016).

Como pode ser observado na Figura 6.6, há grande semelhança entre os valores preditos pelos modelos. Verificou-se que a eficiência de conversão da EM proposta por Galyeen et al. (2016) é superior à eficiência encontrada pela conversão da ED em EM utilizando-se o modelo proposto neste trabalho (BR-CORTE, 2016; Figura 6.5). Ressalta-se que o banco de dados nacional contém maior número de trabalhos em que se utilizaram dietas com menor densidade energética do que as de Galyeen et al. (2016). Sendo assim, recomenda-se o uso do modelo linear simples, proposto na Figura 6.4, como forma de se determinar a EM a partir da ED.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), INCT Ciência Animal – CNPq, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG), Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Fazenda Santa Paula – Curvelo (MG), Fazenda Canoas – Luz (MG), Fazenda Agropecuária Conesol, Campos Altos – MG, BR-Nova Sistemas Nutricionais.

REFERÊNCIAS

- Agricultural and Food Research Council - AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International. 159p. 1993.
- Agricultural Research Council - ARC. *The nutrient requirements of ruminant livestock*. The Gresham Press, London. 1980.
- Axelsson, J. *The amount of produced methane energy in the European metabolic experiments with adult cattle*. Annual Research Agricultural College Sweden, 16. 1949.
- Blaxter, K. L.; Clapperton, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition* 19:511-522, 1965.
- Bratzler, J. W.; Forbes, E. B. The estimation of methane production by cattle. *Journal of Nutrition* 19:611-613, 1940.
- Brouwer, E. Report of sub-committee on constants and factors. p. 441 – 443. In: *Proceedings of the 3rd Symposium on Energy Metabolism*. Blaxter, K. L., ed. E.A.A.P. Publication No. 11. Academic Press, London, New York. 1965.
- Carvalho, P. H. A. *Consumo, digestibilidade, perfil metabólico e exigências nutricionais de energia para manutenção e lactação de vacas Gir e F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais*. Dissertação. (M.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2016.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. CSIRO publications, Victoria. 2007.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Feeding standards for Australian Livestock: Ruminants*. CSIRO publications, Victoria. 1990.
- Duque, A. C. A. *Eficiência alimentar, perfil metabólico e trocas gasosas em novilhas da raça Guzará submetidas a diferentes planos de alimentação*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.
- Environmental Protection Agency - EPA. *Opportunities to Reduce Anthropogenic Methane Emissions in the United States*. Publication 430-R-93-012. EPA, Washington D.C. 2005.
- Ferreira, A. L. *Exigências nutricionais de energia de bovinos machos F1 Holandês x Gir determinadas pelas metodologias de abate comparativo e respirometria calorimétrica*. Tese (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2014.
- Ferrell, C. L.; Koong, L. J.; Nienaber, L. A. Effect of previous nutrition on body composition and maintenance energy costs of growing lambs. *British Journal of Nutrition*, 56:595-605, 1986.
- Fonseca, M. P. *Consumo, digestibilidade aparente e emissão de metano em novilhos F1 Holandês x Gir suplementados com monensina e/ou virginiamicina*. – Dissertação (M.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2012.
- Fonseca, M. P. *Valor energético de dietas para bovinos obtido por respirometria calorimétrica*. Tese (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2016.

- Galyean, M. L.; Cole, N. A.; Tedeschi, L.O.; Branine, M. E. Efficiency of converting digestible energy to metabolizable energy and reevaluation of the California Net Energy System maintenance requirements and equations for predicting dietary net energy values for beef cattle. *Journal of Animal Science*, 94:1329-1341. 2016.
- Hales, K. E.; Brown-Brandl, T. M.; Freetly, H. C. Effects of decreased dietary roughage concentration on energy metabolism and nutrient balance in finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 92:264-271. 2013.
- Kleiber, M. *Bioenergetica Animal. El fuego de la vida*. 1972. 1 ed. Editorial Acribia, Zaragoza.
- Kriss, M. Quantitative relations of the dry matter of the food consumed the heat production, the gaseous outgo and the insensible loss in body weight of cattle. *Agriculture Research* 40:283, 1930
- Lage, H. F. *Partição da energia e exigência de energia líquida para manutenção de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir*. Dissertação (M.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2011.
- Lage, H. F. *Partição da energia e exigências nutricionais no terço final da gestação e avaliação do perfil metabólico durante o período de transição de vacas Gir e F1 Holandês x Gir*. Tese. (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2015.
- Lavoisier, A. L.; Laplace, P. S. M. *Mémoires sur la Chaleur*. Mémoires de L'Académie des Sciences, Paris. 1780.
- Leng, R. A. Quantitative ruminant nutrition – A green house science. *Australian Journal of Agricultural Research*, 44:363 – 380, 1993.
- Mcallister, A. T.; Okine, E. K.; Mathison, G. W. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 76:231-243, 1996.
- Moe, P. W.; Tyrrel, H. F. Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 62:1583 – 1586, 1979.
- Moss, A. R. Methane production by ruminants – Literature review of I. Dietary manipulation to reduce methane production and II. Laboratory procedures for estimating methane potential of diets. *Nutrition Abstracts Reviews Serie B* 64:786-806, 1994.
- National Research Council NRC. 2000. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. National Academic Press, Washington, D.C.
- Ochoa, S. L. P. *Balance y determinación de exigências de energia em ganado Nelore durante las etapas de levante y ceba*. Tese (D.Sc.) – Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 2010.
- Pancoti, C. G. *Exigências nutricionais de energia em novilhas Gir, Holandês e F1 Holandês x Gir*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2015.
- Ramin, M.; P. Huhtanen, P. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *Journal of Dairy Science*, 96: 2476-2493. 2013.
- Rodríguez, N.M; Campos, W.E.; Lachica, M.L. Borges, I; Gonçalves, L.C.; Borges, A.L.C.C.; Saliba, E.O.S. A calorimetry system for metabolismo trials. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59:495-500, 2007.
- Shibata, M.; Terada F.; Kurihara, M; Nishida, T.; Iwasaki, K. 1993. Estimation of methane production in ruminants. *Animal Science Technology* 64:790 – 796.
- Shibata, M.; Terada, F.; Iwasaki, K.; Kurihara, M; Nishida, T. Methane production in heifers, sheep and goats consuming diets of various hay-concentrate ratio. *Animal Science Technology*, 63:1221-1227, 1992.
- Silva, J. S. *Exigências de energia em bezerras lactentes F1 Holandês x Gir, utilizando a respirometria*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.
- Silva, R. R. *Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2011.
- Souza, A. S. *Exigência de energia líquida para manutenção e ganho de peso de novilhas Nelore e Guzerá*. Tese (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.
- Vivenza, P. A. D. *Exigências Nutricionais para Manutenção e Lactação e Perfil Metabólico de Vacas F1 Holandês x Gir e Gir, em Diferentes Planos Nutricionais*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.

Exigências de energia para bovinos de corte

Marcos Inácio Marcondes, Alex Lopes da Silva, Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho

INTRODUÇÃO

A estimativa acurada das exigências de energia para bovinos em crescimento e terminação é um dos pontos-chaves de um sistema de alimentação. No Sistema BR-CORTE, tais exigências têm sido estimadas a partir de um banco de dados que tem crescido ao longo das edições não somente em número de animais, mas também em amplitude de variação de peso e grupos genéticos utilizados. Na primeira edição (Valadares Filho et al., 2006) foram utilizados dados individuais de 187 animais Zebuínos (9 estudos) criados em confinamento. Na segunda edição (Valadares Filho et al., 2010), a partir de dados individuais de 626 animais (25 estudos) foram estimadas exigências para Zebuínos e cruzamentos, e também para animais em pastejo. Na edição atual são apresentadas estimativas para exigências nutricionais de Zebuínos, Cruzados de Corte e Cruzados de Leite, para animais em pastejo e confinamento, a partir de dados individuais de 1369 animais de 38 estudos diferentes.

Utiliza-se como base para estimativa das exigências de energia para animais em crescimento e terminação no BR-CORTE, o sistema apresentado à comunidade científica por Lofgreen e Garrett (1968), intitulado “Um sistema para expressar exigências de energia líquida e valores dos alimentos para animais em crescimento e terminação”. Tal sistema ficou mais tarde conhecido como California Net Energy System (CNES) e estabeleceu a base das recomendações de exigências de energia das edições subsequentes do sistema norte americano (NRC, 1984, 1996, 2000) e BCNRM (2016). Um resumo do que foi estabelecido pelo Sistema CNES pode ser visualizado pela equação abaixo:

$$EMt = EMm + EMg = (ELm/km) + (ELg/kg)$$

Eq. 7.1

em que: EMt = exigência de energia metabolizável total, EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção, EMg = exigência de energia metabolizável para ganho, ELm = exigência de energia líquida para manutenção, km = eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção, ELg = exigência de energia líquida para ganho e kg = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho.

Cabe notar que a base das definições propostas pelo CNES e apresentadas na Eq. 7.1 teve seu entendimento estabelecido por pesquisadores anteriores, que estudaram quantitativamente os mais variados aspectos sobre o uso da energia por animais (Atwater e Bryant, 1900; Armsby, 1917; Kleiber, 1961; Blaxter, 1961; Brody, 1945; Blaxter et al., 1966; Blaxter, 1969).

Uma vez que as estimativas das exigências de energia são realizadas com base no que foi estabelecido na Eq. 7.1, faz-se necessário conhecer as frações apresentadas para que possam ser realizadas as estimativas. O Sistema BR-CORTE usa um banco de dados de experimentos de abate comparativo (Garrett et al., 1959). Nesses experimentos são mensuradas a energia metabolizável consumida (EMt) e a energia retida na forma de tecidos no corpo do animal (ELg). A energia líquida gasta com manutenção (ELm) e as ineficiências de uso da energia para manutenção (1 – km) e ganho (1 – kg) representam a energia consumida que foi transformada em calor (produção de calor) e são estimadas por diferença, com base nos princípios de conservação da energia estabelecidos na 1ª Lei da

Termodinâmica (Clausius, 1850). Uma representação equacional de tais relações é apresentada abaixo:

$$CEM = ER + PCalor \quad \text{Eq. 7.2}$$

$$CEM = EMt \quad \text{Eq. 7.3}$$

$$ER = ELg \quad \text{Eq. 7.4}$$

$$PCalor = ELM + ((1 - km) \times EMm) + ((1 - kg) \times EMg) \quad \text{Eq. 7.5}$$

em que: CEM = consumo de energia metabolizável, ER = energia retida, PCalor = produção de calor, EMt = exigência de energia metabolizável total, ELg = exigência de energia líquida para ganho, ELM = exigência de energia líquida para manutenção, km = eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção, EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção, kg = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho e EMg = exigência de energia metabolizável para ganho.

Uma vez que o valor da PCalor é obtido por diferença e três das variáveis apresentadas na Eq. 7.5 são oriundas da PCalor, usa-se modelos matemáticos para estimar os valores de ELM, km e kg, que serão apresentados nos itens posteriores.

Com base na evolução da base de dados e dos conhecimentos sobre estimativa de exigências nutricionais, os modelos utilizados para estimar as

exigências de energia para bovinos em crescimento e terminação foram discutidos, reavaliados e validados. Assim, foram geradas as recomendações para estimativa das exigências nutricionais de energia para Zebuínos de corte e seus cruzamentos, em crescimento e terminação, criados em condições tropicais, a pasto ou em confinamento.

DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS

A atualização do Sistema BR-CORTE foi realizada com base em um banco de dados composto por 38 estudos realizados em condições brasileiras (Apêndice 7.1). O banco de dados de animais criados em confinamento apresentou grande evolução, partindo de 626 animais na última edição (Valadares Filho et al., 2010) para 1369 animais na edição atual. O grupo genético com maior representatividade no banco de dados foi o de Zebuínos, com 744 animais (Tabela 7.1). O grupo de animais Cruzados de Corte foi constituído de 142 Angus × Nelore, 62 Limousin × Nelore, 12 Marchigiana × Nelore, 73 Simental × Nelore, 11 Pardo-Suíço × Nelore, 23 Brangus e 16 animais bimestiços, com a maior fração de sangue europeu vinda da raça Angus (Tabela 7.2). Já o grupo de animais Cruzados de Leite foi formado por 16 animais Holandês × Gir, 15 Holandês × Guzerá, 155 Nelore × Holandês, 21 Holandês e 79 animais cruzados de leite (Tabela 7.3). O banco de dados de animais criados em sistema de pastejo foi formado por 127 animais, sendo todos da raça Nelore (Tabela 7.4).

Tabela 7.1 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais Zebuínos mantidos em condição de confinamento

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	454	283	438	110	65,6
PCJf, kg	454	383	592	122	91,2
PCVZi, kg	454	249	358	95,2	58,6
PCVZf, kg	454	337	549	109	85,0
PCVZ ^{0,75} , kg	454	70,9	98,2	32,1	12,5
GMD, kg/dia	454	1,00	2,65	-0,14	0,45
GPCVZ, kg/dia	454	0,95	2,30	-0,13	0,43
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	454	50,9	170	-97,4	36,7
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	454	220	467	0,49	78,2
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	454	196	309	87,7	52,3
Machos castrados					
PCJi, kg	166	291	399	164	46,7
PCJf, kg	166	364	520	195	68,4
PCVZi, kg	166	255	352	150	41,7
PCVZf, kg	166	322	469	148	67,0
PCVZ ^{0,75} , kg	166	70,0	91,2	42,7	9,23
GMD, kg/dia	166	0,71	1,53	-0,22	0,42
GPCVZ, kg/dia	166	0,70	1,63	-0,21	0,38
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	166	30,8	103	0,63	23,1
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	166	212	310	114	53,8
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	166	181	232	104	40,0
Fêmeas					
PCJi, kg	124	225	347	127	53,4
PCJf, kg	124	271	437	121	72,4
PCVZi, kg	124	197	403	104	48,8
PCVZf, kg	124	243	397	108	67,7
PCVZ ^{0,75} , kg	124	57,2	89,5	33,0	10,7
GMD, kg/dia	124	0,57	1,27	-0,12	0,39
GPCVZ, kg/dia	124	0,58	1,25	-0,13	0,37
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	124	60,3	272	-6,02	52,3
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	124	217,5	338	110	80,5
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	124	157	229	92,3	51,36

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; PCVZ^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

Tabela 7.2 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais Cruzados de Corte mantidos em condição de confinamento

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	215	302	435	198	51,8
PCJf, kg	215	445	589	230	86,9
PCVZi, kg	215	256	366	173	40,2
PCVZf, kg	215	388	541	199	81,1
PCVZ ^{0,75} , kg	215	75,9	98,3	50,4	11,3
GMD, kg/dia	215	1,15	2,11	-0,07	0,43
GPCVZ, kg/dia	215	1,11	2,04	-0,05	0,42
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	215	58,7	180	-6,72	34,8
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	215	244	489	97,4	76,0
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	215	185	489	22,2	80,2
Machos castrados					
PCJi, kg	75	312	434	189	68,9
PCJf, kg	75	414	581	224	93,2
PCVZi, kg	75	274	385	166	65,3
PCVZf, kg	75	371	518	201	90,3
PCVZ ^{0,75} , kg	75	76,0	97,9	49,9	11,7
GMD, kg/dia	75	1,10	2,35	-0,36	0,67
GPCVZ, kg/dia	75	1,11	2,11	-0,09	0,61
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	75	79,9	114	9,49	32,0
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	75	265	505	90,3	105
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	75	185	359	101	69,6
Fêmeas					
PCJi, kg	49	271	331	194	33,5
PCJf, kg	49	345	494	187	88,5
PCVZi, kg	49	241	311	150	36,8
PCVZf, kg	49	304	443	176	79,8
PCVZ ^{0,75} , kg	49	67,1	85,6	45,5	9,14
GMD, kg/dia	49	0,86	1,75	-0,31	0,66
GPCVZ, kg/dia	49	0,80	1,73	-0,18	0,58
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	49	55,2	104	-7,60	33,4
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	49	238	355	112	82,8
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	49	182	268	103	53,3

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; PCVZ^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

Tabela 7.3 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais Cruzados de Leite mantidos em condição de confinamento

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	85	407	495	317	50,5
PCJf, kg	85	451	661	191	110
PCVZi, kg	85	341	415	266	40,2
PCVZf, kg	85	394	600	167	106
PCVZ ^{0,75} , kg	85	83,9	107	56,4	14,4
GMD, kg/dia	85	1,68	2,64	0,45	0,60
GPCVZ, kg/dia	85	1,52	2,54	0,45	0,65
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	85	92,5	167	18,5	36,1
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	85	273	348	154	60,5
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	85	181	264	11,9	56,3
Machos castrados					
PCJi, kg	88	279	455	104	90,1
PCJf, kg	88	358	575	159	95,9
PCVZi, kg	88	231	363	94,9	66,0
PCVZf, kg	88	312	510	146	86,5
PCVZ ^{0,75} , kg	88	66,9	95,5	36,4	12,8
GMD, kg/dia	88	0,97	2,05	0,15	0,43
GPCVZ, kg/dia	88	0,95	2,00	0,14	0,48
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	88	47,8	112	-93,0	40,2
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	88	258	372	95,7	83,5
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	88	210	343	80,9	67,3
Fêmeas					
PCJi, kg	113	247	399	150	57,6
PCJf, kg	113	309	399	230	55,7
PCVZi, kg	113	161	230	115	31,3
PCVZf, kg	113	274	375	192	57,6
PCVZ ^{0,75} , kg	113	56,6	72,5	43,6	9,19
GMD, kg/dia	113	1,00	1,37	0,29	0,30
GPCVZ, kg/dia	113	0,88	1,30	0,30	0,37
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	113	72,1	115	36,7	23,5
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	113	416	548	348	59,1
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	113	344	475	285	57,9

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; PCVZ^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

Tabela 7.4 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais Zebuínos mantidos em condição de pastagem

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	99	278	404	138	50,6
PCJf, kg	99	391	661	138	68,6
PCVZi, kg	99	242	363	106	41,4
PCVZf, kg	99	343	600	118	58,9
PCVZ ^{0,75} , kg	99	70,7	103	34,5	9,28
GMD, kg/dia	99	0,42	1,13	-0,54	0,38
GPCVZ, kg/dia	99	0,34	0,81	-0,55	0,36
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	99	24,3	105	-52,3	29,1
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	99	199	307	83,4	54,5
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	99	175	340	12,7	59,7
Machos castrados					
PCJi, kg	28	294	455	104	59,8
PCJf, kg	28	370	581	150	91,7
PCVZi, kg	28	253	385	94,9	49,3
PCVZf, kg	28	325	518	125	76,9
PCVZ ^{0,75} , kg	28	70,2	97,9	33,9	9,66
GMD, kg/dia	28	0,57	0,95	-0,15	0,33
GPCVZ, kg/dia	28	0,47	0,90	-0,10	0,29
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	28	16,3	36,9	-12,4	15,5
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	28	210	306	120	54,7
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	28	193	278	129	41,3

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; PCVZ^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA MANTENÇA

Exigências de energia líquida para manutenção

A exigência de energia líquida para manutenção (ELm) pode ser entendida como toda a produção de calor do animal no estado de jejum absoluto e está correlacionada com o atendimento de funções basais, como a manutenção da homeotermia, circulação, respiração, manutenção de sistemas enzimáticos e síntese de tecidos; e o atendimento de atividades voluntárias, como ruminar e caminhar (Garrett et al., 1959).

Primariamente, as exigências de energia para manutenção foram calculadas através de ensaios de alimentação de longa duração, onde foram mantidos níveis de consumo constantes até que os animais atingissem um equilíbrio em seu peso corporal por um período de tempo (Taylor e Young, 1968). Posteriormente, era realizada uma regressão do consumo de energia em função do ganho de peso dos animais, sendo o ponto onde o ganho de peso é igual a zero, encontrado por extrapolação, considerado como a exigência de energia para manutenção dos animais (Jenkins e Ferrell, 1983). No entanto, esta técnica estimava apenas a

exigência de energia metabolizável para manutenção (EM_m), sendo que a ELM, bem como as exigências de ganho, deveriam ser estimadas através de outros métodos, o que contribuiu para que essa técnica fosse preterida em relação a outras.

A ELM pode ser obtida através da utilização de técnicas respirométricas, onde o animal, em jejum absoluto, é mantido no interior de uma câmara e tem toda a sua produção de gás carbônico e metano, bem como seu consumo de oxigênio mensurados (Ferrell e Oltjen, 2008). Partindo-se do princípio que todo o calor produzido é oriundo da oxidação metabólica dos compostos orgânicos, onde é necessário o consumo de oxigênio para produzir gás carbônico, torna-se possível estimar a ELM (ARC, 1965).

A ELM também pode ser estimada de forma indireta, quando se utiliza o método do abate comparativo, que é o caso dos trabalhos adotados para estimar ELM apresentada no

BR-CORTE. Para utilizar este método é necessário que os animais sejam alimentados com diferentes níveis de energia metabolizável, o que resultará em variação na energia retida no corpo e na produção de calor (Lofgreen e Garrett, 1968). A ELM tem sido calculada (tanto para câmaras respirométricas, quanto para abates comparativos) através do uso de uma regressão não-linear exponencial da produção de calor (PCalor) em função do consumo de energia metabolizável (CEM). Nesse ponto, a ELM é admitida como sendo o intercepto (β_0) do modelo (Ferrell e Jenkins, 1998; Figura 7.1).

$$PCalor = \beta_0 \times e^{(\beta_1 \times CEM)}$$

Eq. 7.6

em que: PCalor = produção de calor (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia); CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia) e β_0 e β_1 = parâmetros do modelo.

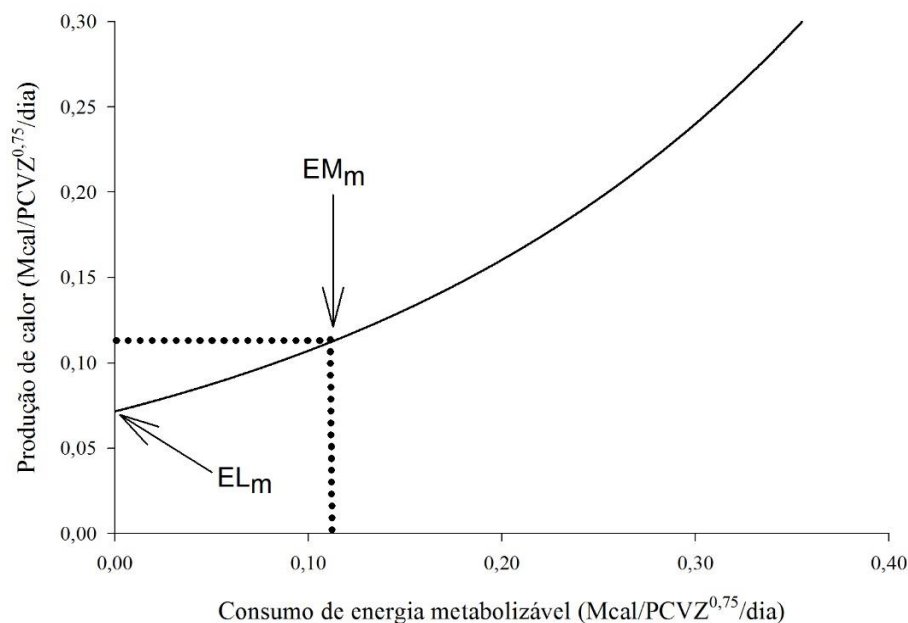


Figura 7.1 - Relação exponencial entre a produção de calor e o consumo de energia metabolizável.

As exigências de ELM foram estimadas com base no modelo acima e testados os efeitos de classe sexual, grupo genético e sistema de criação sobre os parâmetros do modelo. Como o banco de

dados de animais criados à pasto não foi modificado em relação à edição anterior, foram mantidas as mesmas recomendações da edição anterior (Valadares Filho et al., 2010).

a) Animais em Confinamento

Quando o modelo da Eq. 7.6 foi ajustado aos dados de animais em confinamento, não foi observado efeito de classe sexual sobre os parâmetros do modelo ($P > 0,05$). Da mesma forma, não houve efeito de grupo genético sobre o parâmetro β_0 do modelo ($P = 0,332$), o que indica não haver diferenças na estimativa da ELM. Por outro lado, foi observado efeito de grupo genético sobre o parâmetro β_1 do modelo descrito acima ($P < 0,001$), o que indica que existem efeitos raciais sobre a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção, como será demonstrado posteriormente.

Zebuínos:

$$PCalor = 0,0749 \times e^{3,8684 \times CEM} \quad \text{Eq. 7.7}$$

Cruzados de corte:

$$PCalor = 0,0749 \times e^{4,0612 \times CEM} \quad \text{Eq. 7.8}$$

Cruzados de leite:

$$PCalor = 0,0749 \times e^{4,1487 \times CEM} \quad \text{Eq. 7.9}$$

em que PCalor = produção de calor (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia) e CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia).

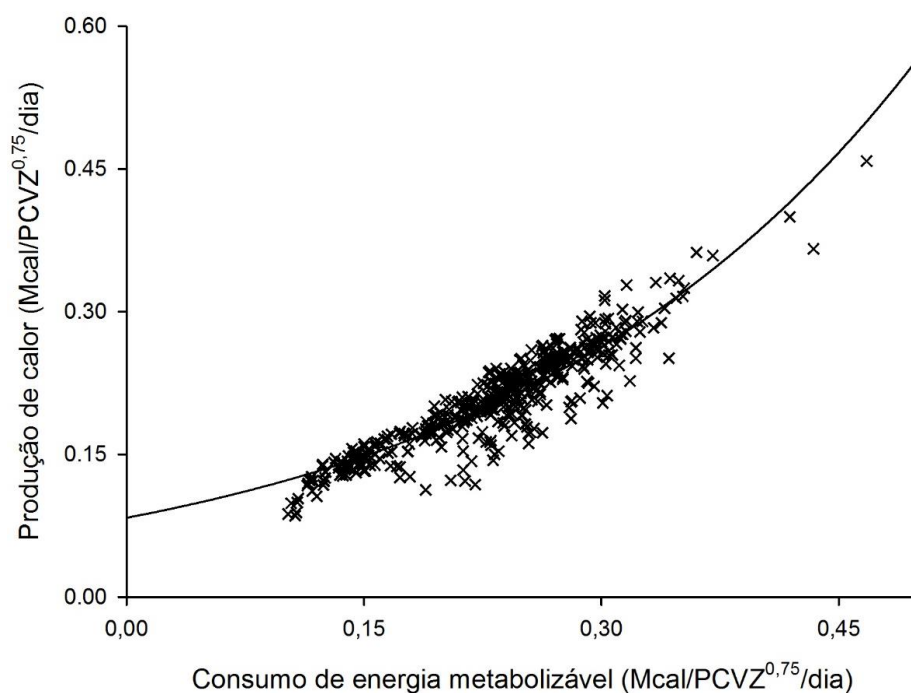


Figura 7.2 - Relação exponencial entre a produção de calor e o consumo de energia metabolizável para animais zebuínos criados em condições de confinamento, com base na equação 7.7.

De modo geral, o valor estimado de 75 kcal/PCVZ^{0,75}/dia para a ELM se mostra consistente, uma vez que se assemelha aos valores reportados na literatura, como por exemplo, a taxa metabólica basal, medida em câmara respirométrica, de 69 kcal/PCVZ^{0,75}/dia (Poczopko, 1971).

O NRC (2000) sugere que não há diferença entre machos castrados e fêmeas sobre a ELM, comportamento descrito também pelo ARC (1980) e CSIRO (1990), e recomenda o

valor de 77 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. O NRC (2000) também sugere que machos não castrados teriam um requerimento de ELM 15% superior às outras classes, no entanto, tais diferenças não foram observadas em nosso banco de dados (Webster et al., 1982; Ferrell e Jenkins, 1985).

O BCNRM (2016) mudou a recomendação da edição anterior (NRC, 2000) de 77 kcal/PCVZ^{0,75}/dia para machos castrados e fêmeas, para 77 kcal/PCVZ^{0,75}/dia e também recomenda um acréscimo de 15% na ELM para

machos não castrados. Também há a sugestão de que animais zebuínos, exceto Nelore, apresentariam requerimentos de ELM em torno de 10% menores que animais de origem taurina, ou seja, em torno de 69 kcal/kg PCJ^{0,75}/dia. No entanto, deve-se salientar que diferenças entre sexos não foram observadas em nosso banco de dados. Comportamento similar foi observado por Chizzotti et al. (2008), que em um estudo envolvendo a análise de dados de 389 animais Nelore puros ou Cruzados de Corte (Angus, Red Angus, Simental, Limousin e Brangus), não observaram efeitos de grupos genéticos e estimaram a ELM de aproximadamente 75 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. De forma geral, pode-se observar a similaridade entre os valores reportados em 2010 e 2016, o que reitera a consistência do banco de dados do BR-CORTE e a aplicabilidade dos valores estimados.

b) Animais em pastejo

A edição anterior do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2010) apresentou

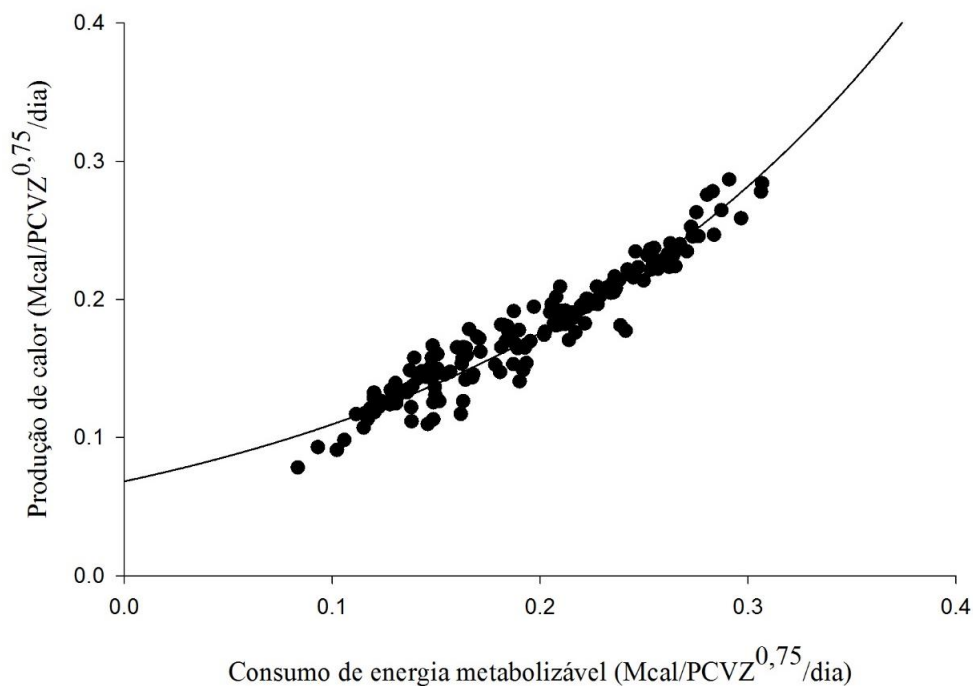


Figura 7.3 - Relação exponencial entre a produção de calor e o consumo de energia metabolizável para animais zebuínos criados em condições de pastejo, com base na equação 7.10.

Teoricamente, a ELM é afetada por características que afetam o metabolismo basal e é independente da dieta, o que justifica a equivalência dos valores para animais criados em sistemas diferentes (Garrett et al., 1959).

diferenças na estimativa da ELM para machos Nelore não castrados de acordo com o sistema de criação, sendo obtidos os valores de 74,2 e 71,7 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, para animais criados em confinamento e em pastejo, respectivamente. No entanto, utilizando o banco de dados da edição atual não foi observado efeito ($P = 0,16$) do sistema de criação sobre a estimativa do β_0 da equação 7.6, sendo adotado o mesmo valor de 75 kcal/PCVZ^{0,75}/dia para a ELM tanto para animais criados em confinamento quanto em pastejo. Por outro lado, foi observada diferença significativa ($P = 0,039$) sobre a estimativa do parâmetro β_1 , o que sugere diferenças quanto EMM.

$$PCalor = 0,0749 \times e^{4,1986 \times CEM}$$

Eq. 7.10

em que: PCalor = produção de calor (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia) e CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia).

Exigências de energia metabolizável para manutenção

A utilização do valor encontrado para a ELM é limitada e não permite aplicação

prática na formulação de dietas, uma vez que animais em produção não se encontram em estado de jejum, assim, torna-se necessário calcular a exigência de manutenção em uma forma mais aplicável. Nesse contexto, surge o conceito da EM_m, que pode ser entendido como o ponto em que todo o consumo de energia metabolizável é utilizado para a produção de calor, ou seja, não há nenhuma retenção de energia no corpo (Lofgreen e Garrett, 1968).

Para obter a EM_m é necessário ter o conhecimento da eficiência com que a energia metabolizável é utilizada para manutenção (*km*). Essa eficiência pode ser obtida através da aplicação de um processo iterativo ao modelo exponencial da produção de calor em função do consumo de energia metabolizável. Com isso, encontra-se o ponto onde a produção de calor e o consumo de energia metabolizável se igualam, cujo valor é considerado a EM_m (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia), e a *km* é estimada a partir da relação entre ELM e EM_m (Figura 7.1).

Essa técnica de estimativa da *km*, apesar de ser clássica e já ter sido utilizada na primeira versão do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2006), foi refutada na edição passada por não levar em consideração a ação de uma série de fatores que podem afetar a *km*. Dentre esses fatores, podem ser destacados sexo, raça, idade, ambiente e a concentração de energia metabolizável da dieta (AFRC, 1993; NRC, 2000; CSIRO, 2007). Além disso, existem fortes evidências de que a *km* é afetada também por características ligadas ao desempenho dos animais, como a taxa e a composição do ganho de peso (Williams e Jenkins, 2003; Marcondes et al., 2010).

a) Animais em Confinamento

Marcondes et al. (2013) estudaram, através de uma meta-análise, o efeito de diversas variáveis sobre a *km*, sendo encontrado efeito da eficiência de uso da energia metabolizável para ganho (*kg*) e do ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) sobre a *km* (Eq. 7.11), o que afirma que os requisitos de manutenção são afetados pelo desempenho dos animais.

$$km = [(\beta_0 + \beta_1 \times kg + \beta_2 \times GPCVZ) \times \theta]$$

Eq. 7.11

em que: *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção; *kg* = eficiência de uso da energia metabolizável para ganho de peso; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros da equação e θ = fator de ajuste para sistema de criação.

Adicionalmente, Marcondes et al. (2013) evidenciaram efeito do grupo genético sobre a estimativa do parâmetro associado ao GPCVZ dos animais, o que reafirma os resultados encontrados no parâmetro β_1 das equações 7.7; 7.8 e 7.9.

Reavaliando o modelo proposto por Marcondes et al. (2013), com base no banco de dados atualizado do BR-CORTE, foi confirmada a diferença entre grupos genéticos sobre o parâmetro associado ao GPCVZ (β_2), sendo mantidos os valores originais reportados pelos autores para animais Zebuínos e Cruzados de Corte. Considerando os dados de animais Zebuínos e Cruzados de Corte, foi observada uma alta acurácia (85,04%; Lin e Torbeck, 1998; Tedeschi, 2004) do modelo proposto por Marcondes et al. (2013). Assim, decidiu-se pela manutenção da equação de *km* para Zebuínos e Cruzados de Corte e foi realizada uma reparametrização do modelo para Cruzados de Leite, de forma a minimizar o Quadrado Médio do Erro das estimativas da *km* para esses animais:

$$km = [(0,513 + 0,173 \times kg + \beta_2 \times GPCVZ) \times \theta]$$

Eq. 7.12

em que: *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção; *kg* = eficiência de uso da energia metabolizável para ganho de peso; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); $\beta_2 = 0,100$ para Zebuínos; $0,073$ para Cruzados de Corte e $0,010$ para Cruzados de Leite e $\theta = 1$ para animais criados em confinamento.

O modelo é coerente com as conclusões de Garrett (1980b), o qual sugeriu que a *km* seria afetada pela composição corporal e o plano nutricional, uma vez que a *kg* é afetada pela composição do ganho (como será mostrado a seguir), e o GPCVZ é efeito do plano de nutrição. Segundo o autor, variações no *turnover* protéico poderiam ser responsáveis por

parte da variação da km , e dessa forma, os grupos genéticos avaliados teriam diferenças em seu *turnover* protéico.

A maioria dos sistemas de exigências nutricionais estimam a km com base em características da dieta. O AFRC (1993) e CSIRO (2007) levam em consideração a relação entre a concentração de energia metabolizável e energia bruta da dieta (q_m) (equações 7.13 e 7.14, respectivamente). A km estabelecida pelo (NRC, 2000 e BCNRM, 2016) é baseada no trabalho de Garrett (1980) e considera a concentração de energia metabolizável da dieta [EM] como a variável que afeta a estimativa da concentração de energia líquida de manutenção [ELm] (Eq. 7.15), sendo a km obtida dividindo-se [ELm] pela [EM]. Por outro lado, Fox et al. (2004) recomendaram um valor fixo de 0,64.

$$km = (0,35 \times q_m) + 0,503 \quad \text{Eq. 7.13}$$

$$km = (0,02 \times q_m) + 0,500 \quad \text{Eq. 7.14}$$

$$[ELm] = -1,12 + 1,37 \times [EM] - 0,138 \times [EM]^2 + 0,0105 \times [EM]^3 \quad \text{Eq. 7.15}$$

em que: km = eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção; q_m = proporção entre a energia metabolizável e energia bruta da dieta (expressa em % na Eq. 7.13, e em MJ/kg de MS na Eq. 7.14) e [EM] = concentração de energia metabolizável da dieta (Mcal/kg de matéria seca).

Como citado anteriormente, o NRC (2000) e o BCNRM (2016) sugerem que animais *Bos indicus*, exceto Nelore, teriam uma ELm 10% menor que animais taurinos. No entanto, como foi apresentado anteriormente, não foi evidenciada nenhuma diferença quanto à ELm em nosso banco de dados, considerando animais cruzados e zebuínos de diferentes classes sexuais. Porém, o modelo de cálculo da km indica que essa diferença pode não estar

relacionada à ELm, mas sim à sua eficiência de utilização, onde animais *Bos indicus* seriam mais eficientes que animais Cruzados de Corte, e esses mais eficientes que animais cruzados de leite.

b) Animais em pastejo

Com relação ao sistema de criação, Marcondes et al. (2013) não fizeram comparações entre condições de confinamento e pastejo no desenvolvimento dos modelos da km . Entretanto, a aplicação do método iterativo sobre as equações geradas com o banco de dados de animais zebuínos criados em confinamento (Eq. 7.7) e de animais criados em pastejo (Eq. 7.10), demonstrou que há influência do sistema de criação sobre a estimativa da EMm. O valor obtido de EMm para animais em pastejo foi 128 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, enquanto para animais zebuínos em confinamento foi de 118 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, o que representa um acréscimo de 8,5% na estimativa final da EMm para animais em pastejo, ou seja, animais em pastejo apresentam uma km 8,5% menor que animais criados em confinamento.

$$km = \left[\frac{(0,513 + 0,173 \times kg + 100 \times GPCVZ)}{\times \theta} \right] \quad \text{Eq. 7.16}$$

em que: km = eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção; kg = eficiência de uso da energia metabolizável para ganho de peso; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e θ = fator de ajustamento para sistema de criação que assume o valor de 0,92 para animais criados em pastejo.

A menor km de animais em pastejo pode estar ligada ao maior gasto com locomoção e apreensão da forragem, que pode estar reduzindo a eficiência de utilização da energia dietética. Outro aspecto está relacionado à qualidade das dietas, uma vez que pastagens, geralmente, apresentam uma concentração de energia metabolizável menor que dietas de confinamento, o que pode levar a uma redução na km (Garrett, 1980b).

Fatores que influenciam a exigência de manutenção

a) Atividades Voluntárias

As exigências nutricionais têm sido estimadas principalmente em animais confinados, devido à possibilidade de mensuração do alimento fornecido e do consumo de energia metabolizável. Entretanto, para animais criados em pastagem, a atividade locomotora é reconhecidamente superior em relação a animais confinados. Nesse sentido, o CSIRO (2007) considera que animais em pastejo gastam mais energia com a atividade de ingestão que animais confinados e assume que a energia despendida com a caminhada é de 0,62 kcal/km de deslocamento horizontal e de 6,69 kcal/km de deslocamento vertical e que a energia metabolizável adicional de ingestão, expressa em MJ, pode ser calculada por $0,0025 \times \text{CMSp} \times (0,9 - \text{DMSp})$, onde CMSp é o consumo de matéria seca (kg/dia) de pasto e DMSp a digestibilidade da matéria seca do pasto. Adotando essas correções, animais a pasto apresentariam exigências de manutenção 10 a 20% superiores em relação à animais confinados, dependendo da topografia do terreno, da taxa de lotação, e da disponibilidade e qualidade do pasto.

No presente trabalho apenas 6 dos 38 estudos presentes no banco de dados foram desenvolvidos em condições de pastejo. Este grupo de animais foi avaliado separadamente quanto aos requerimentos nutricionais e, como já observado anteriormente, houve um acréscimo de 8,5% nas exigências de EMm de animais mantidos em condições de pastejo. No entanto, ainda existe grande variabilidade e escassez nos dados de animais a pasto, o que mostra que ainda há muito a ser feito nesse sistema. Experimentos de abate comparativo, para estimação dos requerimentos nutricionais, conduzidos em pastejo são de difícil condução, pois tanto o consumo de suplemento e pasto, como a excreção fecal são geralmente estimados com o uso de indicadores.

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos para aperfeiçoar os métodos de estimação do consumo e excreção de animais em pastejo (Ferreira et al., 2009), contudo mais experimentos são necessários para aumentar o número de repetições e proporcionar condições para que os procedimentos estatísticos

identifiquem com maior precisão o efeito do pastejo sobre os requisitos de manutenção.

b) Efeitos ambientais

Os principais fatores envolvidos na determinação do conforto térmico são: o ambiente (temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar, e pressão atmosférica), a estrutura da pele do animal (espessura, isolamento térmico, penetração pelo vento, ventilação, emissividade, absorvidade e refletividade) e características corporais (forma corporal, tamanho, área de superfície, área exposta à radiação solar, emissividade e absorvidade da epiderme) (Silva, 2000). A faixa de conforto térmico, delimitada pelas temperaturas críticas inferior e superior, é definida como a faixa de temperatura em que não há gasto adicional de energia para manutenção da temperatura corporal.

Deste modo, sob estresse térmico por calor, o consumo de matéria seca é inferior, entretanto, como a temperatura crítica superior é ultrapassada durante curtos períodos do dia, o consumo pode ser recuperado em horários de temperatura mais amena. Sendo assim o uso desse ajuste é recomendado apenas em casos extremos.

O estresse térmico por calor aumenta a frequência respiratória, a taxa de batimentos cardíacos e a ofegação, aumentando o gasto energético para a manutenção da temperatura corporal, porém também diminui a produção metabólica de calor o que dificulta a adoção de ajustes nas exigências nutricionais para esse fator.

Neste sentido, o NRC (2000) recomenda ajustes nas exigências de energia para manutenção da ordem de $0,0007 \text{ Mcal/PC}^{0,75}$ para cada 1°C de variação que a temperatura ambiente tenha em relação à temperatura padrão de 20°C. Assim, quando a temperatura ambiental for maior que 20°C haverá uma redução na exigência de manutenção e um aumento na exigência de manutenção é esperado quando temperaturas inferiores à 20°C são registradas.

De um modo geral, são escassos estudos no Brasil que avaliem o efeito das variáveis ambientais sobre as exigências nutricionais dos animais. Sendo assim, não serão recomendados ajustes para tais fatores nesta publicação.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA GANHO

Peso de corpo vazio equivalente

A aplicação de mensurações de desempenho, como o ganho médio diário, é essencial em sistemas de predição de exigências nutricionais. Porém, tão importante quanto ter noção do ganho médio diário dos animais, é entender a composição que o ganho apresenta (Marcondes et al., 2016). Uma das formas de inferir sobre a composição do ganho dos animais é através do peso corporal à maturidade dos animais, uma vez que quanto mais próximo deste peso, maior será a tendência a depositar maiores teores de gordura em relação à proteína no peso de corpo vazio.

Primariamente, o peso à maturidade foi correlacionado ao peso estável de uma vaca adulta de determinada raça. No entanto, a aplicação desse valor para animais em crescimento pode não proporcionar resultados satisfatórios, uma vez que algumas raças atingem o peso à idade adulta muito acima do peso normalmente preconizado para abate de bovinos, aliado ao fato de muitos animais estabilizarem muito antes sua composição corporal (Reid et al., 1955). Seguindo este raciocínio, diversas formas foram propostas para estimar o peso à maturidade dos animais, sendo que elas tentam correlacioná-lo com curvas de crescimento (Brown et al., 1976; Menchaca et al., 1996).

De acordo com Reid et al. (1955) e Marcondes et al. (2016), o peso à maturidade seria atingido quando a concentração de proteína bruta na matéria seca livre de gordura dos animais se tornasse constante, ou seja, toda a deposição de tecidos seria na forma de gordura. Para Tedeschi et al. (2002), o peso vivo à maturidade de animais Nelore seria alcançado quando estes animais atingissem um teor de 22% de gordura corporal no peso de corpo vazio. Já para o NRC (2000), o teor de gordura corporal que definiria o peso à maturidade seria de 25% para animais com apenas traços de marmoreio, que é o caso de animais zebuínos.

A partir da composição genética dos animais presentes no banco de dados do BR-CORTE e com base na análise dos dados de composição corporal destes animais, optou-se por estabelecer o peso de corpo vazio à maturidade, com base na relação exponencial entre o conteúdo corporal de gordura e o peso de corpo vazio dos animais, considerando 25% de gordura corporal como o ponto de maturidade (Figura 7.4), uma vez que os animais do banco de dados têm, em sua maioria, um baixo grau de marmoreio (NRC, 2000).

$$GC = \beta_0 \times e^{(\beta_1 \times PCVZ)}$$

Eq. 7.17

onde: GC = conteúdo de gordura corporal (kg); PCVZ = peso de corpo vazio (kg) e β_0 e β_1 são parâmetros da equação.

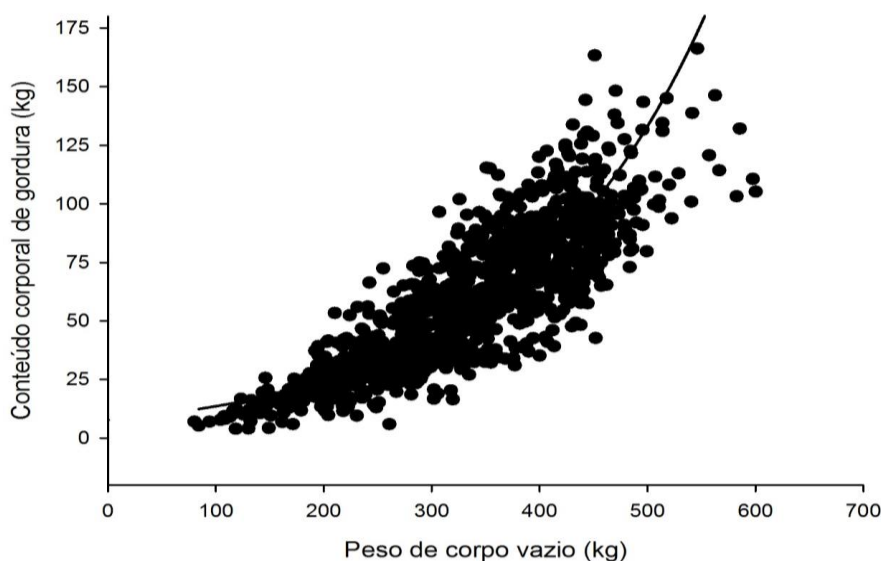


Figura 7.4 - Relação exponencial entre o conteúdo corporal de gordura e o peso de corpo vazio, considerado todos os animais do banco de dados do BR-CORTE.

A partir da aplicação do modelo descrito acima sobre o banco de dados, observou-se efeito de grupo genético e classe sexual para a estimativa do peso de corpo

vazio à maturidade dos animais, sendo recomendados os valores apresentados na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 - Pesos de corpo vazio à maturidade para diferentes grupos genéticos/classes sexuais de bovinos de corte, estimados a partir da relação exponencial entre o conteúdo corporal de gordura e o peso de corpo vazio dos animais

Grupo genético	Classe Sexual	Peso à maturidade (kg)
Zebuínos	Macho não castrado	517
	Macho castrado	433
	Fêmea	402
Cruzado de Corte	Macho não castrado	560
	Macho castrado	482
	Fêmea	417
Cruzado de Leite	Macho não castrado	616
	Macho castrado	532
	Fêmea	493

Arnold and Bennett (1991a; b) sugeriram um peso à maturidade de 517 kg para animais inteiros e 315 kg para novilhas, ambos de raças de tamanho corporal médio. Já Oltjen et al. (1986) estimaram um valor de maturidade de 450 kg para animais castrados. Considerando que animais Nelore são considerados de médio porte (NRC, 2000), pode-se visualizar a convergência entre os dados estimados nesta publicação e os valores reportados na literatura. Animais cruzados tiveram maiores valores de peso à maturidade, o que está relacionado com a utilização de raças de grande porte nos cruzamentos, o que aumenta o peso à maturidade da progênie.

O NRC (2000) sugere que seja feita uma correção, para a estimativa das exigências de energia para ganho, de peso dos animais de diferentes tamanhos corporais ou pesos à maturidade, o que geraria um valor que equivaleria todos os animais, sendo conhecido como peso de corpo vazio equivalente (PCVZeq). Assim, pode-se calcular o PCVZeq a partir do valor de peso à maturidade sugerido anteriormente para cada tipo de animal e um valor referência de peso de corpo vazio, sendo adotado o modelo a seguir:

$$PCVZeq = (PCVZ/PCVZmat) \times PCVZref$$

Eq. 7.18

em que: PCVZeq = peso de corpo vazio equivalente (kg); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); PCVZref = peso de corpo vazio referência (517 kg) e PCVZmat = peso de corpo vazio à maturidade (kg).

A utilização do PCVZeq permite a comparação de animais de diversos grupos raciais e/ou classes sexuais em diferentes pontos de terminação. Para tanto, é necessário que seja bem estabelecido um valor de referência para aumentar a acurácia da estimativa. Assim, o peso de corpo vazio referência (PCVZref), é o peso onde todos os animais estariam em um mesmo ponto de maturidade.

Na última edição do BR-CORTE foi adotado o valor de 440 kg como sendo o PCVZref, valor este calculado com base no banco de dados daquela edição que continha todos os animais. Para a edição atual, optou-se por adotar o valor do peso de corpo vazio à maturidade de animais machos Zebuínos não castrados (517 kg) como sendo o PCVZref. Esta decisão foi pautada na consistência apresentada pelo banco de dados destes animais, além de ser o que possui mais observações e devido a

isto, possivelmente maior confiabilidade nas estimativas.

Exigência de energia líquida para ganho

A exigência de energia líquida para ganho de peso (ELg) pode ser entendida como toda a energia que é retida no peso de corpo vazio dos animais na forma de proteína ou gordura (Garrett et al., 1959). Sendo assim, a composição do ganho de corpo vazio é o principal determinante das exigências de energia para ganho de peso. Nesse sentido, o que determina a composição do ganho de corpo vazio não é o peso corporal absoluto, mas o peso relativo ao peso à maturidade do animal, sendo que quanto mais próximo ao peso à maturidade, maior é a deposição de gordura em relação à proteína, o que tende a aumentar as exigências de ganho de peso (Marcondes et al., 2016).

Neste contexto, o modelo utilizado para estimar a ELg baseia-se na relação da energia retida no corpo em função do PCVZeq e do ganho de peso de corpo vazio desejado:

$$ELg = \beta_0 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{\beta_1} \quad \text{Eq. 7.19}$$

em que: ELg = exigência de energia líquida para ganho de peso (Mcal/dia); PCVZeq^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico equivalente (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e β_0 e β_1 = parâmetros do modelo.

A edição anterior do BR-CORTE utilizou modelos diferentes para cada classe sexual, sendo que as diferenças entre grupos genéticos seriam absorvidas pelo PCVZeq. No entanto, a partir da análise do banco de dados da edição atual, foi evidenciada a necessidade do PCVZeq absorver, além das diferenças intrínsecas a cada grupo genético (Figura 7.5A), também as diferenças entre classes sexuais (Figura 7.5B).

Dessa forma, foi gerada uma equação conjunta, utilizando os dados de todos os

animais terminados em confinamento (Eq. 7.20). Por outro lado, as exigências para animais em pastejo não foram alteradas em relação à última edição (Eq. 7.21).

$$ELg = 0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035} \quad \text{Eq. 7.20}$$

$$ELg = 0,052 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,062} \quad \text{Eq. 7.21}$$

em que: ELg = exigência de energia líquida para ganho de peso (Mcal/dia); PCVZeq^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico equivalente (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia).

Para o efeito de condição sexual e considerando animais Zebuínos, verificou-se uma ELg de animais castrados 14% superior em relação a machos não castrados e 7% inferior em relação às fêmeas (Figura 7.5A). Para animais Cruzados de Corte a ELg de animais castrados foi 12% superior a machos não castrados e 13% inferior a fêmeas. Já para animais Cruzados de Leite a ELg de animais castrados foi 12% superior a machos não castrados e 6% inferior à de fêmeas.

O NRC (2000), bem como o BCNRM (2016), utilizam um modelo similar ao recomendado no BR-CORTE para estimar a ELg, conforme a equação: $ELg = 0,0635 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,097}$, que é baseado na edição de 1984 (NRC, 1984) e foi gerada para animais de médio porte. Assim, para corrigir distorções em relação à composição corporal dos animais, o BCNRM (2016) também recomenda a utilização do PCVZeq. Para calcular o PCVZeq, são utilizados três diferentes pesos referência, que são baseados no nível de marmoreio que é apresentado por diferentes grupos genéticos, sendo, 478 kg para animais com algum marmoreio, 462 kg para animais com marmoreio moderado e 435 kg para animais com apenas traços de marmoreio.

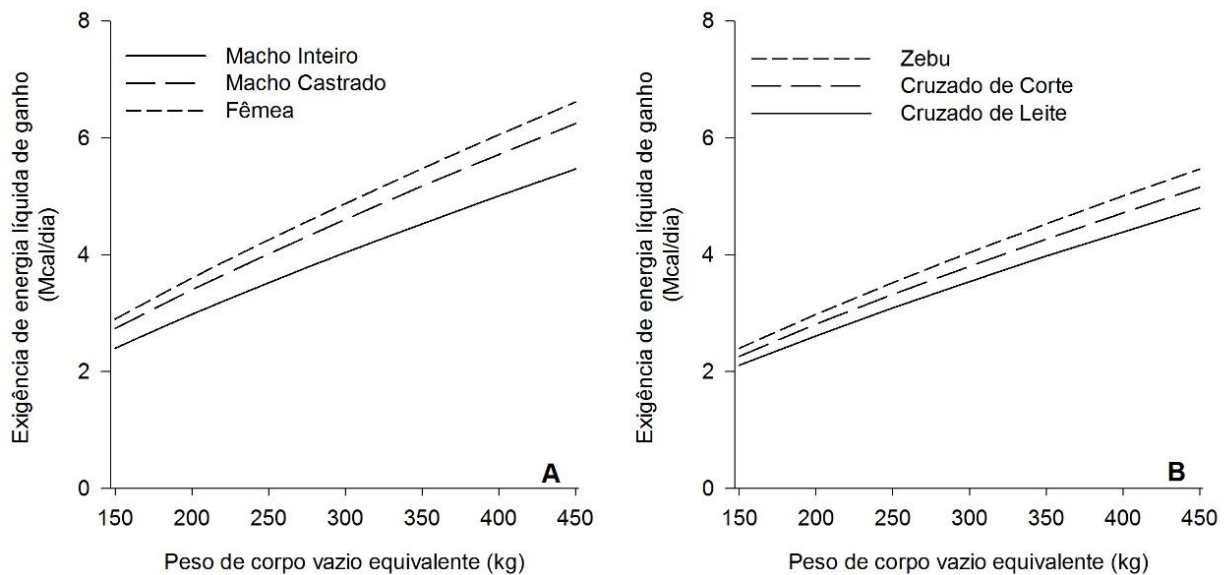


Figura 7.5 - Estimativa da exigência de energia líquida para ganho de animais Zebuínos de diferentes classes sexuais (A) e para machos não castrados de diferentes grupos genéticos (B). Para todas as estimativas foi utilizando o modelo proposto para animais em confinamento, considerando o peso de corpo vazio equivalente inerente a cada categoria e um ganho de peso de corpo vazio de 1 kg/dia.

Diferenças entre os pesos à maturidade dos grupos genéticos refletem diferentes graus de deposição de gordura de animais com o mesmo peso corporal. Assim, para animais de mesmo peso absoluto e à mesma taxa de ganho em peso, são esperadas maiores concentrações energéticas no ganho, e, por consequência, maior ELg para animais de grupos genéticos com menor peso à maturidade em relação a animais de grupos genéticos que apresentam maturidade mais tardia (Marcondes et al., 2016).

Por fim, o GPCVZ pode ser estimado a partir da energia líquida disponível para ganho, a qual seria computada a partir da diferença entre o total de energia ingerida pelo animal e a sua exigência de energia líquida para manutenção, utilizando o seguinte modelo:

$$\text{GPCVZ} = 14,914 \times \text{ELg}^{0,9662} \times \text{PCVZeq}^{-0,7246}.$$

Neste contexto, um animal nelore não-castrado com um peso corporal de 350 kg, que equivaleria a um PCVZeq de 300 kg, teria

um consumo de matéria seca de aproximadamente 8 kg/dia, com uma exigência de energia líquida para manutenção de 5,40 Mcal/dia e um valor de energia líquida disponível para ganho de 5,12 Mcal/dia, o que permitiria almejar um GPCVZ de aproximadamente 1,16 kg/dia.

Exigência de energia metabolizável para ganho

Da mesma forma que a ELM, a ELg não apresenta uma aplicação direta na formulação de dietas, necessitando ser convertida para a forma de exigência de energia metabolizável para ganho (EMg). Assim, para converter a ELg em EMg, torna-se necessário conhecer a eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho de peso (*kg*).

Geralmente, a *kg* é estimada a partir de uma regressão linear da energia retida em função do consumo de energia metabolizável para ganho, onde assume-se que inclinação desta reta (β_1) representaria a *kg* (Figura 7.6).

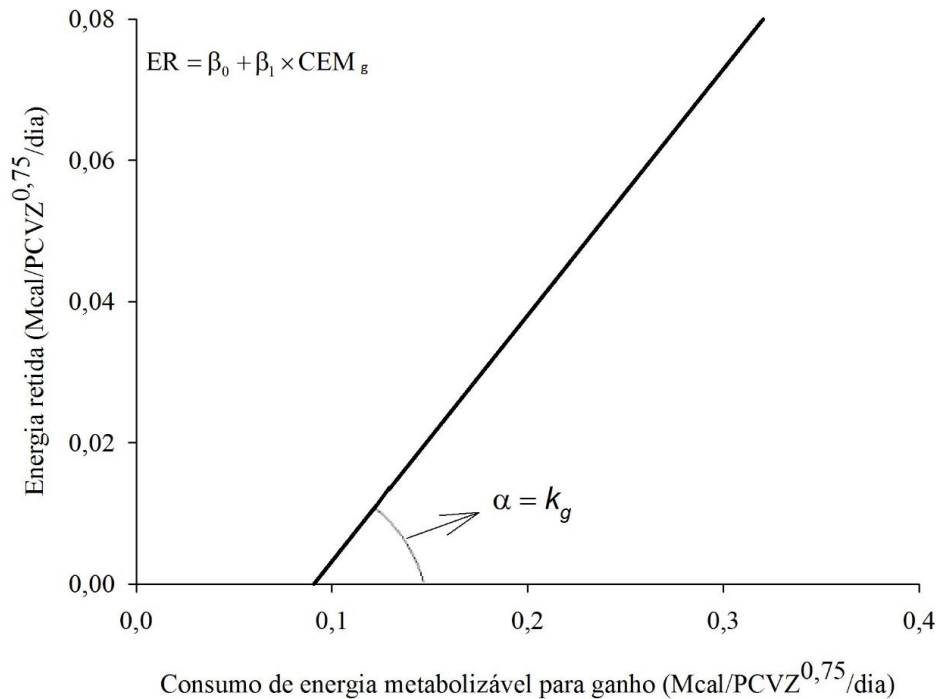


Figura 7.6 - Relação entre energia retida e consumo de energia metabolizável para ganho.

No entanto, observa-se alta variação dos valores de kg entre experimentos quando se considera esse valor como constante (Figura 7.6), pois desprezam-se variações que ocorrem na deposição de tecidos. Desta forma, a eficiência com que a energia é retida no corpo depende das proporções de energia retidas na forma de proteína e de gordura, destacando-se que a eficiência de deposição de energia em forma de gordura é reconhecidamente superior à de proteína (Owens et al., 1995).

Como a gordura é a principal forma de reserva de energia no corpo animal e apresenta o valor calórico de 9,367 kcal/g (Blaxter e Rook, 1953), enquanto a proteína apresenta 5,686 kcal/g (Garrett, 1958), quanto maior a porcentagem de proteína no ganho, menor será a sua concentração energética e vice-versa. Partindo deste princípio, Tedeschi et al. (2004) propuseram estimar a kg baseando-se na porcentagem de energia retida na forma de proteína e nas eficiências parciais de deposição de gordura e proteína:

$$kg = \frac{(kgord \times kprot)}{\left[kprot + \left(\frac{ERprot}{100} \right) \times (kgord - kprot) \right]} \quad \text{Eq. 7.22}$$

em que: kg = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho (%); $kgord$ = eficiência de deposição de energia na forma de gordura (%); $kprot$ = eficiência de deposição de energia na forma de proteína (%) e $ERprot$ = proporção da energia retida na forma de proteína (%).

Reconhecidamente, a eficiência de deposição de energia na forma de gordura é maior do que na forma de proteína, sendo que Tedeschi et al. (2004) encontraram valores de 20 e 75% para $kgord$ e $kprot$, respectivamente. Enquanto o CSIRO (2007) recomenda 45 e 75%, e Chizzotti et al. (2008) obtiveram 34 e 79% para $kgord$ e $kprot$, respectivamente.

Entretanto, Marcondes et al. (2013) observaram superestimativas nos valores da kg quando utilizada a técnica acima e propuseram a estimativa da kg a partir da relação direta com a energia retida

na forma de proteína (ERprot). Para isso, os autores obtiveram a *kg* a partir da relação entre a ER e o consumo de energia metabolizável para ganho (CEMg) para

cada um dos 25 estudos e relacionaram os valores encontrados com diversas outras variáveis (Figura 7.7).

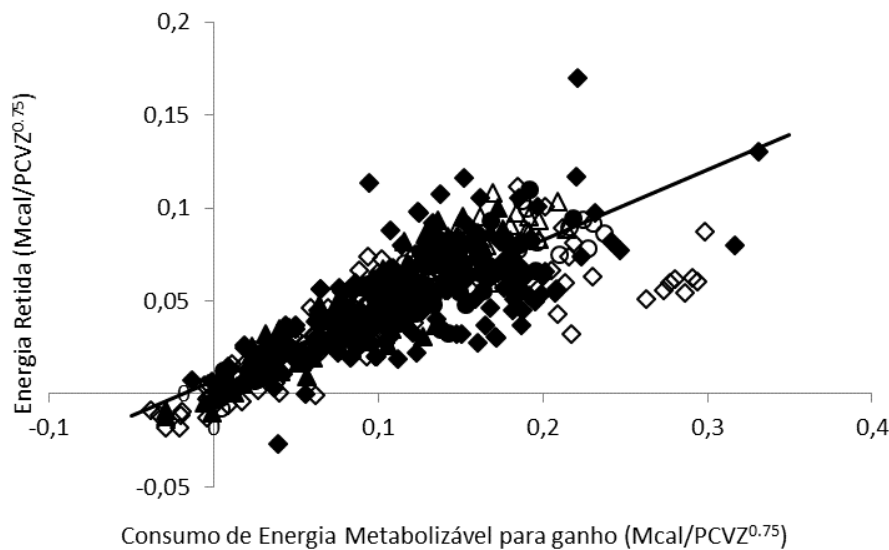


Figura 7.7 - Relação entre o consumo de energia metabolizável para ganho e a energia retida. Os símbolos representam dados de machos não castrados (\blacktriangle , \triangle), machos castrados (\diamond , \blacklozenge), e fêmeas (\circ , \bullet). Pontos sólidos representam animais Nelore, e pontos vazios representam animais cruzados de corte (Adaptada de Marcondes et al., 2010).

Os autores observaram que a ERprot foi a melhor variável para explicar a *kg*, sendo que esta variável é importante por correlacionar a eficiência de ganho com a composição do ganho dos animais (Tedeschi et al., 2004; Chizzotti et al., 2008). Assim, a equação obtida por (Marcondes et al., 2013) e recomendada para estimativa da *kg* nesta edição é:

$$kg = \frac{0,327}{(0,539 + ERprot)}$$

Eq. 7.23

em que: *kg* = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho e ERprot = proporção da energia retida na forma de proteína.

No entanto, a aplicação deste modelo depende de uma estimativa acurada da ERprot. Tedeschi et al. (2004) e Chizzotti et al. (2008) propuseram modelos exponenciais para estimar a ERprot, sendo as respectivas equações:

$$ERprot = 0,0554 + 1,6939 \times e^{\left[-0,5573 \times \left(\frac{ER}{GPCVZ}\right)\right]}$$

$$ERprot = 10,1 + 166,7 \times e^{\left[-0,660 \times \left(\frac{ER}{GPCVZ}\right)\right]}$$

Porém, Marcondes et al. (2013) não utilizaram o mesmo modelo, uma vez que para qualquer uma das equações acima, ainda haveria retenção na forma de proteína mesmo com ER igual a zero. Dessa forma os autores utilizaram um modelo potencial para descrever a retenção de energia na forma de proteína e obtiveram a seguinte equação:

$$ERprot = 1,140 \times \left(\frac{ER}{GPCVZ}\right)^{-1,137}$$

Eq. 7.24

em que: ERprot = proporção da energia retida na forma de proteína; ER=energia retida ou exigência de energia líquida para ganho (Mcal/dia) e GPCVZ=ganho de peso de corpo vazio (kg/dia).

O NRC (2000) e o BCNRM (2016) adotam o princípio da concentração de energia metabolizável na dieta para estimar a concentração de energia líquida de ganho,

sendo a *kg* estimada pela relação entre [ELg] e [EMg]. Da mesma forma, o AFRC (1993) considera a relação entre a energia metabolizável e a energia bruta para estimar o *qm* e posteriormente a *kg*.

$$\begin{aligned} [ELg] &= -1,65 + 1,42 \times [EM] - 0,174 \times \\ & [EM]^2 + 0,0122 \times [EM]^3 \end{aligned}$$

Eq. 7.25

$$km = (0,78 \times q_m) + 0,006$$

Eq. 7.26

em que: [EM] = concentração de energia metabolizável da dieta (Mcal/kg de matéria seca). *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção e *qm* = proporção entre a energia metabolizável e a energia bruta da dieta.

Marcondes et al. (2013) não obtiveram previsões acuradas da *kg* quando utilizaram apenas a concentração de energia metabolizável da dieta, concluindo que a utilização de variáveis que englobam características relacionadas à composição do ganho de peso dos animais é mais indicada na estimativa da *kg*.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Diante de algumas limitações que foram averiguadas no decorrer da construção desta publicação, foram traçados alguns objetivos que devem ser cumpridos até o lançamento da próxima versão do BR-CORTE, com a finalidade de melhorar as estimativas das exigências de energia.

Deve-se destacar que o banco de dados de animais em confinamento apresenta um déficit de animais com pesos extremos. Assim, há a necessidade da execução de experimentos com animais que tenham PCVZ médio menor que 150 kg e maior que 500 kg, para aumentar o domínio dos dados que compõem os modelos de predição das exigências de manutenção e ganho e também aumentar a acurácia dos modelos.

Outro fator que demandará grande empenho é a ampliação do banco de dados de animais criados à pasto, visto que não houve evolução desde a versão passada para a atual. Logo, este é um ponto fundamental a ser trabalhado para a próxima edição. Um tópico a ser adicionado é a realização de experimentos com animais à pasto que tenham os 3 grupos genéticos envolvidos (Nelore, Cruzados de Corte e Cruzados de Leite), a fim de melhorar as interpretações sobre o banco de dados.

A utilização da equação:

$$[EM] = 0,9455 \times [ED] - 0,3032,$$

apresentada no Cap. 6 ao invés de uma relação fixa para a conversão de energia digestível em energia metabolizável (0,82), pode ser considerado um avanço nas estimativas, contudo mais dados são necessários para validar a mesma.

RESUMO DOS MODELOS E EXEMPLO DE CÁLCULO

A seguir será apresentado um resumo dos modelos descritos neste capítulo.

Tabela 7.6 - Resumo dos modelos para estimar as exigências de energia para animais criados em sistema de confinamento

Item	Equações
PCJ (kg)	Zebuínos: $0,8800 \times PC^{1,0175}$ Cruzados: $0,9664 \times PC^{1,0017}$
	Zebuínos: $0,8126 \times PCJ^{1,0134}$
	Cruzados: $0,7248 \times PCJ^{1,0314}$
PCVZ (kg)	Zebuínos: $0,6241 \times PCJ^{1,0608}$
	Cruzados: $0,6586 \times PCJ^{1,0499}$
	Zebuínos: $0,6110 \times PCJ^{1,0667}$
	Cruzados: $0,6314 \times PCJ^{1,0602}$
GPCVZ (kg/dia)	$0,9630 \times GMD^{1,0151}$
PCVZeq (kg)	$\left(\frac{PCVZ}{PCVZ_{mat}} \right) \times 517$
ELm (Mcal/dia)	$0,075 \times PCVZ^{0,75}$
ELg (Mcal/dia)	$0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$
ERprot	$1,140 \times \left(\frac{ER}{GPCVZ} \right)^{-1,137}$
kg	$kg = \frac{0,327}{(0,539 + ERprot)}$
km	Zebuínos: $[(0,513 + 0,173 \times kg + 0,100 \times GPCVZ) \times 1]$ Cruzado corte: $[(0,513 + 0,173 \times kg + 0,073 \times GPCVZ) \times 1]$ Cruzado leite: $[(0,513 + 0,173 \times kg + 0,010 \times GPCVZ) \times 1]$
EMm (Mcal/dia)	ELm/km
EMg (Mcal/dia)	ELg/kg
EMtotal (Mcal/dia)	EMm + EMg
ED (Mcal/dia)	$\left(\frac{(EMtotal/CMS) + 0,3032}{0,9455} \right) \times CMS$
NDT (kg/dia)	ED/4,4

Tabela 7.7 - Resumo dos modelos para estimar as exigências de energia para animais criados em sistema de pastejo

Item	Equações
PCJ (kg)	$0,8800 \times PC^{1,0175}$
PCVZ (kg)	$0,8507 \times PCJ^{1,0002}$
GPCVZ (kg/dia)	$0,9630 \times GMD^{1,0151}$
PCVZeq (kg)	$\left(\frac{PCVZ}{PCVZ_{mat}} \right) \times 517$
ELm (Mcal/dia)	$0,075 \times PCVZ^{0,75}$
ELg (Mcal/dia)	$0,052 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,062}$
ERprot	$1,140 \times \left(\frac{ER}{GPCVZ} \right)^{-1,137}$
kg	$kg = \frac{0,327}{(0,539 + ERprot)}$
km	$[(0,513 + 0,173 \times kg + 0,100 \times GPCVZ) \times 0,92]$
EMm (Mcal/dia)	ELm/km
EMg (Mcal/dia)	ELg/kg
EMtotal (Mcal/dia)	EMm + EMg
ED (Mcal/dia)	$\left(\frac{(EMtotal/CMS) + 0,3032}{0,9455} \right) \times CMS$
NDT (kg/dia)	ED/4,4

A fim de ilustrar a aplicação dos modelos apresentados neste capítulo será realizada a estimativa das exigências de energia para um novilho Nelore não castrados com 400 kg de peso corporal e ganhando 1 kg/dia de peso corporal em sistema de confinamento.

- $PCJ = 0,88 \times PC^{1,0175} \rightarrow 0,88 \times 400^{1,0175} \rightarrow 391 \text{ kg}$
- $PCVZ = 0,8126 \times PCJ^{1,0134} \rightarrow 0,8126 \times 391^{1,0134} \rightarrow 344 \text{ kg}$
- $GPCVZ = 0,963 \times GMD^{1,0151} \rightarrow 0,963 \times 1^{1,0151} \rightarrow 0,963 \text{ kg/dia}$
- $PCVZeq = (PCVZ / 517) \times 517 \rightarrow (344 / 517) \times 517 \rightarrow 344 \text{ kg}$
- $ELg = 0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035} \rightarrow 0,061 \times 344^{0,75} \times 0,963^{1,035} \rightarrow 4,69 \text{ Mcal/dia}$
- $ERprot = 1,140 \times (ER / GPCVZ)^{-1,137} \rightarrow 1,140 \times (4,69 / 0,963)^{-1,137} \rightarrow 0,1885$
- $kg = 0,327 / (0,539 + ERprot) \rightarrow 0,327 / [0,539 + 0,1885] \rightarrow 0,45$
- $EMg = ELg / kg \rightarrow 4,69 / 0,45 \rightarrow 10,4 \text{ Mcal/dia}$
- $ELm = 0,075 \times PCVZ^{0,75} \rightarrow 0,075 \times 344^{0,75} \rightarrow 5,99 \text{ Mcal/dia}$
- $km = [(0,513 + 0,173 \times kg + 0,100 \times GPCVZ) \times 1] \rightarrow [(0,513 + 0,173 \times 0,45 + 0,100 \times 0,963) \times 1] \rightarrow 0,69$
- $EMm = ELm / km \rightarrow 5,99 / 0,69 \rightarrow 8,72 \text{ Mcal/dia}$
- $EMtotal = EMg + EMm \rightarrow 10,43 + 8,72 \rightarrow 19,2 \text{ Mcal/dia}$

- $ED = [((EM_{total} / CMS) + 0,3032) / 0,9455] \times CMS \rightarrow [((19,15 / 8,31) + 0,3032) / 0,9455] \times 8,31 \rightarrow 22,92 \text{ Mcal/dia}$
- $NDT = ED / 4,4 \rightarrow 22,92 / 4,4 \rightarrow 5,21 \text{ kg/dia}$

TABELAS DE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA

Nesta seção serão apresentadas tabelas com as estimativas das exigências de energia líquida de ganho, exigências totais de energia

metabolizável e exigências de nutrientes digestíveis totais para animais Zebuínos, Cruzados de Corte e Cruzados de Leite criados em confinamento, bem como, para animais Zebuínos criados em pastagens.

Tabela 7.8 - Exigências de energia para zebuínos de diferentes classes sexuais, pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,61	6,96	7,86	6,30	7,65	8,54	6,96	8,31	9,21	7,60	8,95	9,85
Machos não castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,80			5,40			5,99			6,56		
EMm (Mcal/dia)	7,59	7,04	6,56	8,51	7,89	7,36	9,39	8,72	8,14	10,3	9,52	8,89
ELg (Mcal/dia)	1,81	3,75	5,74	2,04	4,23	6,47	2,26	4,69	7,18	2,48	5,13	7,86
EMg (Mcal/dia)	4,37	8,97	13,7	4,72	9,71	14,8	5,07	10,4	15,9	5,41	11,1	17,0
EMt (Mcal/dia)	12,0	16,0	20,2	13,2	17,6	22,2	14,5	19,2	24,0	15,7	20,7	25,9
NDT (kg/dia)	3,28	4,36	5,44	3,64	4,79	5,95	3,98	5,21	6,45	4,32	5,62	6,94
Machos castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,81			5,45			6,08			6,69		
EMm (Mcal/dia)	7,57	7,03	6,56	8,54	7,93	7,40	9,5	8,8	8,22	10,4	9,7	9,0
ELg (Mcal/dia)	2,08	4,30	6,59	2,35	4,87	7,46	2,62	5,43	8,31	2,88	5,97	9,15
EMg (Mcal/dia)	4,78	9,83	15,0	5,21	10,7	16,3	5,64	11,6	17,7	6,05	12,5	19,0
EMt (Mcal/dia)	12,4	16,9	21,5	13,8	18,7	23,7	15,1	20,4	25,9	16,4	22,1	28,0
NDT (kg/dia)	3,38	4,56	5,75	3,76	5,04	6,33	4,14	5,51	6,90	4,51	5,97	7,45
Fêmeas												
ELm (Mcal/dia)	4,86			5,51			6,14			6,76		
EMm (Mcal/dia)	7,62	7,08	6,60	8,6	7,99	7,46	9,6	8,9	8,3	10,5	9,7	9,1
ELg (Mcal/dia)	2,22	4,59	7,03	2,51	5,20	7,97	2,80	5,80	8,88	3,08	6,39	9,78
EMg (Mcal/dia)	5,00	10,3	15,7	5,46	11,2	17,1	5,92	12,2	18,6	6,37	13,1	20,0
EMt (Mcal/dia)	12,6	17,4	22,3	14,1	19,2	24,6	15,5	21,1	26,9	16,9	22,9	29,1
NDT (kg/dia)	3,44	4,68	5,93	3,84	5,18	6,54	4,23	5,67	7,13	4,61	6,15	7,72

ELm = exigência de energia líquida para manutenção; EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; ELg = exigência de energia líquida para ganho; EMg = exigência de energia metabolizável para ganho; EMt = exigência total de energia metabolizável; NDT = exigência de nutrientes digestíveis totais.

Tabela 7.9 - Exigências de energia para cruzados de corte de diferentes classes sexuais, pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,81	7,28	8,45	6,38	7,85	9,02	6,93	8,40	9,57	7,46	8,93	10,1
Machos não castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,77			5,37			5,96			6,53		
EMm (Mcal/dia)	7,56	7,01	6,53	8,48	7,86	7,33	9,36	8,69	8,11	10,22	9,49	8,85
ELg (Mcal/dia)	1,70	3,51	5,38	1,91	3,96	6,06	2,12	4,39	6,72	2,32	4,81	7,36
EMg (Mcal/dia)	4,19	8,60	13,1	4,52	9,29	14,2	4,85	9,96	15,2	5,16	10,6	16,2
EMt (Mcal/dia)	11,7	15,6	19,6	13,0	17,2	21,5	14,2	18,6	23,3	15,4	20,1	25,0
NDT (kg/dia)	3,25	4,28	5,33	3,59	4,70	5,82	3,92	5,10	6,30	4,24	5,48	6,76
Machos castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,80			5,42			6,02			6,61		
EMm (Mcal/dia)	7,57	7,03	6,55	8,51	7,90	7,37	9,42	8,75	8,16	10,3	9,57	8,93
ELg (Mcal/dia)	1,91	3,96	6,06	2,16	4,47	6,84	2,40	4,96	7,60	2,63	5,45	8,34
EMg (Mcal/dia)	4,52	9,29	14,2	4,91	10,1	15,4	5,28	10,9	16,6	5,65	11,6	17,7
EMt (Mcal/dia)	12,1	16,3	20,7	13,4	18,0	22,7	14,7	19,6	24,7	16,0	21,2	26,7
NDT (kg/dia)	3,33	4,45	5,59	3,69	4,90	6,12	4,04	5,33	6,64	4,38	5,75	7,15
Fêmeas												
ELm (Mcal/dia)	4,86			5,49			6,11			6,71		
EMm (Mcal/dia)	7,63	7,08	6,61	8,6	7,98	7,44	9,5	8,8	8,25	10,4	9,7	9,0
ELg (Mcal/dia)	2,16	4,47	6,84	2,44	5,05	7,73	2,71	5,62	8,60	2,98	6,17	9,44
EMg (Mcal/dia)	4,90	10,1	15,4	5,35	11,0	16,8	5,78	11,9	18,1	6,20	12,8	19,5
EMt (Mcal/dia)	12,5	17,2	22,0	13,9	19,0	24,2	15,3	20,7	26,4	16,6	22,5	28,5
NDT (kg/dia)	3,44	4,66	5,90	3,81	5,13	6,48	4,18	5,60	7,04	4,54	6,05	7,59

ELm = exigência de energia líquida para manutenção; EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; ELg = exigência de energia líquida para ganho; EMg = exigência de energia metabolizável para ganho; EMt = exigência total de energia metabolizável; NDT = exigência de nutrientes digestíveis totais.

Tabela 7.10 - Exigências de energia para cruzados de leite de diferentes classes sexuais, pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,21	6,75	7,80	5,96	7,49	8,55	6,68	8,21	9,27	7,37	8,91	9,96
Machos não castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,77			5,37			5,96			6,53		
EMm (Mcal/dia)	7,58	7,03	6,55	8,50	7,88	7,35	9,39	8,71	8,12	10,25	9,51	8,87
ELg (Mcal/dia)	1,58	3,27	5,01	1,78	3,68	5,64	1,97	4,09	6,26	2,16	4,48	6,85
EMg (Mcal/dia)	4,01	8,23	12,5	4,32	8,87	13,5	4,62	9,49	14,5	4,91	10,10	15,4
EMt (Mcal/dia)	11,6	15,3	19,1	12,8	16,8	20,9	14,0	18,2	22,6	15,2	19,6	24,3
NDT (kg/dia)	3,17	4,16	5,15	3,52	4,57	5,64	3,85	4,97	6,10	4,18	5,36	6,56
Machos castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,80			5,42			6,02			6,61		
EMm (Mcal/dia)	7,60	7,05	6,57	8,54	7,92	7,39	9,45	8,77	8,18	10,3	9,59	8,95
ELg (Mcal/dia)	1,77	3,67	5,63	2,00	4,15	6,35	2,23	4,61	7,06	2,44	5,06	7,75
EMg (Mcal/dia)	4,31	8,85	13,5	4,67	9,59	14,6	5,01	10,3	15,7	5,35	11,0	16,8
EMt (Mcal/dia)	11,9	15,9	20,1	13,2	17,5	22,0	14,5	19,1	23,9	15,7	20,6	25,8
NDT (kg/dia)	3,24	4,31	5,39	3,61	4,76	5,91	3,96	5,18	6,42	4,31	5,60	6,92
Fêmeas												
ELm (Mcal/dia)	4,86			5,49			6,11			6,71		
EMm (Mcal/dia)	7,67	7,11	6,64	8,63	8,01	7,47	9,56	8,88	8,28	10,5	9,7	9,07
ELg (Mcal/dia)	1,90	3,94	6,03	2,15	4,45	6,82	2,39	4,95	7,58	2,63	5,44	8,33
EMg (Mcal/dia)	4,51	9,26	14,1	4,89	10,06	15,3	5,27	10,8	16,5	5,64	11,6	17,7
EMt (Mcal/dia)	12,2	16,4	20,7	13,5	18,1	22,8	14,8	19,7	24,8	16,1	21,3	26,8
NDT (kg/dia)	3,31	4,43	5,55	3,68	4,89	6,11	4,05	5,34	6,64	4,41	5,78	7,17

ELm = exigência de energia líquida para manutenção; EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; ELg = exigência de energia líquida para ganho; EMg = exigência de energia metabolizável para ganho; EMt = exigência total de energia metabolizável; NDT = exigência de nutrientes digestíveis totais.

Tabela 7.11- Exigências de energia para bovinos criados a pasto de diferentes pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,24	6,11	7,76	6,11	7,13	9,05	6,98	8,15	10,3	7,85	9,17	11,6
ELm (Mcal/dia)	4,69			5,28			5,85			6,40		
EMm (Mcal/dia)	7,36	6,67	6,18	8,23	7,48	6,94	9,08	8,26	7,67	9,9	9,02	8,38
ELg (Mcal/dia)	1,77	3,67	5,62	1,99	4,13	6,32	2,21	4,57	7,00	2,42	5,00	7,66
EMg (Mcal/dia)	3,97	6,73	9,6	4,28	7,41	10,7	4,59	8,06	11,7	4,89	8,70	12,7
EMt (Mcal/dia)	11,3	13,4	15,8	12,5	14,9	17,6	13,7	16,3	19,4	14,8	17,7	21,1
NDT (kg/dia)	3,10	3,67	4,36	3,45	4,10	4,89	3,79	4,52	5,41	4,13	4,93	5,91

ELm = exigência de energia líquida para manutenção; EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; ELg = exigência de energia líquida para ganho; EMg = exigência de energia metabolizável para ganho; EMt = exigência total de energia metabolizável; NDT = exigência de nutrientes digestíveis totais.

REFERÊNCIAS

- Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. Wallingford, UK: Agricultural and Food Research Council. CAB International, 1993.
- Agricultural Research Council - ARC. *The nutrient requirements of farm livestock*. Londres, Inglaterra: Commonwealth Agricultural Bureau, 14-84, 1965.
- Agricultural Research Council - ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureau. The Gresham Press, 351 p, 1980.
- Armsby, H. P. *The nutrition of farm animals*. New York: The Macmillan Co., NY, 743 p, 1917.
- Arnold, R. N.; Bennett, G. L. Evaluation of four simulation models of cattle growth and body composition: Part I - Comparison and characterization of the models. *Agricultural Systems*, 35:401–432, 1991a.
- Arnold, R. N.; Bennett, G. L. Evaluation of four simulation models of cattle growth and body composition: Part II - Simulation and comparison with experimental growth data. *Agricultural Systems*, 36:17–41, 1991b.
- Atwater, W.; Bryant, A. The availability and fuel value of food materials. Conn Agr Expt Sta 12th Ann Rpt. *Proceedings...* 73–110, 1900.
- Beef Cattle Nutrient Requirements Model - BCNRM. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 8th ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 475 p, 2016.
- Blaxter, K. L. The efficiency of energy transformation in ruminants. In: K. L. Blaxter; J. Kielanowski; G. Thorbek (Eds.); *Proceedings of Energy Metabolism of Farm Animals*, 4. Warsaw: Oriel Press. *Proceedings...* 21–28, 1969.
- Blaxter, K. L.; Clapperton, J. L.; Martin, A. K. The heat of combustion of the urine of sheep and cattle in relation to its chemical composition and to diet. *British Journal of Nutrition*, 20:449–459, 1966.
- Blaxter, K. L. and Martin, A. K. The utilization of protein as a source of energy in fattening sheep. *British Journal of Nutrition*, 16:397-404.1962.
- Blaxter, K. L. The utilization of the energy of food by ruminants. In: E. Brouwer; A. J. H. Van Es (Eds.); *Proceedings of Energy Metabolism of Farm Animals*, 2. Wageningen: Pudoc. *Proceedings...* 211-224, 1961.
- Blaxter, K. L.; Rook, J. A. F. The heat of combustion of the tissues of cattle in relation to their chemical composition. *British Journal of Nutrition*, 7:83–91, 1953.
- Brody, S. *Bioenergetics and growth*. NY: Reinhold, 1023p, 1945.
- Brown, J. E.; Fitzhugh Jr., H. A.; Cartwright, T. C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal Animal Science*, v. 42, n. 4, p. 810–818, 1976.
- Chizzotti, M. L.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nellore cattle. *Journal of Animal Science*, 86:1588–1597, 2008.
- Clausius, R. Ueber die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen. *Annalen der Physik*, 155:500–524, 1850.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Feeding Standards for Australian Livestock: Ruminants*. Melbourne, Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 266 p, 1990.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. Collingwood, VIC: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 270 p, 2007.
- Ferreira, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Paixão, M. L.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1568–1573, 2009.
- Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Energy utilization by Hereford and Simmental males and females. *Animal Production*, 41:53–61, 1985.
- Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: II. Angus, Boran, Brahman, Hereford, and Tuli sires. *Journal of Animal Science*, 76:647–657, 1998.
- Ferrell, C. L.; Oltjen, J. W. ASAS centennial paper: Net energy systems for beef cattle - Concepts, application, and future models. *Journal of Animal Science*, 86:2779–2794, 2008.

- 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*, 112:29–78, 2004.
- Garrett, W. N. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Animal Science*, Davis, CA: University of California, 1958.
- Garrett, W. N. Energy utilization by growing cattle as determined in 72 comparative slaughter experiments. In: L. E. Mount (Ed.); *Proceedings of Energy Metabolism*, 8. Cambridge: Butterworths & Co. *Proceedings...* 3–7, 1980a.
- Garrett, W. N. Factors influencing energetic efficiency of beef production. *Journal of Animal Science*, 51:1434–1440, 1980b.
- Garrett, W. N.; Meyer, J. H.; Lofgreen, G. P. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Journal of Animal Science*, 18:528–547, 1959.
- Jenkins, T. G.; Ferrell, C. L. Nutrient requirements to maintain weight of mature, nonlactating, noprogranant cows of four breed types. *Journal of Animal Science*, 56:761–770, 1983.
- Kleiber, M. *The Fire of Life: An Introduction to Animal Energetics*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 454 p, 1961.
- Lin, L.; Torbeck, L. D. Coefficient of accuracy and concordance correlation coefficient: New statistics for methods comparison. *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 52:55–59, 1998.
- Lofgreen, G. P.; Garrett, W. N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 27:793–806, 1968.
- Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C. Prediction of partial efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain. Southern Section of American Society of Animal Science. Orlando, FL: American Society of Animal Science. *Proceedings...* 28, 2010.
- Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Costa E Silva, L. F.; Silva, A. L. Using growth and body composition to determine weight at maturity in Nelore cattle. *Animal Production Science*, 56:1121–1129, 2016.
- Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Gionbelli, M. P. Predicting efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain and maintenance of Nelore cattle. *Journal of Animal Science*, 91:4887–98, 2013.
- Menchaca, M. A.; Chase, C. C.; Olson, T. A.; Hammond, A. C. Evaluation of growth curves of Brahman cattle of various frame sizes. *Journal of Animal Science*, 74:2140–2151, 1996.
- National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th ed. Washington, DC: National Academy Press, 90 p, 1984.
- National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. Washington, DC: National Academy Press, 244 p, 1996.
- National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. Washington, DC: National Academy Press, 244 p, 2000.
- Oltjen, J. W.; Bywater, A. C.; Baldwin, R. L.; Garrett, W. N. Development of a dynamic model of beef cattle growth and composition. *Journal of Animal Science*, 62:86–97, 1986.
- Owens, F. N.; Gill, D. R.; Secrist, D. S.; Coleman, S. W. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 73:3152–3172, 1995.
- Poczopko, P. Metabolic levels in adult homeotherms. *Acta theriologica*, 16:1–21, 1971.
- Reid, J. T.; Wellington, G. H.; Dunn, H. O. Some relationships among the major chemical components of the bovine body and their application to nutritional investigations. *Journal of Dairy Science*, 38:1344–1359, 1955.
- Silva, R. G. *Introdução à Bioclimatologia Animal*. São Paulo: Nobel, 286 p, 2000.
- Taylor, C. S.; Young, G. B. Equilibrium weight in relation to food intake and genotype in twin cattle. *Animal Production*, 10:393–412, 1968.
- Tedeschi, L. O. Assessment of the Adequacy of Mathematical Models. *Agricultural Systems*. Sassari, Italy. *Proceedings...* 225–247, 2004.
- Tedeschi, L. O.; Boin, C.; Fox, D. G.; Leme, P. R.; Alleoni, G. F.; Lanna, D. P. Energy requirement for maintenance and growth of Nelore bulls and steers fed high-forage diets. *Journal of Animal Science*, 80:1671–1682, 2002.

- Tedeschi, L. O.; Fox, D. G.; Baker, M. J. Unveiling the production efficiency of the beef cow: A systematic approach using nutrition models. *Animal Science Mimeograph Series no. 224*. Cornell Cooperative Extension, Corning, NY, 2004.
- Tedeschi, L. O.; Fox, D. G.; Guioy, P. J. A decision support system to improve individual cattle management. 1. A mechanistic, dynamic model for animal growth. *Agricultural Systems*, 79:171–204, 2004.
- Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR-CORTE*. 2nd ed. Viçosa - MG: Suprema Gráfica e Editora LTDA, 193 p, 2010.
- Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhães, K. A. *Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos - BR CORTE*. 1st ed. Viçosa, MG: Suprema Grafica Ltda, 142 p, 2006.
- Webster, A. J. F.; Smith, J. S.; Mollison, G. S. Energy requirements of growing cattle: effects of sire breed, plane nutrition, sex and season on predicted basal metabolism. In: Ekern, A.; Sundstol, F. (Eds.). *Energy metabolism of farm animals: Proceedings of the 9th symposium*. 1st ed., Lillehammer, Norway: EAAP Publishing, 84–87, 1982.
- Williams, C. B.; Jenkins, T. G. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. *Journal of Animal Science*, 81:1371–1381, 2003.

Exigências de proteína para bovinos de corte

Polyana Pizzi Rotta, Ana Clara Baião Menezes, Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Laura Franco Prados, Marcos Inácio Marcondes

INTRODUÇÃO

As proteínas são macromoléculas que desempenham inúmeras funções no organismo animal, como a composição de tecidos estruturais, enzimas, hormônios, receptores hormonais e composição de material genético (Boye et al., 2012). A proteína fornecida nas rações pode ser dividida em duas principais porções, proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não-degradável no rúmen (PNDR; NRC, 1985). A soma da PDR, originada principalmente a partir da síntese de proteína microbiana, com a PNDR resulta na proteína metabolizável (PM), definida como a quantidade de aminoácidos que é absorvida no intestino delgado (Cervieri et al., 2001; Sinclair et al., 2014). Sendo assim, a nutrição proteica é um dos principais fatores que afetam o desempenho animal.

De acordo com Oliveira e Millen (2014), confinamentos comerciais utilizam altos teores de proteína bruta (PB) nas dietas de animais em terminação (em alguns casos até 16,6% de PB) como estratégia para estimular o consumo de matéria seca e reduzir o período de confinamento. Porém, existe uma forte correlação entre o consumo de proteína e a excreção de nitrogênio pelas fezes e urina (Sinclair et al., 2014), contribuindo para a contaminação ambiental. Menezes et al. (2016) demonstraram que é possível reduzir o nível de PB em dietas de bovinos em terminação sem afetar o desempenho, além de reduzir a excreção de N para o meio ambiente. Além disso, o desbalanceamento das rações também representa perda econômica decorrente dos custos com alimentação (Appuhamy et al., 2014), sendo a proteína, considerada o nutriente mais caro da dieta (Russel et al., 1992). Adicionalmente, a queda da fertilidade em bovinos pode ser relacionada aos efeitos

tóxicos de compostos nitrogenados (Rhoads et al., 2006). Assim, a busca e a adoção de medidas mais racionais no manejo alimentar podem reduzir o impacto ambiental e as perdas econômicas, além de influenciar positivamente a qualidade do produto nos sistemas de produção de carne. Para tanto, é necessário o conhecimento das exigências de proteína para manutenção e ganho de peso de bovinos em crescimento e/ou terminação, otimizando o ciclo produtivo.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA

O atendimento das exigências de proteína para ruminantes é obtido pela absorção, a nível de intestino delgado, dos produtos finais resultantes dos processos digestivos dos compostos nitrogenados, em especial ao montante de aminoácidos disponibilizado para absorção. As fontes de proteína que chegam ao intestino de ruminantes são a proteína microbiana, a proteína dietética que não sofreu ação da microbiota ruminal e a proteína endógena; assim, ruminantes apresentam peculiaridades em sua nutrição proteica (Bach et al., 2005). À quantidade de aminoácidos provenientes dessas fontes e absorvidos no intestino dá-se o nome de PM (ARC, 1980).

Trabalhar com o consumo de PB pode proporcionar diversos erros de estimação, uma vez que o mesmo não considera o valor biológico da PB, bem como a eficiência de produção de proteína bruta microbiana (PBmic) por quilograma de matéria orgânica digestível. Com isso, os atuais sistemas de predição de exigências nutricionais para bovinos evoluíram e trabalham com o consumo de PM, contabilizando, assim, a proteína disponível para ser absorvida na forma de aminoácidos no intestino.

De acordo com Santos (2008), o uso da PM tem estimulado e permitido avanços no

conhecimento das exigências nutricionais, possibilitando ganhos de produtividade animal por meio da otimização da síntese de proteína microbiana no rúmen, adequação dos teores de PNDR e da quantidade e qualidade da PM suprida pelo animal, redução nas perdas de compostos nitrogenados e redução do impacto negativo da liberação desses compostos para o meio ambiente.

Portanto, as exigências de proteína podem ser divididas em exigências de proteína para manutenção (que incluem as perdas endógenas de compostos nitrogenados pelas fezes, urina e descamação da pele) e produção (compostos nitrogenados utilizados para deposição de tecidos corporais ou secretados no leite), que serão discutidas separadamente nas demais seções desse capítulo, permitindo melhor visualização e entendimento dos resultados obtidos.

AVALIAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA BRUTA UTILIZANDO O BR-CORTE (2010)

Essa edição do BR-CORTE foi desenvolvida com o intuito de melhorar e ratificar as exigências de proteína. De acordo com Galyean (2014), mudanças nas exigências nutricionais associadas com a classe sexual, grupo genético, estado fisiológico e meio ambiente tornam o estabelecimento das exigências mais complexas, e isso é um desafio para os comitês que tentam estabelecer as exigências nutricionais. Por isso, é importante a constante atualização do banco de dados e o uso de condições ambientais e de manejo condizentes com a realidade de regiões tropicais.

Menezes et al. (2016) observaram uma superestimação das exigências de PB, calculadas pelo BR-CORTE (2010), em relação aos valores observados de 45,2, 23,5 e 11,2% para machos Nelore não castrados em terminação submetidos a dietas contendo 10, 12 e 14% PB, respectivamente. Prados et al. (2015) trabalharam com bovinos cruzados (Holandês × Zebu) em fase de crescimento e

observaram superestimativas de 17,2% no consumo de PB, sendo o valor estimado de 1200 g/dia para as exigências de PB em relação ao consumo de PB observado de 870 g/dia. Adicionalmente, Amaral et al. (2014) observaram o consumo de PB estimado (1580 g/dia) superior em 17% ao observado (1348 g/dia) para bovinos cruzados (Holandês × Zebu) em terminação, enquanto que Costa e Silva et al. (2013) encontraram valores de consumo de PB superestimados em 16,8% em relação à média dos valores observados para Nelore em terminação. Assim, antes de gerar novas equações, a predição do consumo de PB pelo BR-CORTE (2010) foi testada a partir de trabalhos desenvolvidos após a última edição do BR-CORTE. Para isso, 271 dados individuais de bovinos de 8 estudos foram coletados: Costa e Silva (2011), Souza (2013), Rufino (2014), Silva (2014), Menezes (2016), Prados (2016), Amaral (dados não publicados) e Zanetti (dados não publicados). O banco de dados incluiu dissertações e teses que foram concluídas a partir de 2010 e não fizeram parte do banco de dados da última edição do BR-CORTE.

A estatística descritiva dos dados de consumo de PB referentes aos valores observados nos estudos e os valores preditos pelo BR-CORTE encontram-se na Tabela 8.1, sendo esses dados avaliados pelo programa *Model Evaluation System* (MES; Tedeschi, 2006). A partir do coeficiente de correlação e concordância (CCC) foi possível obter a acurácia e a precisão das estimativas, uma vez que quanto mais próximo ao valor de 1,0, mais precisas e acuradas foram as estimativas. O quadrado médio do erro de predição (QMEP) leva em consideração a magnitude dos erros associados às estimativas, sendo que quanto menor, melhor são as estimativas. Além disso, a partir da decomposição do QMEP, pode-se avaliar se os erros das estimativas estão associados ao vício, erros sistemáticos e erros aleatórios, sendo que quanto maior for a porcentagem dos erros aleatórios, melhor é a estimativa.

Tabela 8.1 - Análise de regressão e estatística descritiva dos valores observados e preditos pelo BR-CORTE (2010) para consumo de proteína bruta

Itens	Consumo de proteína bruta	
	Observado	Predito
Média	1,01	1,13
Desvio-padrão	0,20	0,16
Máximo	1,74	1,67
Mínimo	0,50	0,67
% superestimação	12,24	
P-valor (a = 0 e b = 1)	<0,01	
CCC	0,61	
Cb	0,80	
Quadrado médio do erro de predição	0,0324	
Vício médio (%)	0,0153 (47,22%)	
Erro sistemático (%)	0,0001 (0,31%)	
Erro aleatório (%)	0,0170 (52,47%)	

A partir dessa estimativa, percebe-se que a equação para estimar o consumo de PB foi significativa ($P < 0,01$), demonstrando que o intercepto e a inclinação diferiram de zero e um, respectivamente, indicando que as estimativas não foram adequadas para o consumo desse nutriente em bovinos de corte (Figura 8.1). Além disso, as exigências de PB foram 12,24% superestimadas em relação ao

consumo de PB. Na decomposição dos erros, pode-se observar que grande parte dos erros não é de ordem aleatória, mostrando que existe uma tendência de superestimação da equação. Dietas com excesso de PB resultarão em maiores custos com alimentação, além do aumento na excreção de N. Isto demonstra que novos ajustes nas estimativas das exigências de PB devem ser realizados.

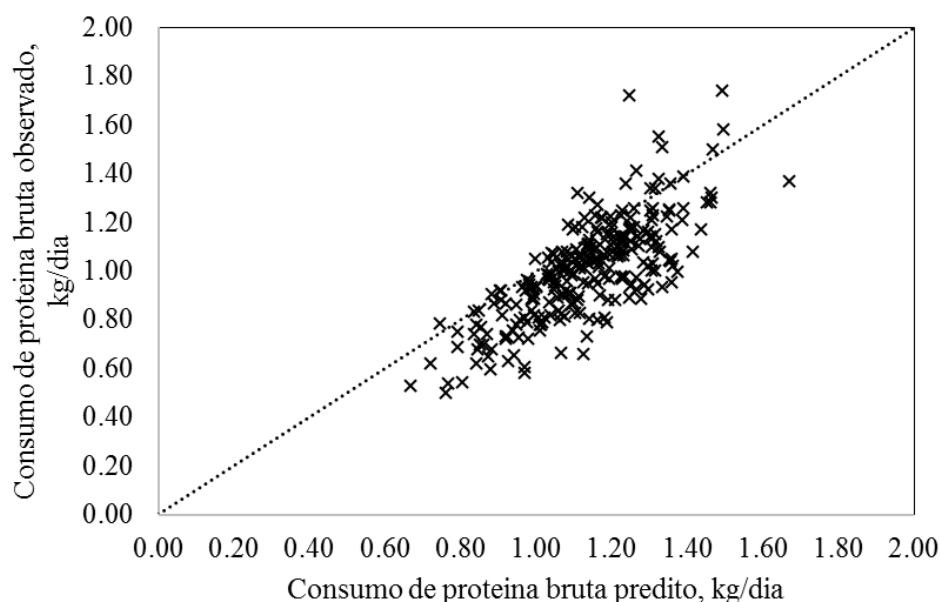


Figura 8.1 - Relação entre os valores observados e preditos pela equação proposta pelo BR-CORTE (2010) para o consumo de proteína bruta.

Dietas com teor de PB abaixo das exigências dos animais podem afetar a produtividade. Por outro lado, dietas com excesso de PB resultam em maiores custos

com alimentação além do aumento na excreção de compostos nitrogenados, contribuindo negativamente com o meio ambiente. Sendo assim, o conhecimento das

exigências nutricionais de bovinos de corte auxilia na formulação adequada de dietas, contribuindo com o ambiente e preconizando o máximo desempenho do animal.

Diante dos resultados para a predição do consumo de PB para bovinos de corte, faz-se necessário adequar essas equações aos fatores genéticos, fisiológicos e ambientais do Brasil. Dessa forma, observa-se que as estimativas das exigências de PB do BR-CORTE (2010) necessitam de ajustes para a utilização em todos os sistemas de produção de bovinos de corte, fato evidenciado pela superestimativa do consumo de PB. Por isso, essa edição do BR-CORTE propõe algumas alterações nas exigências de PB com inclusão de novas variáveis e dados de animais de diferentes pesos, classes sexuais e grupos genéticos.

BANCO DE DADOS

Nessa edição do BR-CORTE, um banco de dados foi desenvolvido, sendo o

mesmo composto por 32 estudos realizados em condições brasileiras de 1991 a 2016: Galvão (1991), Jorge (1993), Paulino (1996), Ferreira (1997), Veras (2000), Silva (2001), Veloso (2001), Putrino (2002), Tedeschi et al. (2002), Paulino (2002), Backes (2003), Leonel (2003), Martins (2003), Chizzotti (2004), Moraes (2006), Paulino (2006), Marcondes (2007), Paixão (2008), Sales (2008), Porto (2009), Machado (2009), Marcondes (2011), Souza (2011), Costa e Silva (2011), Paula (2012), Rotta (2012), Amaral (2012), Prados (2012), Rodrigues (2014), Costa e Silva (2015), Silva (2015), Menezes (2016). Dentre os dados apresentados, 767 animais foram utilizados em condições de confinamento e 148 em pastejo. Com relação ao grupo genético, foram 406 zebuínos, 212 cruzados de corte e 149 cruzados de leite (Tabelas 8.2; 8.3 e 8.4, respectivamente). Para os dados de animais criados a pasto, a estatística descritiva pode ser visualizada na Tabela 8.5.

8.2 - Estatística descritiva dos dados de zebuínos terminados em confinamento e utilizados para a estimação das exigências de proteína

Itens	N ¹	Média	DP ²	Máximo	Mínimo
Machos não castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	214	290	58,3	438	151
Peso corporal em jejum final (kg)	227	408	73,1	592	215
Peso de corpo vazio inicial (kg)	215	257	52,5	358	130
Peso de corpo vazio final (kg)	227	366	66,7	549	191
Ganho médio diário (kg/dia)	162	0,99	0,40	2,66	-0,04
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	214	0,99	0,40	1,87	-0,01
Energia retida (Mcal/dia)	207	4,28	2,44	14,2	-0,58
Proteína retida (g/dia)	207	177	76,9	412	-29,1
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	159	700	213	1263	195
Machos castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	123	287	57,1	399	110
Peso corporal em jejum final (kg)	123	367	80,1	520	125
Peso de corpo vazio inicial (kg)	123	253	51,9	352	95,2
Peso de corpo vazio final (kg)	123	331	74,2	469	113
Ganho médio diário (kg/dia)	110	0,71	0,40	1,41	-0,18
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	123	0,67	0,37	1,32	-0,21
Energia retida (Mcal/dia)	123	3,62	2,07	7,47	-0,02
Proteína retida (g/dia)	123	93,1	64,1	242	-122
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	48	651	255	1143	159
Fêmeas					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	82	218	53,1	342	129
Peso corporal em jejum final (kg)	82	273	73,1	437	131
Peso de corpo vazio inicial (kg)	82	192	50,1	297	111
Peso de corpo vazio final (kg)	82	247	70,2	397	115
Ganho médio diário (kg/dia)	53	0,67	0,42	1,27	-0,12
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	82	0,54	0,37	1,25	-0,13
Energia retida (Mcal/dia)	82	2,49	2,02	8,22	-0,21
Proteína retida (g/dia)	81	74,0	62,3	196	-35,6
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	69	470	158	741	151

¹N = número de dados utilizados; ²DP = desvio padrão.

Tabela 8.3 - Estatística descritiva dos dados de bovinos cruzados de corte terminados em confinamento e utilizados para estimação das exigências de proteína

Itens	N ¹	Média	DP ²	Máximo	Mínimo
Machos não castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	133	313	47,4	435	198
Peso corporal em jejum final (kg)	145	460	73,6	585	248
Peso de corpo vazio inicial (kg)	133	264	37,9	366	173
Peso de corpo vazio final (kg)	145	404	68,4	499	222
Ganho médio diário (kg/dia)	133	1,10	0,37	1,93	-0,08
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	131	1,05	0,36	1,98	-0,05
Energia retida (Mcal/dia)	133	3,89	1,70	8,76	-0,41
Proteína retida (g/dia)	133	156	69,7	384	-90,8
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	108	738	221	1409	428
Machos castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	41	355	41,4	434	260
Peso corporal em jejum final (kg)	41	447	73,7	552	265
Peso de corpo vazio inicial (kg)	41	312	48,8	385	205
Peso de corpo vazio final (kg)	41	409	70,2	506	238
Ganho médio diário (kg/dia)	41	0,93	0,62	1,72	-0,36
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	41	0,99	0,58	1,64	-0,09
Energia retida (Mcal/dia)	41	5,41	2,74	9,53	0,75
Proteína retida (g/dia)	41	139	96,3	276	-49,3
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	35	704	200	918	272
Fêmeas					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	38	271	33,5	331	194
Peso corporal em jejum final (kg)	38	364	85,2	494	187
Peso de corpo vazio inicial (kg)	38	241	36,8	311	150
Peso de corpo vazio final (kg)	38	327	74,0	443	175
Ganho médio diário (kg/dia)	38	0,86	0,66	1,75	-0,31
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	38	0,80	0,58	1,73	-0,18
Energia retida (Mcal/dia)	38	4,00	2,61	7,65	-0,48
Proteína retida (g/dia)	37	125	92,2	297	-69,7
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	33	623	233	985	213

¹N = número de dados utilizados; ²DP = desvio padrão.

Tabela 8.4 - Estatística descritiva dos dados de bovinos cruzados de leite terminados em confinamento e utilizados para estimação das exigências de proteína

Itens	N ¹	Média	DP ²	Máximo	Mínimo
Machos não castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	81	297	103	494	150
Peso corporal em jejum final (kg)	93	412	126	661	169
Peso de corpo vazio inicial (kg)	123	263	70,7	415	131
Peso de corpo vazio final (kg)	135	379	103	600	150
Ganho médio diário (kg/dia)	81	1,34	0,64	2,64	0,02
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	120	1,32	0,62	2,74	0,05
Energia retida (Mcal/dia)	120	5,33	2,96	12,7	-0,67
Proteína retida (g/dia)	120	188	118	414	-181
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	125	698	271	1417	118
Machos castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	48	325	34,7	453	216
Peso corporal em jejum final (kg)	48	388	53,1	575	254
Peso de corpo vazio inicial (kg)	48	268	29,1	363	185
Peso de corpo vazio final (kg)	48	342	48,3	510	247
Ganho médio diário (kg/dia)	48	0,77	0,55	1,70	-0,21
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	48	0,93	0,38	2,00	0,02
Energia retida (Mcal/dia)	48	3,93	1,63	9,00	0,51
Proteína retida (g/dia)	20	78,3	73,5	210	-110
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	28	920	255	1410	458
Fêmeas					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	20	258	38,6	347	196
Peso corporal em jejum final (kg)	36	311	56,7	431	215
Peso de corpo vazio inicial (kg)	36	195	43,3	298	115
Peso de corpo vazio final (kg)	36	276	54,2	403	192
Ganho médio diário (kg/dia)	20	0,68	0,36	1,23	-0,04
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	36	0,87	0,38	1,67	0,05
Energia retida (Mcal/dia)	36	3,98	1,74	7,79	0,73
Proteína retida (g/dia)	36	100	70,4	240	-52,9
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	15	853	186	1155	570

¹N = número de dados utilizados; ²DP = desvio padrão.

Tabela 8.5 - Estatística descritiva dos dados de zebuínos terminados a pasto e utilizados para estimação das exigências de proteína

Itens	N ¹	Média	DP ³	Máximo	Mínimo
Machos não castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	128	190	87,4	409	74,0
Peso corporal em jejum final (kg)	128	335	84,6	519	140
Peso de corpo vazio inicial (kg)	128	163	72,0	337	63,3
Peso de corpo vazio final (kg)	128	292	75,6	463	118
Ganho médio diário (kg/dia)	128	0,56	0,19	0,95	-0,15
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	128	0,45	0,19	0,90	-0,10
Energia retida (Mcal/dia)	127	1,12	1,01	4,14	-0,83
Proteína retida (g/dia)	108	87,0	32,4	156	14,5
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	84	459	163	893	189
Machos castrados					
Peso corporal em jejum inicial (kg)	20	317	59,8	409	226
Peso corporal em jejum final (kg)	20	363	66,9	484	243
Peso de corpo vazio inicial (kg)	20	261	49,3	337	186
Peso de corpo vazio final (kg)	20	299	57,5	405	193
Ganho médio diário (kg/dia)	20	0,57	0,33	0,95	-0,15
Ganho de peso de corpo vazio (kg/dia)	20	0,47	0,29	0,90	-0,10
Energia retida (Mcal/dia)	20	1,15	1,07	2,35	-0,83
Proteína retida (g/dia)	18	65,4	37,1	134	14,5
Consumo de proteína metabolizável (g/dia)	-	-	-	-	-

¹n = número de dados utilizados; ²DP = desvio padrão.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA MANTENÇA

A demanda de proteína para manutenção para um bovino é igual às perdas endógenas de nitrogênio pelas fezes, urina e descamação (NRC, 2000). Na primeira edição do BR-CORTE foi adotado o valor de exigência líquida de proteína para manutenção de 2,69 g/PC^{0,75} obtido por Vêras (2006). Este autor avaliou machos não castrados, machos castrados e fêmeas alimentados com quatro níveis de PB (7, 10, 13 e 15%) e não verificou efeito de classe sexual sobre as exigências (Figura 8.2). As exigências líquidas de proteína para manutenção (2,69 g/PC^{0,75}) foram obtidas multiplicando o intercepto da regressão entre o nitrogênio retido e o consumo de nitrogênio (0,4313) por 6,25.

Já o AFRC (1993) adota o valor de 2,30 g/PC^{0,75} obtido pelo somatório das

exigências basais de nitrogênio endógeno e perdas por descamação e pêlos, enquanto o INRA (1988) e Smuts (1935) adotaram os valores de 3,25 g/PCVZ^{0,75}/dia e 3,52 g/PC^{0,75}/dia, respectivamente, obtidos por experimentos envolvendo balanço de nitrogênio.

Neste sentido, Ezequiel (1987) obteve exigências diárias de PM para manutenção de 1,72 e 4,28 g/PC^{0,75} para novilhos Nelore e Holandês, respectivamente. Valadares et al. (1997), considerando a soma das perdas endógenas fecais, estimadas pela regressão entre o nitrogênio absorvido e o consumo de nitrogênio e as perdas endógenas urinárias, obtidas pela regressão entre a excreção de nitrogênio urinário e o consumo de nitrogênio, calcularam as exigências diárias de PM para manutenção em 4,13 g/PC^{0,75}.

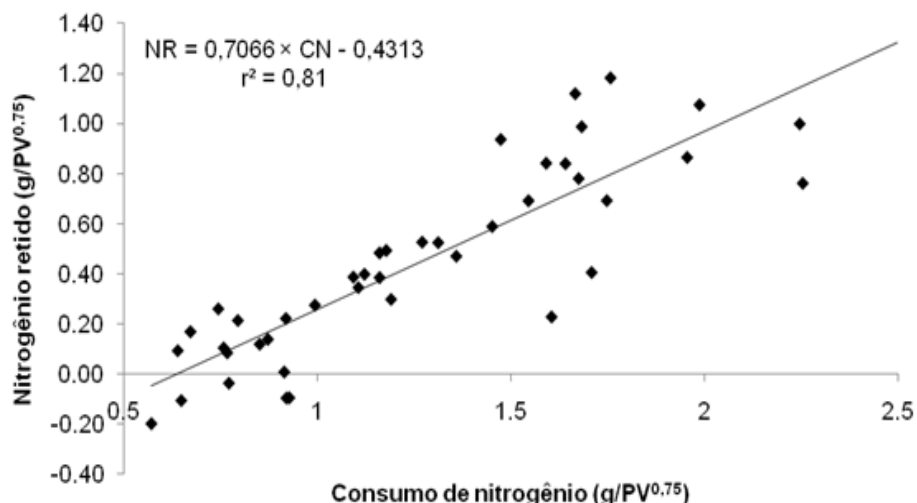


Figura 8.2 - Relação entre o nitrogênio retido e o consumo de nitrogênio, expressos em $(g/PC^{0,75})$. Adaptada de Vêras (2006).

Para converter as exigências líquidas de proteína em exigências de PM para manutenção, o BR-CORTE (2006) utilizou o fator de 0,667, obtido pela relação entre nitrogênio retido e nitrogênio absorvido (Figura 8.3), sendo este valor muito próximo à recomendação do NRC (1985) de 0,67. Utilizando-se essa eficiência e considerando-

se as exigências líquidas de proteína para manutenção de $2,69 g/PC^{0,75}$, foi obtida a exigência diária de PM de $4,03 g/PC^{0,75}$, próxima ao valor recomendado pelo NRC (2000), de $3,8 g/PC^{0,75}$. Dessa forma, o BR-CORTE (2006) recomendou o uso do valor de $4 g/PC^{0,75}$ como as exigências de PM para manutenção.

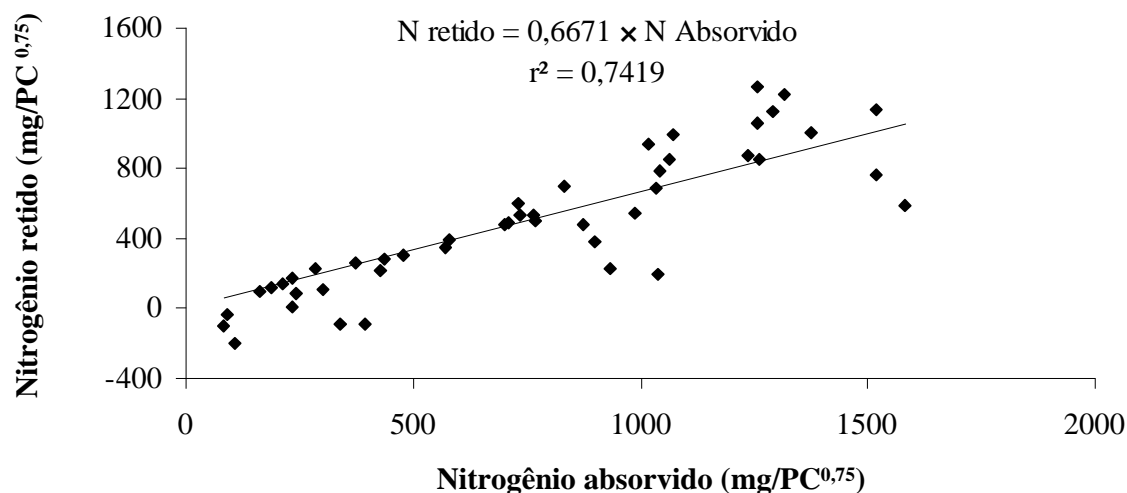


Figura 8.3 - Relação entre o nitrogênio retido e o nitrogênio absorvido. Adaptado de Vêras (2006).

O NRC (2000) adotou o valor de $3,8 g/PC^{0,75}$ obtido por Wilkerson et al. (1993) como valor diário das exigências de PM. Tal valor foi obtido pela divisão do intercepto (242) da equação de regressão do consumo de PM (g/dia) em função do ganho de peso (kg/dia) dos animais, pelo peso corporal médio metabólico dos animais

(63,44) pertencentes ao banco de dados utilizado. Foram consideradas 45 diferentes fontes proteicas, com número de animais variando entre 3 e 30 por fonte proteica. Um valor semelhante foi obtido por Susmel et al. (1993) avaliando experimentos envolvendo balanço de nitrogênio. Da mesma forma, o BCNRM (2016)

recomenda o mesmo valor apresentado no NRC (2000) de 3,8 g/PCJ^{0,75}.

Enquanto isso, a segunda edição do BR-CORTE correlacionou o consumo de PM ao ganho médio diário e ao ganho de peso de corpo vazio para estimar as exigências de proteína para manutenção. As duas equações geradas para estimar a PM para manutenção produziram valores muito próximos àquele proposto na primeira edição do BR-CORTE: 4,0 g/PC^{0,75}, sendo este valor, o adotado pela edição do BR-CORTE, em 2010.

Inicialmente, para converter o consumo de PB do banco de dados em consumo de PM, deve-se estimar síntese de proteína microbiana (PBmic) utilizando a equação proposta no capítulo 3 (PBmic = -53,07 + 304,9 × CPB + 90,8 × CNDT - 3,13 × CNDT²). A partir da PBmic, estima-se as exigências PDR. Além disso, o BR-CORTE, em 2010, considerou uma eficiência de conversão de N degradado em N microbiano de 90%, ou seja, considerou 10% de perdas líquidas de N no rúmen. Assim as exigências de PDR (g/dia) foram calculadas como 1,11 × PBmic. Na atual edição, a ineficiência do processo,

representada pelo coeficiente 1,11, foi ignorada; assim, as exigências de PDR foram consideradas iguais à síntese de PBmic. Com isso, o consumo de PNDR foi estimado pela diferença entre o consumo de PB e o consumo de PDR. Assim, o consumo de PM foi obtido pela seguinte equação:

$$\text{CPM} = (\text{PBmic} \times 0,64) + (\text{CPNDR}/0,80).$$

Nessa edição do BR-CORTE, adotou-se a mesma técnica da última edição para estimar as exigências de PM para manutenção, correlacionando o consumo de PM ao ganho de peso de corpo vazio. A partir das avaliações, foi observado efeito de sistema de produção quanto às exigências de PM para manutenção, sugerindo estimar as exigências de PM para manutenção separadamente. Além disso, os efeitos de grupo genético e classe sexual foram testados para os animais criados em confinamento, não sendo observado efeito significativo, o que permitiu a elaboração de uma única equação para os animais criados em confinamento (Figuras 8.4 e 8.5; Tabela 8.5).

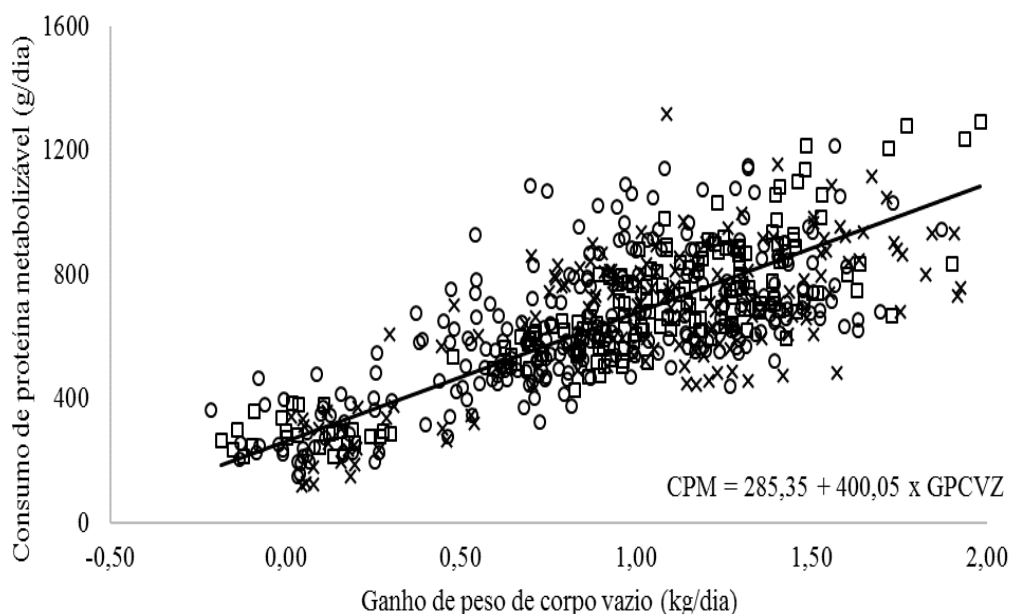


Figura 8.4 - Relação entre o consumo de proteína metabolizável e o ganho de peso de corpo vazio de animais criados em confinamento. Os símbolos representam dados de zebuínos (○), cruzados de corte (□) e cruzados de leite (×).

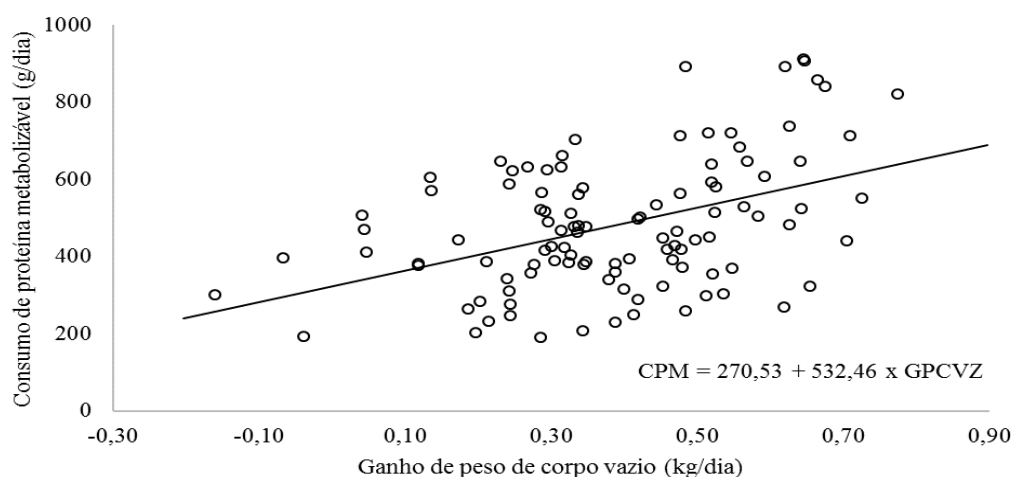


Figura 8.5 - Relação entre o consumo de proteína metabolizável e o ganho de peso de corpo vazio de animais criados em sistema de pastejo.

Tabela 8.5 - Exigências de proteína metabolizável para manutenção de bovinos de corte criados a pasto ou em confinamento

Sistema	Equação	PCVZ ^{0,75}	PMm
Confinamento	CPM = 285,35 + 400,05 × GPCVZ	72,0	3,96
Pasto	CPM = 270,53 + 532,46 × GPCVZ	62,7	4,31

CPM = consumo de proteína metabolizável (g/dia); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); PCVZ^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico (kg); PMm = exigências de proteína metabolizável de manutenção (g/PCVZ^{0,75}).

Na edição anterior do BR CORTE, ao se estimar as exigências de PM para manutenção, o valor médio obtido para animais zebuínos e cruzados foi de 3,91 g/PCVZ^{0,75}, valor próximo ao obtido nesta edição, 3,96 g/PCVZ^{0,75} para bovinos criados em confinamento. Para animais mantidos a pasto, na última edição do BR-CORTE, estimou-se o valor de 4,87 g/PCVZ^{0,75} sendo este valor maior do as estimativas da edição atual do BR-CORTE de 4,31 g/PCVZ^{0,75}.

Em ambos os casos, convertendo esses valores para peso corporal em jejum, obtêm-se as estimativas de 3,6 e 3,9 g/PCJ^{0,75} para animais criados em confinamento e a pasto, respectivamente. O valor obtido para animais em confinamento foi inferior ao valor de 3,8 g/PCJ^{0,75} (BCNRM, 2016) e a 4,0 g/PC^{0,75} usado na última edição do BR-CORTE.

Comparando as exigências de PM de animais terminados em confinamento e animais terminados a pasto, percebe-se que estes últimos foram mais exigentes em relação os animais terminados em confinamento. Assim as exigências de PM de animais terminados a

ponto foram 8% maiores do que daqueles em confinamento

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA GANHO DE PESO

A estimação da composição corporal dos animais é fundamental para a avaliação do valor nutricional dos alimentos e para estudos do crescimento animal (Boin et al., 1994), pois possibilita a estimativa das exigências de proteína para o ganho de peso dos animais. Os principais componentes químicos do corpo de um bovino são: água, gordura, proteína e minerais. De acordo com Ferreira et al. (1998), a maturidade do animal é caracterizada pelo aumento na proporção de gordura no corpo. Animais mais jovens têm maior proporção de água e proteína e menor proporção de gordura, de modo que as concentrações de proteína, cinzas e água decrescem com a idade e com a terminação dos animais. O NRC (2000) relatou que os teores de gordura e proteína corporal apresentam comportamento quadrático em relação ao peso corporal, com relações inversas: quanto maior o peso corporal, maior o teor de gordura e menor o de proteína.

A proporção e a velocidade com que os tecidos se acumulam no corpo influencia o ganho de peso e a composição corporal, bem como a eficiência alimentar (Shahin et al., 1993) e, conseqüentemente, as exigências nutricionais. As proporções dos tecidos e sua composição química são influenciadas por vários fatores, destacando-se o peso corporal, a idade, o grupo genético, o nível de consumo de energia e o sexo (Ferreira et al., 1998). Segundo Garret (1980), o grupo genético teria maior influência sobre a composição corporal, a um mesmo peso corporal, do que o nível nutricional.

As diferenças nas exigências de proteína para ganho de peso são atribuídas às variações na composição do ganho de peso (Garret et al., 1959; Geay, 1984). As exigências protéicas para ganho de peso são maiores para machos não castrados de maturidade tardia que nos machos castrados de maturidade precoce (Geay, 1984). Boin (1995) observou maior concentração de proteína por quilo de ganho de peso do corpo vazio em machos Nelore não castrados em relação aos machos castrados. Segundo Geay (1984), as exigências líquidas de proteína tendem a ser menos importantes que as de energia para bovinos em crescimento com maturação precoce, como os das raças Angus e Hereford, pois ocorre menor retenção de energia na forma de proteína (12 a 15%). Esse tipo de animal preenche suas exigências protéicas utilizando principalmente os aminoácidos provenientes da fermentação microbiana (Geay, 1984). A maioria dos estudos indica a redução das exigências líquidas de proteína para ganho de peso à medida que o peso corporal aumenta (Lana et al., 1992; Pires et al.; 1993; Fontes, 1995; Paulino, 1999, Cavalcante et al., 2005, Amaral et al., 2014).

Na primeira edição do BR-CORTE, em 2006, as exigências líquidas de proteína para ganho de peso (ou proteína retida) foram estimadas a partir de equações de regressão da proteína retida (PR) em função da energia retida (ER) e do ganho médio diário (GMD), sendo

obtidas três equações em função da classe sexual para animais zebuínos terminados em confinamento. Já na segunda edição do BR-CORTE, em 2010, foi utilizado um modelo semelhante ao proposto pelo NRC (2000), em que a PR é correlacionada com a ER e com o ganho de peso de corpo vazio.

Na atual edição do BR-CORTE, foi utilizado o mesmo modelo da edição anterior, sendo que as equações de exigência líquida de proteína para ganho (Tabela 8.6) foram obtidas em função do sistema de produção (confinamento e pasto), grupo genético (zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite) e classe sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas).

Semelhante ao obtido na segunda edição do BR-CORTE, as equações indicam maiores coeficientes do GPCVZ para machos não castrados em relação à machos castrados e fêmeas, evidenciando efeito do nível de testosterona circulante sobre a deposição de proteína no ganho, ou seja, machos não castrados apresentam maior potencial de crescimento, mas também maiores exigências de PL para ganho. Para zebuínos, observa-se menores valores de PL para ganho para machos castrados em relação a fêmeas provavelmente devido ao menor peso de corpo vazio e conteúdo de gordura corporal das fêmeas.

Animais em pastejo apresentaram menores estimativas de PL para ganho, considerando-se um mesmo GPCVZ e ER em comparação a animais terminados em confinamento de mesma classe sexual e grupo genético (machos não castrados e zebuínos). Além disso, no banco de dados dessa edição do BR-CORTE, os animais criados a pasto foram abatidos com peso corporal menor, uma vez que a média do peso corporal metabólico foi de 53,9 kg, enquanto que para animais criados em confinamentos foi de 71,9 kg, demonstrando que existe a necessidade de mais estudos com animais criados a pasto que sejam abatidos com pesos corporais maiores.

Tabela 8.6 - Equações obtidas para estimar as exigências líquidas de proteína para ganho de animais criados a pasto ou em confinamento de diferentes grupos genéticos e classes sexuais

Sistema	Grupo genético	Classe sexual	Equação
Confinamento	Zebuínos	Machos não castrados	$PLg = 210,09 \times GPCVZ - 10,01 \times ER$
		Machos castrados	$PLg = 153,13 \times GPCVZ - 2,53 \times ER$
		Fêmeas	$PLg = 193,90 \times GPCVZ - 12,16 \times ER$
	Cruzados de corte	Machos não castrados	$PLg = 281,77 \times GPCVZ - 27,66 \times ER$
		Machos castrados	$PLg = 219,94 \times GPCVZ - 12,04 \times ER$
		Fêmea	$PLg = 174,65 \times GPCVZ - 3,14 \times ER$
	Cruzados de leite	Machos não castrados	$PLg = 171,43 \times GPCVZ - 3,08 \times ER$
		Machos castrados	$PLg = 236,36 \times GPCVZ - 19,84 \times ER$
		Fêmea	$PLg = 206,58 \times GPCVZ - 15,39 \times ER$
Pasto	Zebuínos	Machos não castrados	$PLg = 181,43 \times GPCVZ - 2,88 \times ER$

PLg = exigência líquida de proteína para ganho (g/dia); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); ER = energia retida (Mcal/dia).

Eficiência de utilização da proteína metabolizável

Para que as exigências líquidas de proteína sejam convertidas em exigência de PM é preciso estimar a eficiência parcial de utilização da PM para ganho (k). A PM contém a PNDR digestível e a proteína microbiana verdadeira digestível, sendo que esta representa a quantidade de aminoácidos absorvidos no intestino delgado.

Dentre os sistemas internacionais de predição das exigências nutricionais de bovinos de corte, o NRC (1984) relatou que a média do valor biológico de aminoácidos absorvidos por bovinos é 66%, valor obtido por Zinn e Owens (1983). Assim, baseando-se neste e em outros estudos, o NRC (1985) adotou valores de 50 e 65% para eficiência de utilização da PM para ganho (k), sendo esses valores baseados no valor biológico da proteína e no valor de uma mistura ideal de aminoácidos (Oldham, 1987). Oldham (1987) sugeriu, ainda, uma eficiência de 85% para todas as funções fisiológicas, como um valor referente a eficiência de conversão de uma mistura ideal de aminoácidos. Como na prática isso não acontece, a eficiência real normalmente encontra-se abaixo deste valor.

De acordo com o sistema britânico (AFRC, 1993), a eficiência de utilização de uma mistura ideal de aminoácidos é denominada de k_{aai} , sendo que esta característica é inerente ao animal. Entretanto, esse sistema reconheceu que, na prática, valores mais baixos do que a eficiência ideal tem sido encontrados, sendo estes

valores dependentes basicamente da qualidade da mistura de aminoácidos na PNDR digestível e da proporção entre PNDR digestível e da proteína microbiana verdadeira digestível no intestino delgado. Assim, o AFRC (1993) considera valores fixos para eficiência de utilização da PM de 100% para manutenção, 59% para ganho, 85% para gestação e 68% para lactação.

Devido à elevada qualidade da mistura de aminoácidos da proteína microbiana, o valor biológico da proteína microbiana é alto, fazendo com que a proporção de proteína microbiana na proteína total que chega ao intestino possa alterar a eficiência de utilização da PM (NRC, 2000). Enquanto isso, o sistema francês (INRA, 1988) considerou uma k variável à medida que se aumenta o peso corporal. Essa eficiência decrescente foi confirmada por Ainslie et al. (1993) e Wilkerson et al. (1993). Tais autores obtiveram os dados à partir de animais com pesos corporais variando entre 150 e 300 kg, fazendo com que o NRC (2000) adotasse a equação desenvolvida por Ainslie et al. (1993) para estimar o valor k para animais de 150 a 300 kg, como sendo:

$$k = 83,4 - (0,114 \times PCVZeq).$$

Assim, um bovino com 150 kg de PCVZeq terá um valor de k igual de 66,3, enquanto que um bovino com 300 kg terá uma eficiência de 49,2. O NRC (2000) utiliza a equação acima somente para animais com PCVZeq menor que 300 kg; enquanto que para

pesos superiores, o NRC (2000) recomendou o valor fixo de 49,2, oriundo das versões anteriores (NRC, 1984). Vale ressaltar que as exigências de proteína para ganho de peso são relativamente baixas quando os animais atingem pesos corporais em torno de 400 kg.

Dados da literatura nacional reportam valores de eficiência de uso da PM para ganho de 33,3% (Costa e Silva et al., 2013) e 34,4% (Menezes et al., 2016) para bovinos Nelore nas fases de crescimento e terminação, respectivamente. Enquanto isso, Zanetti (2014) e Silva (2015) obtiveram valores de k iguais a 29,7 e 25,2% para machos castrados e fêmeas Holandês \times Zebu, respectivamente. Muitos fatores como idade, composição ou condição de alimentação podem afetar a eficiência de uso da proteína para ganho (Blaxter et al., 1966; Garrett, 1980; Gionbelli et al., 2012, Marcondes et al., 2013).

A primeira versão do BR-CORTE utilizou as recomendações preconizadas pelo NRC (2000) para a k , em que o valor de k foi considerado como o coeficiente de inclinação obtido da regressão entre a proteína retida e o consumo de PM. Por outro lado, o BR-CORTE (2010), avaliando a proteína retida (PR) em função do consumo de PM (Figura 8.6), não

encontrou efeito de grupo genético ou condição sexual sobre a k , sendo a equação final adotada igual a:

$$PR = -2,223 + 0,4691 \times CPM,$$

em que PR é a proteína retida ($\text{g/PCVZ}^{0,75}$) e CPM e o consumo de proteína metabolizável ($\text{g/PCVZ}^{0,75}$).

A partir dessa equação, a eficiência de utilização da PM para ganho de peso foi de 46,9% para animais zebuínos e cruzados de corte, sendo este valor próximo ao preconizado pelo NRC (2000), de 49,2%. Na edição anterior do BR-CORTE, as mesmas eficiências preconizadas para animais terminados em confinamento foram adotadas para animais criados em pastejo devido à pequena quantidade de dados disponíveis.

Na atual edição do BR-CORTE, uma equação semelhante foi novamente ajustada e o valor obtido foi de 47,4% (Figura 8.7) para animais criados a pasto e em confinamento. Ainda, a quantidade de dados oriundos de experimentos a pasto foi pequena, o que impossibilitou a avaliação do efeito de sistema de produção para k .

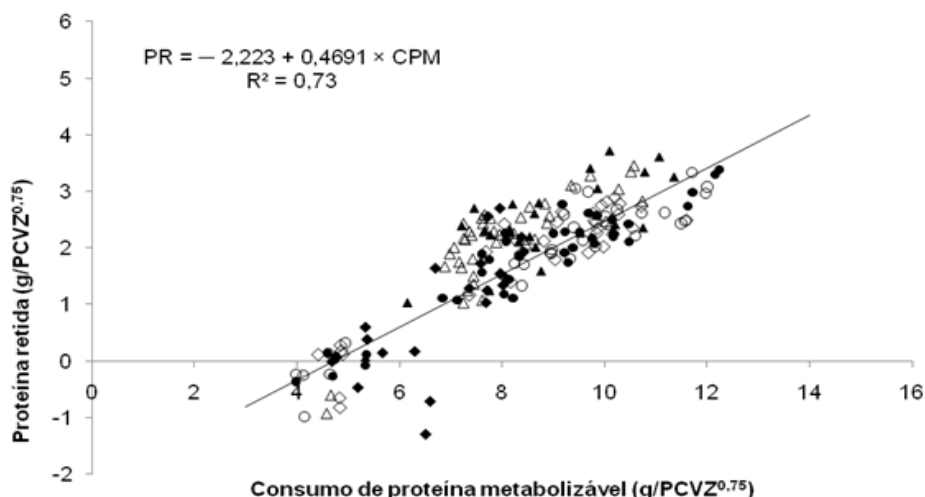


Figura 8.6 - Relação entre a proteína retida e o consumo de proteína metabolizável. Os símbolos representam dados de machos não castrados (\blacktriangle , \triangle), machos castrados (\diamond , \blacklozenge), e fêmeas (\circ , \bullet). Pontos sólidos representam animais Nelore e pontos vazios representam animais cruzados *Bos indicus* \times *Bos taurus* (BR-CORTE, 2010)

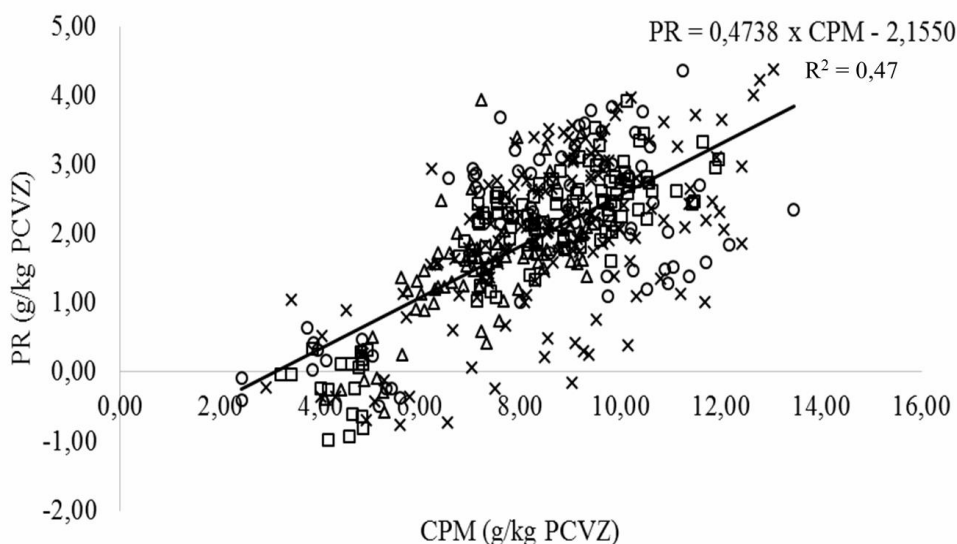


Figura 8.7 - Relação entre a proteína retida (PR) e o consumo de proteína metabolizável (CPM) de animais terminados em sistema de confinamento. Os símbolos representam dados de zebuínos (\times), cruzados de corte (\circ) e cruzados de leite (\square).

A maioria dos sistemas de exigências nutricionais (INRA, 1988; AFRC, 1993; NRC, 2000; CSIRO, 2007) relatam que o uso de uma eficiência constante não representa a real eficiência dos animais. A eficiência de utilização da PM para ganho de peso parece estar mais relacionada com a composição da PM que chega ao intestino delgado do que com o PCVZeq (Oldham, 1987), como sugerido pelo INRA (1988).

Na segunda edição do BR-CORTE, em 2010, estimou-se a eficiência média de cada experimento e esses valores foram correlacionados com o PCVZeq médio de cada experimento para gerar a equação para estimar a eficiência de utilização da PM para ganho de peso (k):

$$k = 84,665 - 0,1179 \times \text{PCVZeq},$$

em que PCVZeq é o peso de corpo vazio equivalente.

Essa equação recomendada na edição anterior foi mantida para a atual edição. Contudo, na última edição, a recomendação era para que esta equação fosse utilizada para animais que apresentassem PCJ < 350 kg. Como a eficiência de utilização de PM para ganho de peso aumentou para animais adultos (46,9 para 47,4%), a nova recomendação seria o uso dessa equação para animais com PCJ < 340 kg. Assim, considerando animal de 150 kg PCJ, com o uso da equação acima, a

eficiência seria de 67%, sendo que esse valor é próximo do sugerido pela equação do NRC (2000) de 66%. Adicionalmente, observa-se que a medida que o animal cresce, ou seja, tem seu peso corporal aumentado, a k diminui até o PCJ igual a 340 kg. A partir desse peso, a eficiência deve ser constante e igual a 47,4%. O NRC (2000) considerou o valor de 49,2 como essa eficiência para animais com peso corporal superior a 300 kg, sendo essa mesma eficiência mantida pelo BCNRM (2016).

A produção de PBmic foi calculada considerando a recomendação apresentada no capítulo 3 em que a síntese microbiana foi calculada em função do consumo de PB e dos nutrientes digestíveis totais (CNDT) como apresentado a seguir:

$$\text{PBmic (g/dia)} = -53,07 + 304,9 \times \text{CPB} + 90,8 \times \text{CNDT} - 3,13 \times \text{CNDT}^2,$$

em que CPB = consumo de proteína bruta (kg/dia) e CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia). Assim, as exigências de PDR foram calculadas a partir das recomendações dessa edição em que a síntese de proteína microbiana iguala-se às exigências de PDR (para maiores detalhes, ver capítulo 3):

$$\text{PDR} = \text{PBmic},$$

enquanto que as exigências de PNDR foram obtidas a partir da equação:

$$\text{PNDR} = (\text{proteína metabolizável total} - (\text{PBmic} \times 0,64)) / 0,80.$$

Para se obter as exigências de PB, deve-se proceder à soma das exigências de PDR e PNDR.

Observa-se que o valor usado para a digestibilidade verdadeira da PB microbiana e da PNDR no intestino delgado foi recentemente confirmado na pesquisa de Mariz (2016, dados não publicados), que trabalhando com bovinos Nelore e cruzados Angus \times Nelore, fistulados no rúmen e no íleo, estimou a digestibilidade verdadeira da PBmic e da PNDR média de aproximadamente 80%.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A RECICLAGEM DE COMPOSTOS NITROGENADOS

A reciclagem da uréia no fígado para o rúmen e glândulas salivares é uma das particularidades que envolve a fisiologia e a nutrição dos ruminantes e que representa uma vantagem evolutiva para estes animais, permitindo sua sobrevivência em períodos nos quais o teor de proteína da dieta é inferior a 7% (Lazzarini et al., 2009; Sampaio et al., 2010). De acordo com Batista et al. (2016), ao providenciar amônia para os microrganismos ruminais, a reciclagem da ureia afeta a quantidade de N disponível no rúmen que deve ser fornecida diretamente a partir da dieta. Portanto, os sistemas nutricionais devem considerar o N reciclado para estimar as exigências de proteína dos animais. Considerando tais aspectos, a atual edição do sistema americano (BCNRM, 2016) considera a reciclagem de uréia para o rúmen como sendo o valor obtido pela seguinte equação:

$$\text{N uréia} = (-0,1113 + 0,996 \times \exp^{-0,0616 \times \text{PB}}) \times (0,745 \times \text{CN} - 11,98),$$

em que, N uréia = N reciclado para o rúmen na forma de uréia (g/dia); PB = teor de proteína bruta da dieta (% MS); CN = consumo de nitrogênio (g/dia). Com isso, o BCNRM (2016) espera que com o uso da reciclagem de N nos cálculos, os valores das exigências de PB estejam mais próximos do real, permitindo a formulação

de dietas que otimizem o desempenho animal, reduzam perdas econômicas e evitem contaminação ambiental.

Até a edição anterior do BR-CORTE, a reciclagem de nitrogênio não foi considerada nos cálculos de exigências de proteína, o que possivelmente contribuiu para a superestimação das recomendações de PB na dieta de bovinos.

Contudo, Batista et al. (2016), avaliando forragem de baixa qualidade (5,0% PB na base da MS) ou dietas contendo infusão ruminal de proteína para atender 100% das exigências de PDR e de 0 a 150% das exigências de PNDR, encontraram que 22% do total de N microbiano na dieta controle foi derivado da reciclagem de uréia, enquanto nas dietas suplementadas, essa incorporação foi de 10%. Além disso, avaliando dietas com diferentes teores de PB (9, 11, 13 e 15% na base da MS) e considerando o teor de PDR, a quantidade de N ingerido e a produção de nitrogênio microbiano obtidos em cada nível dietético de PB, Prates (2015) verificou que a eficiência de captação de N ingerido degradado no rúmen em nitrogênio microbiano variou de 120 a 90,28%, entre as dietas de 9 e 15% de PB, respectivamente. Assim na dieta com 9% de PB a quantidade de N reciclado incorporado ao N microbiano foi de aproximadamente 20%, reduzindo para próximo de 10% na dieta contendo 11% de PB, para aproximadamente zero na dieta com 13% de PB. Ainda, para a dieta com 15% de PB, foi observada uma perda líquida de N no rúmen próxima de 10%. Com isso, considerando os dados descritos acima, observa-se que a reciclagem de N para o rúmen parece contribuir com 10 a 20% do N microbiano, considerando dietas variando de 5 a 13% de PB. Esses valores são levemente menores que os calculados pela equação sugerida pelo BCNRM (2016).

Dessa forma, o BR-CORTE (2016) não recomenda nenhum valor para a reciclagem de N, apesar de reconhecer a importância da reciclagem de N, mas considerando que apenas Batista et al. (2016) mediram efetivamente a reciclagem de uréia, utilizando animais alimentados com forragem de baixa qualidade e com infusão de N em condições tropicais. Assim, o BR-CORTE considera que a quantidade reciclada pode ser compensada pela ineficiência de captação de N degradado no rúmen para N microbiano

AValiação Prática de Níveis de Proteína Bruta na Dieta de Bovinos de Corte

Dois estudos foram desenvolvidos para avaliar o efeito da redução de níveis de PB na dieta de bovinos de corte, sendo utilizados animais contemporâneos em ambos estudos. No estudo 1 (Amaral, dados não publicados), os animais foram desmamados e destinados para recria/terminação em confinamento, enquanto que no estudo 2 (Menezes et al., 2016), os animais foram desmamados, recriados somente a pasto por um ano e submetidos a terminação em confinamento. Em ambos os experimentos foram utilizados os níveis de 10, 12 e 14% PB com base na matéria seca total das dietas.

Estudo 1

Este estudo foi constituído por três períodos experimentais, tendo os dois primeiros períodos duração de 84 dias cada (representando a fase de crescimento/recria), e o terceiro período com duração de 56 dias (representando a fase de terminação). Os bovinos de dois grupos

genéticos (Nelore e Angus × Nelore) foram divididos em três grupos, recebendo dietas com 10, 12 e 14% PB. Os animais alimentados com 10 e 12% PB apresentaram maior consumo de matéria seca nos períodos avaliados (Figura 8.8). Já os animais alimentados com 14% PB tiveram GMD igual aos animais alimentados com 12% PB nos dois primeiros períodos de avaliação (Figura 8.9) e superior aos de 10% PB, enquanto que no último período, todos os animais apresentaram o mesmo GMD.

Considerando todo o período experimental, o teor de PB da dieta não afetou ($P>0,05$) o peso corporal final dos animais e o teor de gordura subcutânea, mas influenciou o ganho diário de carcaça que foi menor ($P<0,05$) para a dieta com 10% de PB. Houve diferença entre os grupos genéticos para o peso corporal em jejum e para o peso de corpo vazio, e para o ganho diário de carcaça e o teor de gordura subcutânea que foram maiores ($P<0,05$) para os animais cruzados. O maior peso final dos animais cruzados pode ser explicado pelo maior peso inicial e maior ganho diário de carcaça.

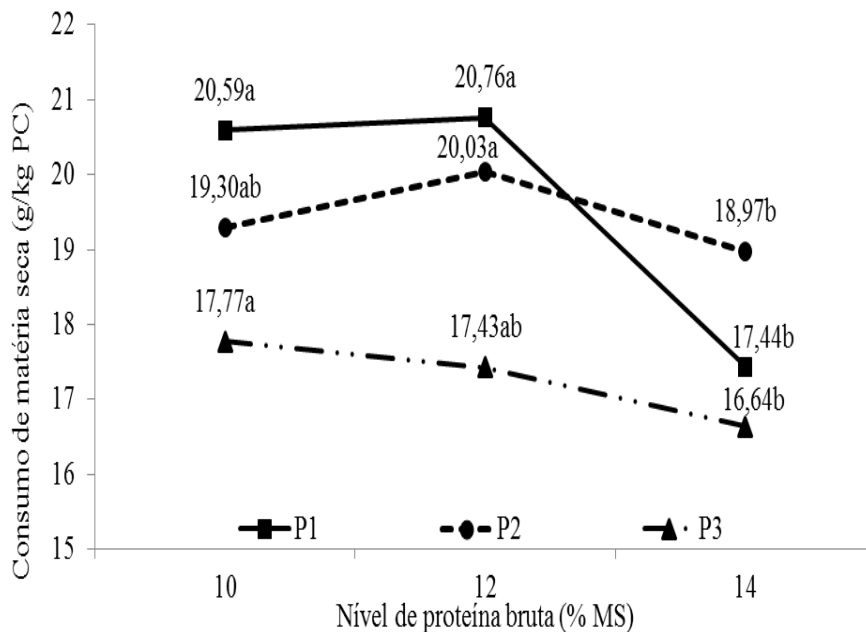


Figura 8.8 - Consumo de matéria seca (g/kg peso corporal) em função dos nível de proteína bruta na dieta e dos períodos de avaliação. Adaptada de Amaral (dados não publicados).

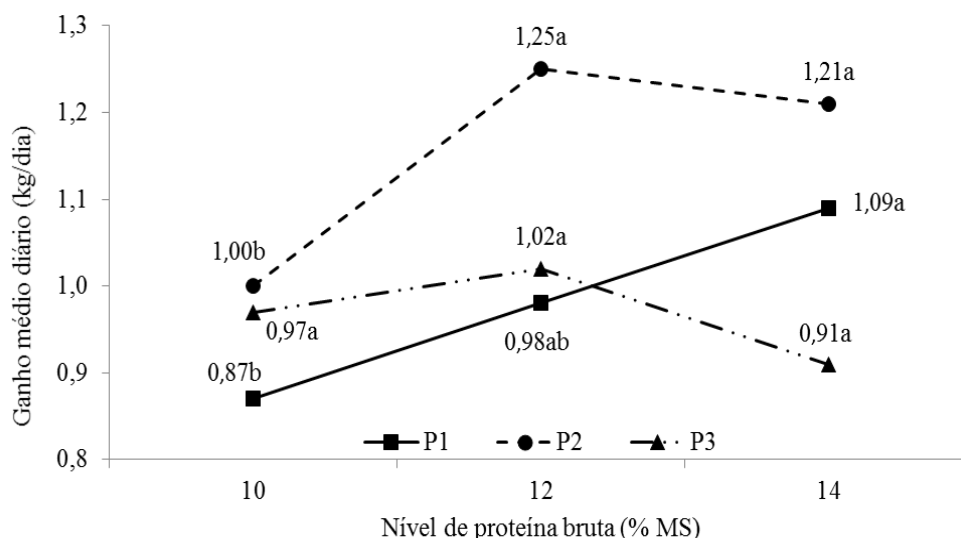


Figura 8.9 - Ganho médio diário (kg/dia) em função do nível de proteína bruta na dieta e dos períodos de avaliação. Adaptado de Amaral (dados não publicados).

Table 8.8 - Características de carcaça (PC = peso corporal, PVCZ = peso de corpo vazio, GDC = ganho de carcaça e G = gordura subcutânea) de bovinos Nelore e cruzados Angus × Nelore obtidos com dietas contendo diferentes teores de proteína bruta

Item	Nível de PB			Grupo genético		p-value		
	10%	12%	14%	N	A×N	CPL	GG	CPL×GG
PC inicial (kg)	218	214	226	213	226	0,08	<0,01	0,89
PC final (kg)	441	461	472	418	498	0,15	<0,01	0,20
PCVZ (kg)	408	429	433	388	459	0,17	<0,01	0,22
GDC (kg/d)	0,61b	0,70a	0,70a	0,58	0,76	0,02	<0,01	0,16
G (mm)	5,84	6,71	5,89	4,86	7,43	0,60	<0,01	0,51

Adaptado de Amaral (dados não publicados).

Isso demonstra que bezerros que são desmamados e logo em seguida destinados para a terminação em confinamento devem receber uma dieta com níveis de PB em torno de 12% na fase inicial do crescimento, enquanto que ao final desse período, ou seja, na terminação, o teor de PB na dieta poderia ser reduzido para 10% sem causar efeito no desempenho dos animais nessa fase.

Estudo 2

Neste experimento, foram utilizados animais contemporâneos do estudo anterior porém somente na fase de terminação, sendo confinados durante 112 dias, divididos nas mesmas dietas do estudo anterior. Contudo, Menezes et al. (2016) não observaram efeito dos níveis de PB no desempenho e características de carcaça destes animais durante o período de avaliação (Tabela 8.9).

Tabela 8.9 - Desempenho e características de carcaça de bovinos Nelore na fase de terminação alimentados com 3 diferentes níveis de proteína bruta

Item	Níveis de proteína bruta			EPM	Contraste	
	10%	12%	14%		Linear	Quadrático
Peso corporal inicial (kg)	324	325	329			
Peso corporal final (kg)	470	479	477	9,13	0,57	0,64
Ganho médio diário (kg)	1,30	1,50	1,50	0,06	0,64	0,53
Peso de carcaça quente (kg)	286	288	285	6,42	0,90	0,72
Espessura de gordura (mm)	5,00	5,60	4,40	0,72	0,59	0,30
Rendimento de carcaça quente	60,9	60,1	59,6	0,58	0,14	0,90

De acordo com Winschester et al. (1957), os níveis de proteína da dieta influenciam o ganho médio diário de animais na fase de crescimento, porém o mesmo comportamento não é observado em animais na fase de terminação. Isto ocorre porque as exigências de proteína dos animais reduzem à medida que estes alcançam a maturidade (NRC, 1996), e passam a depositar mais gordura, aumentando a razão gordura:músculo na carcaça animal.

Entretanto, os confinamentos brasileiros normalmente adotam níveis de PB entre 9,3 e 16,6%, com valores médios de 13,5% (Oliveira e Millen, 2014), pois acredita-se que níveis mais elevados de PB estimulariam o consumo de matéria seca e estariam relacionados a elevados ganhos de peso (Véras et al., 2007). Porém, Menezes et al. (2016) mostraram que o consumo de matéria seca não é afetado pelo nível proteico da dieta, e que a redução dos níveis de PB na fase de terminação contribui para a redução dos custos com alimentação. De acordo com estes autores, o excesso de consumo de PB na dieta de 14% PB em relação à dieta 10% PB foi de 330 g/dia, o equivalente a 733 g de farelo de soja que poderiam ser economizados por animal por dia. Assim, a redução nos níveis de PB dietéticos é possível e viável, principalmente na fase de terminação, o que gera redução dos custos com alimentação,

visto que a proteína é o nutriente mais caro da dieta dos animais.

Com base nestes experimentos, o BR-CORTE sugere que se o objetivo for produzir animais superprecoces, a adoção de diferentes teores de PB na recria e terminação pode reduzir os custos de produção e aumentar a lucratividade do sistema. Já na fase de terminação, que no experimento avaliado iniciou com animais em torno de 11 arrobas ou 330 kg de PC, não foi encontrada diferença no desempenho de bovinos Nelore terminados com dietas contendo 10, 12 ou 14% de PB.

TABELAS DE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE PROTEÍNA

Nas Tabelas 8.10 e 8.11, são apresentadas as equações que foram utilizadas para estimar as exigências de proteína para animais zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite de diferentes classes sexuais, terminados em condição de confinamento ou pasto.

Nas Tabelas 8.12, 8.13 e 8.14, as exigências de proteína são apresentadas para animais zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite, respectivamente, em função das classes sexuais e para diferentes pesos corporais e taxas de ganho de peso. Além disso, na Tabela 8.15, as exigências de proteína estão apresentadas para zebuínos criados a pasto para diferentes pesos corporais e taxas de ganho de peso.

Tabela 8.10 - Resumo das equações utilizadas para converter o peso corporal e o ganho médio diário para peso de corpo vazio e o ganho de peso de corpo vazio para animais zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite de três condições sexuais, terminados em confinamento ou em sistema de pastejo

Item	Sistema	Grupo genético	Classe sexual	Equações	Unidade
PCJ		Zebuínos		$0,88 \times PC^{1,0175}$	kg
		Cruzados		$0,9664 \times PC^{1,0017}$	
PCVZ	Confinamento	Zebuínos	Machos não castrados	$0,8126 \times PCJ^{1,0134}$	kg
			Machos castrados	$0,6240 \times PCJ^{1,0608}$	
			Fêmeas	$0,6110 \times PCJ^{1,0667}$	
	Cruzados	Machos não castrados	$0,7248 \times PCJ^{1,0314}$		
		Machos castrados	$0,6586 \times PCJ^{1,0499}$		
		Fêmeas	$0,6314 \times PCJ^{1,0602}$		
Pasto	-	-	$0,8507 \times PCJ^{1,0002}$		
GPCVZ				$0,963 \times GMD^{1,0151}$	kg/dia
PCVZeq		Zebuínos	Machos não castrados	$(PCVZ/517) \times 517$	kg
			Machos castrados	$(PCVZ/433) \times 517$	
			Fêmeas	$(PCVZ/402) \times 517$	
		Cruzados de corte	Machos não castrados	$(PCVZ/560) \times 517$	
			Machos castrados	$(PCVZ/482) \times 517$	
			Fêmeas	$(PCVZ/417) \times 517$	
		Cruzados de leite	Machos não castrados	$(PCVZ/616) \times 517$	
			Machos castrados	$(PCVZ/532) \times 517$	
			Fêmeas	$(PCVZ/493) \times 517$	

Tabela 8.11 - Resumo das equações utilizadas para estimar de exigências de proteína para animais zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite de três condições sexuais, terminados em confinamento ou em sistema de pastejo

Item	Sistema	Grupo genético	Classe sexual	Equações	Unidade
PMm	Confinamento			$3,6 \times PCJ^{0,75}$	g/dia
	Pasto			$3,9 \times PCJ^{0,75}$	
ER				$0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$	Mcal/dia
PLg	Confinamento	Zebuínos	Machos não castrados	$210,09 \times GPCVZ - 10,01 \times ER$	g/dia
			Machos castrados	$153,13 \times GPCVZ - 2,53 \times ER$	
			Fêmeas	$193,90 \times GPCVZ - 12,16 \times ER$	
		Cruzados de Corte	Machos não castrados	$281,77 \times GPCVZ - 27,66 \times ER$	
			Machos castrados	$219,94 \times GPCVZ - 12,04 \times ER$	
			Fêmeas	$174,65 \times GPCVZ - 3,14 \times ER$	
	Cruzados de Leite	Machos não castrados	$171,43 \times GPCVZ - 3,08 \times ER$		
		Machos castrados	$236,36 \times GPCVZ - 19,84 \times ER$		
		Fêmeas	$206,58 \times GPCVZ - 15,39 \times ER$		
Pasto	-	-	$181,43 \times GPCVZ - 2,88 \times ER$		
k				$PCJ < 340 \text{ kg: } 84,665 - 0,1179 \times PCVZeq$ $PCJ > 340 \text{ kg: } 47,4$	%
PMg				PLg/k	g/dia
PM total				$PMm + PMg$	g/dia
PBmic				$- 53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2$	g/dia
PDR				PBmic	g/dia
PNDR				$(PMt - (PBmic \times 0,64))/0,80$	g/dia
PB				PDR + PNDR	g/dia

Dessa forma, considerando um macho Nelore não castrado de 400 kg, ganhando 1 kg/dia, em confinamento, tem-se:

- $PCJ = 0,88 \times PC^{1,0175} = 0,88 \times 400^{1,0175} = 390,9 \text{ kg}$
- $PCVZ = 0,8126 \times PCJ^{1,0134} = 0,8126 \times 390,9^{1,0134} = 344,1 \text{ kg}$
- $GPCVZ = 0,963 \times GMD^{1,0151} = 0,963 \times 1^{1,0151} = 0,96 \text{ kg/dia}$
- $PCVZeq = (PCVZ/517) \times 517 = (344,1/517) \times 517 = 344,1 \text{ kg}$
- $PMm = 3,6 \times PCJ^{0,75} = 3,6 \times 390,9^{0,75} = 316 \text{ g/dia}$
- $ELg = 0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035} = 0,061 \times 344,1^{0,75} \times 0,96^{1,035} = 4,69 \text{ Mcal/dia}$
- $PLg = 210,09 \times GPCVZ - 10,01 \times ER = 210,09 \times 0,96 - 10,01 \times 4,69 = 155,4 \text{ g/dia}$
- $k = 47,4\%$
- $PMg = PLg/k = 155,4/0,474 = 328 \text{ g/dia}$
- $PM \text{ total} = PMm + PMg = 316 + 328 = 644 \text{ g/dia}$
- $PBmic = - 53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2 = - 53,07 + 304,9 \times 0,929 + 90,8 \times 5,21 - 3,13 \times 5,21^2 = 618 \text{ g/dia}$
- $PDR = PBmic = 618 \text{ g/dia}$
- $PNDR = [PMt - (PBmic \times 0,64)]/0,80 = [644 - (618 \times 0,64)]/0,80 = 311 \text{ g/dia}$
- $PB = PDR + PNDR = 618 + 311 = 929 \text{ g/dia}$

Para cruzados de corte, considerando um macho não castrado de 400 kg, ganhando 1 kg/dia, em confinamento, têm-se:

- $PCJ = 0,9664 \times PC^{1,0017} = 0,9664 \times 400^{1,0017} = 390,5 \text{ kg}$
- $PCVZ = 0,7248 \times PCJ^{1,0314} = 0,7248 \times 390,5^{1,0314} = 341,4 \text{ kg}$
- $GPCVZ = 0,963 \times GMD^{1,0151} = 0,963 \times 1^{1,0151} = 0,96 \text{ kg/dia}$
- $PCVZeq = (PCVZ/560) \times 517 = (341,4/560) \times 517 = 315,2 \text{ kg}$
- $PMm = 3,6 \times PCJ^{0,75} = 3,6 \times 390,5^{0,75} = 316,3 \text{ g/dia}$
- $ELg = 0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035} = 0,061 \times 315,2^{0,75} \times 0,96^{1,035} = 4,39 \text{ Mcal/dia}$
- $PLg = 281,77 \times GPCVZ - 27,66 \times ER = 281,77 \times 0,96 - 27,66 \times 4,39 = 150 \text{ g/dia}$
- $k = 47,4\%$
- $PMg = PLg/k = 150/0,474 = 316,4 \text{ g/dia}$
- $PM \text{ total} = PMm + PMg = 316,3 + 316,4 = 633 \text{ g/dia}$
- $PBmic = - 53,07 + 304,89 \times CPB + 90,79 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2 = - 53,07 + 304,9 \times 0,912 + 90,8 \times 5,10 - 3,13 \times 5,10^2 = 606 \text{ g/dia}$
- $PDR = PBmic = 606 \text{ g/dia}$
- $PNDR = [PMt - (PBmic \times 0,64)]/0,80 = [633 - (606 \times 0,64)]/0,80 = 306 \text{ g/dia}$
- $PB = PDR + PNDR = 606 + 306 = 912 \text{ g/dia}$

Tabela 8.12 - Exigências de proteína para zebuínos de diferentes classes sexuais, pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,61	6,96	7,86	6,30	7,65	8,54	6,96	8,31	9,21	7,60	8,95	9,85
Machos não castrados												
PMm (g/dia)	254			286			316			346		
PLg (g/dia)	82,0	165	248	79,7	160	241	77,5	155	234	75,3	151	227
PMg (g/dia)	150	302	455	168	338	507	163	328	493	159	318	478
PMt (g/dia)	404	556	709	454	623	793	480	644	809	505	665	824
PDR (g/dia)	389	527	658	435	583	723	471	618	757	504	651	788
PNDR (g/dia)	194	274	359	219	313	413	223	311	406	228	310	400
PB (g/dia)	583	801	1018	654	896	1136	694	929	1163	732	961	1188
Machos castrados												
PMm (g/dia)	254			286			316			346		
PLg (g/dia)	67,7	137	206	67,0	135	204	66,3	134	202	65,7	132	199
PMg (g/dia)	140	282	425	141	285	430	140	282	425	139	279	421
PMt (g/dia)	394	536	679	427	571	716	456	599	742	485	625	767
PDR (g/dia)	392	532	665	434	578	712	472	618	753	508	656	790
PNDR (g/dia)	179	244	317	187	251	324	193	254	325	199	257	326
PB (g/dia)	571	776	981	621	829	1037	665	872	1078	708	913	1117
Fêmeas												
PMm (g/dia)	254			286			316			346		
PLg (g/dia)	65,4	131	196	61,8	123	185	58,3	116	174	54,9	109	163
PMg (g/dia)	145	290	434	130	260	390	123	245	367	116	230	344
PMt (g/dia)	399	544	688	416	546	676	440	562	683	462	576	690
PDR (g/dia)	399	544	679	435	577	707	471	612	741	506	646	771
PNDR (g/dia)	180	245	318	173	222	279	173	212	261	173	204	246
PB (g/dia)	578	788	996	607	798	986	644	824	1002	679	850	1017

Tabela 8.13 - Exigências de proteína para cruzados de corte de diferentes classes sexuais, pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,81	7,28	8,45	6,38	7,85	9,02	6,93	8,40	9,57	7,46	8,93	10,1
Machos não castrados												
PMm (g/dia)	255			286			316			346		
PLg (g/dia)	87,4	174	261	81,4	162	242	75,7	150	224	70,1	138	206
PMg (g/dia)	153	305	457	172	342	510	160	316	472	148	292	434
PMt (g/dia)	408	560	712	458	628	796	476	633	788	493	637	780
PDR (g/dia)	388	524	653	433	579	717	464	606	740	494	632	761
PNDR (g/dia)	200	281	367	226	322	422	223	306	393	222	291	366
PB (g/dia)	587	805	1020	659	900	1139	688	912	1133	715	923	1127
Machos castrados												
PMm (g/dia)	255			286			316			346		
PLg (g/dia)	81,8	164	247	78,8	158	237	75,9	152	228	73,1	146	219
PMg (g/dia)	156	314	472	166	333	501	160	321	481	154	308	462
PMt (g/dia)	411	569	727	452	619	787	476	637	798	500	654	808
PDR (g/dia)	395	539	675	438	588	730	473	622	762	506	654	792
PNDR (g/dia)	198	280	368	215	304	399	217	298	387	220	294	376
PB (g/dia)	593	819	1043	653	892	1129	690	921	1149	726	948	1168
Fêmeas												
PMm (g/dia)	255			286			316			346		
PLg (g/dia)	76,4	154	232	75,6	152	230	74,7	151	227	73,9	149	224
PMg (g/dia)	164	331	498	159	321	484	158	318	479	156	314	473
PMt (g/dia)	419	585	753	445	607	770	474	634	795	501	659	818
PDR (g/dia)	406	559	703	445	598	743	482	637	782	517	674	818
PNDR (g/dia)	198	285	379	201	281	369	207	282	368	213	285	369
PB (g/dia)	605	844	1082	646	879	1111	689	920	1150	730	959	1187

Tabela 8.14 - Exigências de proteína para cruzados de leite de diferentes classes sexuais, pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,21	6,75	7,80	5,96	7,49	8,55	6,68	8,21	9,27	7,37	8,91	9,96
Machos não castrados												
PMm (g/dia)	260			291			322			352		
PLg (g/dia)	76,8	155	234	76,2	154	232	75,6	153	230	75,0	151	228
PMg (g/dia)	153	309	466	161	324	489	160	322	485	158	319	481
PMt (g/dia)	413	569	726	452	616	780	482	644	807	510	671	833
PDR (g/dia)	384	519	648	426	566	699	462	603	737	496	638	772
PNDR (g/dia)	209	296	389	225	317	416	232	322	419	240	328	423
PB (g/dia)	593	815	1037	650	883	1115	694	925	1156	737	966	1196
Machos castrados												
PMm (g/dia)	260			286			316			346		
PLg (g/dia)	77,4	155	232	72,9	145	217	68,5	136	203	64,2	127	190
PMg (g/dia)	140	280	419	154	307	459	144	287	429	135	268	400
PMt (g/dia)	399	539	679	440	593	745	461	603	745	481	614	746
PDR (g/dia)	384	517	643	427	568	701	461	600	729	493	630	755
PNDR (g/dia)	192	260	334	208	286	370	207	274	348	206	264	328
PB (g/dia)	576	777	977	635	854	1071	668	874	1078	700	893	1084
Fêmeas												
PMm (g/dia)	255			286			316			346		
PLg (g/dia)	77,2	156	235	76,5	154	232	75,7	153	230	75,0	151	228
PMg (g/dia)	147	297	447	161	325	490	160	322	485	158	319	480
PMt (g/dia)	402	552	702	447	611	776	476	638	802	504	664	826
PDR (g/dia)	390	530	663	436	585	725	474	624	764	509	660	800
PNDR (g/dia)	190	265	348	210	296	391	216	299	391	222	302	392
PB (g/dia)	580	796	1010	646	881	1115	690	923	1155	731	962	1192

Tabela 8.15 - Exigências de proteína para bovinos criados a pasto de diferentes classes sexuais, pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,24	6,11	7,76	6,11	7,13	9,05	6,98	8,15	10,3	7,85	9,17	11,6
PMm (g/dia)	254			286			316			346		
PLg (g/dia)	81,3	164	247	80,7	163	245	80,1	162	244	79,5	160	242
PMg (g/dia)	147	296	447	170	344	518	169	341	514	168	338	510
PMt (g/dia)	401	551	701	456	629	804	485	657	830	514	684	856
PDR (g/dia)	374	477	587	423	539	663	459	579	706	494	617	746
PNDR (g/dia)	202	307	407	232	355	474	239	358	473	247	362	473
PB (g/dia)	576	783	994	655	895	1137	699	937	1179	741	979	1219

REFERÊNCIAS

- Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. Wallingford, UK: Agricultural and Food Research Council. CAB International, 159p, 1993.
- Ainslie, S. J.; Fox, D. G.; Perry, T. C., et al. Predicting amino acid adequacy of diets fed to Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 71:1312-1319, 1993.
- Amaral, P. M. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos mestiços Holandês x zebu alimentados com dietas contendo diferentes níveis de proteína*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 69p, 2012.
- Amaral, P. M.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Santos, S. A.; Prados, L. F.; Mariz, L. D. S.; Alves, L. C.; Menezes, A. C. B.; Villadiego, F. A. C.; Novaes, M. A. S.; Silva, F. A. S. Effect of phase-feeding crude protein on performance and carcass characteristics of crossbred beef bulls: an application to reduce nitrogen compounds in beef cattle diets. *Tropical Animal Health and Production*. 46:419–425, 2014.
- Agricultural Research Council - ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureau. The Gresham Press, 351 p, 1980.
- Appuhamy, J. A. D. R. N.; Nayananjalie, W. A.; England, E. M.; Gerrard, D. E.; Akers, R. M. Effects of AMP-activated protein kinase (AMPK) signaling and essential amino acids on mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling and protein synthesis rates in mammary cells. *Journal of Dairy Science*, 97:419-429, 2014.
- Bach, A.; Calsamiglia, S.; Stern, M. D. Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 88:E9-E21, 2005.
- Backes, A. A. *Composição corporal e exigências de energia, proteína e macro elementos minerais para bovinos mestiços leiteiros e zebu, castrados, em fase de recria e engorda, em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 97p, 2003.
- Batista, E. D.; Detmann, E.; Titgemeyer, E. C.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Prates, L. L.; Rennó, L. N.; Paulino, M. F. Effects of varying ruminally undegradable protein supplementation on forage digestion, nitrogen metabolism, and urea kinetics in Nelore cattle fed low-quality tropical forage. *Journal of Animal Science*. 94:201–216, 2016.
- Beef Cattle Nutrient Requirements Model – BCNRM. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 8th ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 475 p, 2016.
- Blaxter, K. L.; Clapperton, J. L.; Wainman, F. W. Utilization of the energy and protein of the same diets by cattle of different ages. *Journal of Agriculture Science*. 67:67–75, 1966.
- Blaxter, K. L. *The Energy Metabolism of Ruminants*. Hutchinson, London, 332 p, 1967.
- Boin, C.; Leme, P. R.; Lanna, D. P. D. et al. Tourinhos Nelore em crescimento e acabamento. 2. Exigências de energia líquida de manutenção e eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção e crescimento. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1994, Maringá, Anais... Maringá: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 473, 1994.

- Boin, C. Alguns dados sobre exigências de energia e de proteína de zebuínos. In: Simpósio Internacional sobre Exigências Nutricionais de Ruminantes, 1995, Viçosa, MG. *Anais...* Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 457-465, 1995.
- Boye, J.; Wijesinha-Bettoni, R.; Burlingame, B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Animal Nutrition*, 108:83–211, 2012.
- Cavalcante, M. A. B.; Pereira, O. G.; Valadares Filho, S. C.; Ribeiro, K. G. Crude protein levels in diets of beef cattle: intake and apparent total tract, intestinal, and ruminal digestibilities of nutrients. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 14:711-719, 2005.
- Cervieri, R. C.; Arrigoni, M. B.; Oliveira, H. N.; Silveira, A. C.; Chardulo, L. A. L.; Costa, C.; Martins, C. L. Desempenho e Características de Carcaça de Bezerros Confinados Recebendo Dietas com Diferentes Degradabilidades da Fração Protéica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:1590–1599, 2001.
- Chizzotti, M. L. *Avaliação da casca de algodão para novilhos de origem leiteira e determinação da excreção de creatinina e produção de proteína microbiana em novilhas e vacas leiteiras*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 132p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- Commonwealth Scientific And Industrial Research Organization – CSIRO. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council. 270p, 2007.
- Costa e Silva, L.F. *Exigências nutricionais, validação de equações para a estimação da composição do corpo vazio e uso da creatinina para estimar a proporção de tecido muscular em bovinos Nelore*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 126p, 2011.
- Costa e Silva, L. F.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Rotta, P. P.; Zanetti, D.; Villadiego, F. A. C.; Pellizzoni, S. G.; Pereira, R. M. G. Performance, growth, and maturity of Nelore bulls. *Tropical Animal Health and Production*. 45:795–803, 2013.
- Costa e Silva, L. F. *Mineral requirements for Nelore cattle and equations to predict milk yield and dry matter intake for lactating Nelore cows and suckling Nelore calves*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 125 p, 2015.
- Dimarco, O. N.; Aello, M. S. Energy expenditure due to forage intake and walking of grazing cattle. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 53:105-100, 2001.
- Ezequiel, J. M. B. *Exigências de proteína e minerais de bovídeos: frações endógenas*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 131p, 1987.
- Ferreira, M. A. *Desempenho, exigências nutricionais e eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho de peso de bovinos F1 Simental x Nelore*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 97 p, 1997.
- Ferreira, M. A., Valadares Filho, S. C.; Coelho Da Silva, J. F.; Paulino, M. F. Valadares, R. F. D.; Cecon, P. R.; Muniz, E. B. Composição corporal e exigências líquidas de proteína e energia para ganho de peso de bovinos F1 Simental X Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28:352-360, 1999.
- Fontes, C. A. A. Composição corporal, exigências líquidas de nutrientes para ganho de peso e desempenho produtivo de animais zebuínos e mestiços europeu-zebu. Resultados experimentais. In: Simpósio Internacional sobre Exigências Nutricionais de Ruminantes, Viçosa, MG. *Anais...* Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 419-455, 1995.
- Galyean, M. L. Invited review: Nutrient requirements of ruminants: Derivation, validation and application. *The Professional Animal Scientist*, 30:125-128, 2014.
- Galvão, J. G. C. *Estudo da eficiência nutritiva, características e composição física da carcaça de bovinos de três grupos raciais, abatidos em três estágios de maturidade*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 82p, 1991.
- Garret, W. N.; Meyer, J. H.; Lofgreen, J. P. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Journal of Animal Science*, 18:528-547, 1959.
- Garret, W. N. Factor influencing energetic efficiency of beef production. *Journal of Animal Science*, 51:1434- 1440, 1980.
- Geay, Y. Energy and protein utilization in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 58:766-778, 1984.

- Gionbelli, M. P.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Paulino, P. V. R.; Valadares, R. F. D.; Santos, T. R.; Costa e Silva, L. F.; Magalhães, F. A. Intake performance, digestibility, microbial efficiency and carcass characteristics of growing Nelore heifers fed two concentrate levels. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:1243–1252, 2012.
- Institut National De La Recherche Agronomique – INRA. *Alimentation des bovines, ovins, et caprins*. Paris, FR:INRA, 192p, 1988.
- Jorge, A. M. *Ganho de peso, conversão alimentar e características de carcaça de bovinos e bubalinos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 97p, 1993.
- Lana, R. P.; Fontes, C. A. A.; Peron, A. J.; Paulino, M. F.; Queiroz, A. C.; Silva, D. J. Composição corporal e do ganho de peso e exigências de energia, proteína e macro elementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K), de novilhos de cinco grupos raciais. 2. Exigências de energia e proteína. *Revista Sociedade Brasileira Zootecnia*, 21:528-537, 1992.
- Lazzarini, I.; Detmann, E.; Sampaio, C. B.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Souza, M. A.; Oliveira, F. A. Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:2021–2030, 2009.
- Leonel, F. P. *Exigência nutricionais em macronutrientes minerais (Ca, P, Mg, Na e K) para novilhos de diferentes grupos zootécnicos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 53 p, 2003.
- Machado, P. A. S. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de bovinos de corte em pastagem de brachiaria decumbens, suplementados no período de transição águas-secas*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 73 p, 2009.
- Marcondes, M. I. *Desempenho de bovinos Nelore alimentados individualmente ou em grupo, exigências nutricionais e avaliação proteica de alimentos para ruminantes*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 36 p, 2007.
- Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Nascimento, F. B.; Fonseca, M. A. Exigências nutricionais de proteína, energia e macrominerais de bovinos Nelore de tres classes sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1587-1596, 2009.
- Marcondes, M. I. *Exigências nutricionais e predição da composição corporal de bovinos Nelore puros e cruzados*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 239 p, 2010.
- Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Oliveira, I. M.; Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Prados, L.F. Exigências nutricionais de animais Nelore puros e cruzados com as raças Angus e Simental. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:2235-2243, 2011.
- Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Gionbelli, M. P. Predicting efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain and maintenance of Nelore cattle. *Journal of Animal Science*, 91:4887-4898, 2013.
- Mariz, L. D. S. *Digestibilidade intestinal dos aminoácidos e utilização de ¹⁵N e bases purinas para a quantificação da síntese de proteína microbiana em zebuínos puros e cruzados alimentados com diferentes níveis dietéticos de proteína bruta*. 72 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2016.
- Martins, R. G. R. *Exigências de energia, proteína e macro elementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos Nelore e mestiços, não castrados, em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 78 p, 2003.
- Menezes, A. C. B. *Use of ¹⁵N to estimate microbial contamination and protein degradation of concentrate feeds and the effect of decreasing dietary crude protein on methane emission and nitrogen losses in Nelore bulls*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 89 p, 2016.
- Menezes, A. C. B.; Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F.; Pacheco, M. V. C.; Pereira, J. M. V.; Rotta, P. P.; Zanetti, D.; Detmann, E.; Silva, F. A. S.; Godoi, L. A.; Rennó, L. N. Does a reduction in dietary crude protein content affect performance, nutrient requirements, nitrogen losses, and methane emissions in finishing Nelore bulls? *Agriculture Ecosystem and Environment*. 223:239–249, 2016.

- Moraes, E. H. B. K. *Desempenho e exigências de energia, proteína e minerais de bovinos de corte em pastejo, submetidos a diferentes estratégias de suplementação*. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 136 p, 2006.
- National Research Council – NRC. *Ruminant Nitrogen Usage*. Washington, DC: National Academy Press, 138 p, 1985.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th. edition. Washington, DC: National Academy Press, 90 p, 1984.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Updated 7th. edition. Washington, DC: National Academy Press, 242p, 2000.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Small Ruminants*. 1st edition. Washington, D.C. National Academy Press, 362 p, 2006.
- Oldham, J. D. Efficiencies of amino acid utilization. In: Jarrige, R.; Alderman, G.(Ed). *Feed Evaluation and Protein Requirement Systems for Ruminants*. Brussels: Commission of the European Communities, 171-186, 1987.
- Oliveira, C. A.; Millen, D. D. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. *Animal Feed Science and Technology*, 197:64-75, 2014.
- Paixão, M. L. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de bovinos de corte em pastagens de brachiaria decumbens com suplementação proteica*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 110p, 2008.
- Paula, N. F. *Beef cattle growth in the grazing/supplement system receiving different nutritional plans*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 130p, 2012.
- Paulino, M. F. *Composição corporal e exigências de energia, proteína e macro elementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos não-castrados de quatro raças zebuínas em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 80 p, 1996.
- Paulino, M. F.; Fontes, C. A. A.; Jorge, A. M.; Gomes Jr., P. *Composição corporal e exigências de energia e proteína para ganho de peso de bovinos de quatro raças zebuínas*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28:627-633, 1999.
- Paulino, P. V. R. *Exigências nutricionais e validação da seção HH para predição da composição corporal de zebuínos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 158 p, 2002.
- Paulino, P. V. R. *Desempenho, composição e exigências nutricionais de bovinos Nelore de diferentes classes sexuais*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 167 p, 2006.
- Pires, C. C.; Fontes, C. A. A.; Galvão, J. G. et al. Exigências nutricionais de bovinos de corte em acabamento. I. Composição corporal e exigências de proteínas para ganho de peso. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 22:110-120, 1993.
- Porto, M. O. *Multiple supplements to beef cattle in calves, growing and finishing, in pasture of Brachiaria decumbens*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 159 p, 2009.
- Prados, L. F. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de cálcio e fósforo*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 96 p, 2012.
- Prados, L. F.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Zanetti, D.; Santos, S. A.; Sattler, D. F. T.; Mariz, L. D. S.; Borges, A. L. C. C.; Nunes, A. N.; Rodrigues, F. C.; Amaral, P. M. Energy and protein requirements of 3/4 Zebu x 1/4 Holstein crossbreds fed different calcium and phosphorus levels in the diet. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 67:555–563, 2015.
- Prates, L. L. *Utilização da ¹⁵N ¹⁵N-ureia infundida intravenosamente em bovinos nelore*. 64 p. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2015.
- Putrino, S.M. *Exigências de proteína e energia líquidas para o ganho de peso de tourinhos das raças Nelore e Brangus alimentados com dietas com diferentes proporções de concentrado*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, 82 p, 2002.
- Putrino, S. M.; Leme, P. R.; Luz e Siva, S.; Alleoni, G. F.; Lanna, D. P. D.; Lima, C. G.; Grossklaus, C. Exigências líquidas de proteína e energia para ganho de peso de tourinhos Brangus e Nelore alimentados com dietas contendo diferentes proporções de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35:292-300, 2006.

- Rhoads, M. L.; Rhoads, R. P.; Gilbert, R. O.; Toole, R.; Butler, W. R. Detrimental effects of high plasma urea nitrogen levels on viability of embryos from lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 91:1-10, 2006.
- Rodrigues, F. C. *Turnover proteico, avaliação e predição da composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos $3/4$ Zebu x $1/4$ Holandês*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 44 p, 2014.
- Rotta, P. P. *Desempenho produtivo, exigências nutricionais e avaliação de métodos para estimação de fluxo de digesta em bovinos alimentados com silagem de milho ou cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 144 p, 2012.
- Russell, J. B.; O'Connor, J. D.; Fox, D. G.; Van Soest, P. J.; Sniffen, C. J. A Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets: I. Ruminant Fermentation. *Journal of Animal Science*, 70:3551-3561, 1992.
- Sales, M. F. L. *Performance and nutritional requirements of grazing Zebu cattle*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 128 p, 2008.
- Sampaio, C. B.; Detmann, E.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Souza, M. A.; Lazzarini, I.; Paulino, P. V. R.; Queiroz, A. C. Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Tropical Animal Health and Production*, 42:1471-1479, 2010.
- Shahin, K. A.; Berg, R. T.; Price, M. A. The effect of breed type and castration on tissue growth patterns and carcass composition in cattle. *Livestock Production Science*, 35:251-264, 1993.
- Silva, F. F. *Desempenho, características de carcaça, composição corporal e exigências nutricionais (de energia, proteína, aminoácidos e macrominerais) de novilhos Nelore, nas fases de recria e engorda, recebendo diferentes níveis de concentrado e proteína*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 211 p, 2001.
- Silva, F. A. S. *Desempenho, produção de metano entérico, eficiência de utilização da energia, metabolismo proteico muscular e exigências nutricionais de novilhas holandês x zebu alimentadas com silagem de milho ou cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 64 p, 2015.
- Sinclair, K. D.; Garnsworthy, P. C.; Mann, G. E.; Sinclair, L. A. Reducing dietary protein in dairy cow diets: implications for nitrogen utilization, milk production, welfare and fertility. *Animal – A major new International Journal of Animal Bioscience*, 8:262-274, 2014.
- Smuts, D. The relation between the basal metabolism and the endogenous nitrogen metabolism, with particular reference to the maintenance requirement of protein. *Journal of Nutrition*, 9:403-433, 1935.
- Souza, E. J. *Desempenho e exigências nutricionais de fêmeas Nelore, F1 Angus x Nelore e F1 Simental x Nelore em dietas contendo alto ou baixo nível de concentrado*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.
- Susmel, P.; Spanghero, M.; Stefanon, B.; Mills, C. R.; Plazzotta, E. N losses, purine N derivatives excretion and intestinal digestible protein requirements of cows for maintenance. *Livestock Production Science*, 36:213-222, 1993.
- Tedeschi, L. O.; Boin, C.; Fox, D. G.; Leme, P. R.; Alleoni, G. F.; Lanna, D. P. D. Energy requirement for maintenance and growth of Nelore bulls and steers fed high forage diets. *Journal of Animal Science*, 80:1671-1682, 2002.
- Valadares, R. F. D.; Goncalvez, L. C.; Sampaio, I. B.; Coelho da Silva, J. F. Protein levels in cattle diets. 2. Intake, digestibilities, and nitrogen balance. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26:1259-1263, 1997.
- Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhaes, K. A. *Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos - BR CORTE*. 1.ed. Vicosa, MG:Suprema Grafica Ltda, 142 p, 2006.
- Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados - BR CORTE*. 2. ed. Viçosa, MG, Brasil. Suprema Grafica Ltda, 193 p, 2010.
- Veloso, C. M. *Composição corporal e exigências nutricionais de bovinos F1 Limousin x Nelore alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 109 p, 2001.

- Véras, A. S. C. *Consumo, digestibilidade, composição corporal e exigências nutricionais de bovinos Nelore alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 166 p, 2000.
- Véras, R. M. L.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Rennó, L. N.; Paulino, P. V. R.; Souza, M. A. Balanço de compostos nitrogenados e estimativa das exigências de proteína de manutenção de bovinos Nelore de três condições sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:1212-1217, 2007.
- Véras, R. M. L., *Consumo, digestibilidades total e parcial, produção microbiana e exigências de proteína para manutenção de bovinos Nelore*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 115 p, 2006.
- Wilkerson, V. A.; Klopfenstein, T. J.; Britton, R. A.; Stock, R. A.; Miller, P. S. Metabolizable protein and amino acid requirements of growing cattle. *Journal of Animal Science*, 71:2777- 2784, 1993.
- Winchester, C. F.; Hiner, R. L.; and Scarborough, V. C. Some effects on beef cattle of protein and energy restriction. *Journal of Animal Science*, 16:426-436. 1957.
- Zanetti, D. *Exigências nutricionais, frequência de alimentação e níveis de cálcio e fósforo para bovinos Holandês × Zebu em confinamento*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 78 p, 2014.
- Zanetti, D. *Water intake, environmental contaminants, and mineral balance in Nellore cattle* Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 162p., Dados não publicados.
- Zinn, R. A.; Owens, F. N. Influence of feed intake level on site of digestion in steers fed a high concentrate diet. *Journal of Animal Science*, 56:471-475, 1983.

Exigências de minerais para bovinos de corte

Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Polyana Pizzi Rotta, Marcos Inácio Marcondes, Diego Zanetti, Mateus Pies Gionbelli, Terry Eugene Engle, Mário Fonseca Paulino

INTRODUÇÃO

Os minerais estão presentes em quantidades e proporções variáveis em todos os alimentos e tecidos animais (Underwood, 1981), porém muitos deles, apesar de estarem presentes no corpo, não desempenham uma função específica no metabolismo animal. Os minerais essenciais são os elementos que exercem uma função específica no organismo (McDonald et al., 2002). Vinte e dois minerais foram identificados como essenciais para a vida animal: cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cloro (Cl), magnésio (Mg) e enxofre (S), considerados macronutrientes minerais; ferro (Fe), iodo (I), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), cobalto (Co), molibdênio (Mo), selênio (Se), cromo (Cr), estanho (Sn), vanádio (V), flúor (F), silício (Si), níquel (Ni) e argônio (Ar), considerados micronutrientes minerais (Spears e Kegley, 2002). De acordo com sua concentração, os macrominerais são expressos em g/kg de tecido animal, enquanto os microminerais em mg/kg de tecido animal.

Os minerais, embora estejam presentes no corpo animal em menor proporção que outros nutrientes, como proteína e gordura, desempenham funções vitais no organismo, e suas deficiências podem acarretar alterações nutricionais graves, levando o animal a apresentar respostas produtivas e reprodutivas aquém de seu potencial. Os minerais possuem basicamente cinco tipos de função no organismo animal (Suttle, 2010; Wilson et al., 2016), sendo elas:

1. Estrutural: composição dos órgãos e tecidos corporais, como: Ca, P, Mg, F e Si nos ossos e dentes; e P e S nas proteínas musculares. Cerca de 99% do Ca, 80% do P e 70% do Mg corporal estão presentes no esqueleto (AFRC, 1991; Coelho da Silva, 1995; NRC, 2000);

2. Fisiológico: constituintes dos tecidos e fluidos corporais responsáveis pela manutenção da pressão osmótica, equilíbrio ácido-base,

permeabilidade de membrana e irritabilidade do tecido, como: Na, K, Cl, Ca e Mg no sangue, fluido cérebro-espinhal e suco gástrico (Suttle, 2010);

3. Catalítico: catalizadores de sistemas enzimáticos e hormonais, sendo desempenhado basicamente pelos microminerais. Dentre os inúmeros exemplos, a regulação exercida pelo Cu no metabolismo e síntese de lipídeos, e do Zn na espermatogênese (Suttle, 2010);

4. Regulatório: regulação da replicação e diferenciação celular, como os íons Ca, que influenciam na transdução de sinais e as selenocisteínas que influenciam na transcrição genética (Suttle, 2010); e

5. Resposta imune: a suplementação de Cu para bezerros aumenta a sua concentração no fígado durante desafios respiratórios, resultando em impactos positivos na resposta imune durante um período de estresse (Wilson et al., 2016).

Essas funções podem ser exercidas apenas se quantidades suficientes dos minerais consumidos forem absorvidas e retidas, a fim de manter o crescimento, desenvolvimento e reprodução, além de repor os minerais perdidos para a produção de leite, por exemplo (Suttle, 2010). Os alimentos comumente utilizados na alimentação de bovinos de corte podem fornecer esses nutrientes (Genther e Hansen, 2014), entretanto, as concentrações são variáveis e/ou inadequadas (Smart et al., 1981), contribuindo, assim, para o baixo desempenho animal e baixa qualidade da carne (Spears e Kegley, 2002). De acordo com Arthington et al. (2014), a suplementação de minerais pode ocorrer por várias maneiras, incluindo mistura mineral, blocos de sal fortificados com minerais, microminerais injetáveis e suplementos energético-proteicos fortificados com microminerais. Dessa forma, a adequação da quantidade de cada mineral fornecido aos animais é recomendada para garantir um adequado desempenho animal e evitar

contaminação do solo e cursos d'água pelos minerais excretados via fezes e urina.

Para prever as exigências de minerais para bovinos, o método fatorial tem sido o mais utilizado (ARC, 1980). As exigências dietéticas de cada mineral correspondem a soma das exigências líquidas para manutenção e produção e o resultado é dividido pelo coeficiente de absorção do mineral no trato digestivo do animal. Contudo, nem todo mineral absorvido pelo animal possui função no organismo, sendo assim excretado via urina. Dessa forma, a utilização do coeficiente de absorção parece não ser o mais adequado, e sim o coeficiente de retenção verdadeira, que considera as perdas dos minerais via urina.

As exigências de minerais para bovinos são expressas em quantidades por dia ou por unidade de produto, ou ainda em proporção da matéria seca consumida. As exigências de minerais podem ser afetadas pela raça ou grupo genético do animal, alimentação, nível de produção e ambiente (Suttle, 2010). Fatores inerentes aos alimentos ou às dietas, como as frações orgânicas ou inorgânicas do mineral, a disponibilidade e a forma química desse elemento nos ingredientes da dieta, juntamente com aspectos relacionados às inter-relações (antagonismos e agonismos) entre os minerais também podem influenciar as exigências dietéticas dos mesmos.

Para calcular as exigências dietéticas de minerais, há necessidade de conhecer quanto do mineral encontrado no alimento pode ser liberado durante os processos digestivos para que o animal possa absorvê-lo e utilizá-lo. Ainda, acredita-se que há diferença nos alimentos produzidos em regiões de clima tropical e temperado quanto a liberação dos minerais para o organismo animal.

Assim, algumas discussões serão apresentadas nesse capítulo sobre as exigências de macrominerais (Ca, P, Mg, Na, K e S) e microminerais (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se e Zn) para manutenção, bem como os coeficientes de retenção de cada mineral com dados provenientes de pesquisas desenvolvidas no Brasil. Também serão apresentadas equações para estimar as exigências líquidas para ganho obtidos com dados de animais criados em condições tropicais. Por fim, serão apresentadas as tabelas de exigências dietéticas para

macrominerais e microminerais para bovinos de corte.

EXIGÊNCIAS DIETÉTICAS DE MINERAIS

As exigências de minerais para manutenção incluem os minerais necessários para manter intactos os tecidos de um animal que não está em crescimento, desempenhando trabalho, reproduzindo ou gerando qualquer produto (Underwood, 1981). A manutenção do corpo envolve o metabolismo interno para circulação, respiração e outros processos vitais, juntamente com perdas externas e movimentos normais do animal. Essas exigências são relativas às necessidades do animal para atender as perdas inevitáveis do corpo, também chamadas de secreções ou perdas endógenas (Fontes, 1995).

No entanto, trabalhos desenvolvidos no Brasil, avaliando as perdas endógenas e os coeficientes de absorção de minerais em bovinos são escassos. Os poucos estudos realizados apresentam valores variáveis, não sendo possível estabelecer em edições anteriores uma recomendação precisa para bovinos criados em condições brasileiras. Na última edição do BR-CORTE, a maior parte das exigências de minerais para manutenção e os coeficientes de absorção, tanto para macrominerais como para microminerais foram sugeridos a partir das recomendações do ARC (1980) e NRC (2000).

Os principais conselhos mundiais de exigências nutricionais (ARC, 1980; NRC, 2000; NRC, 2001; CSIRO, 2007) consideram que as perdas de minerais via urina são negligenciáveis devido à reciclagem de minerais que ocorre nos rins. Todavia, Costa e Silva et al. (2015a) verificaram que as perdas de minerais via urina podem chegar a 35% da quantidade do mineral consumido e assim, não devem ser desconsideradas. Dessa forma, o coeficiente de retenção verdadeira deveria ser considerado para todos os minerais ao invés do coeficiente de absorção, pois nem sempre o que está sendo absorvido será aproveitado pelo animal.

Assim, as exigências dietéticas serão calculadas a partir da soma das exigências líquidas para manutenção e ganho de peso e posterior divisão pelo coeficiente de retenção.

BANCO DE DADOS***Exigências líquidas para manutenção e coeficiente de retenção***

As exigências líquidas de cada mineral para manutenção e o coeficiente de retenção foram estimados como sendo o intercepto e a inclinação, respectivamente, da regressão entre o mineral retido no corpo e o mineral consumido, calculado a partir do seguinte modelo:

$$MR = MC - MEf - MEu,$$

em que MR = mineral retido, MC = mineral consumido, MEf = mineral excretado via fezes e MEu = mineral excretado via urina.

Para estimar as exigências líquidas para manutenção e o coeficiente de retenção de cada mineral, um banco de dados foi construído a partir de 10 experimentos conduzidos em condições tropicais: Souza (2010), Gionbelli

(2010), Marcondes (2010), Prados (2012), Zanetti (2014), Sathler (2015), Costa e Silva et al. (2015a – 2), Prados (2016), e Zanetti (dados não publicados), sendo utilizados dados referentes aos minerais avaliados nos alimentos fornecidos aos animais, nas fezes e na urina (Tabelas 9.1 e 9.2). Esse banco de dados foi constituído por 325 animais, sendo 181 machos não castrados, 73 machos castrados e 71 fêmeas. Ainda, os animais utilizados são oriundos dos seguintes grupos genéticos: Nelore ($n = 243$), Zebu \times Holandês ($n = 46$), Angus \times Nelore ($n = 18$) e Simental \times Nelore ($n = 18$). Foi utilizada uma meta-análise onde classe sexual (efeito fixo), grupo genético (efeito fixo) e experimento (efeito aleatório) foram considerados como efeitos classificatórios a fim de avaliar diferença para cada mineral avaliado.

Tabela 9.1 - Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na, K e S) para manutenção e o coeficiente de retenção de bovinos de corte

Item	<i>n</i>	Média	DP	Máximo	Mínimo
Peso corporal (kg)	325	302	82,3	557	125
Cálcio (g/dia)					
Consumo	325	27,1	18,9	138	2,93
Fezes	324	11,4	6,27	62,0	1,37
Urina	322	1,14	1,13	7,63	0,04
Fósforo (g/dia)					
Consumo	325	22,5	20,6	88,0	3,34
Fezes	325	9,08	5,94	40,5	1,46
Urina	322	0,99	1,16	8,28	0,01
Magnésio (g/dia)					
Consumo	325	16,6	9,42	51,2	2,49
Fezes	307	8,22	5,58	41,5	0,89
Urina	304	3,98	3,43	24,4	0,03
Sódio (g/dia)					
Consumo	325	19,4	13,4	49,7	0,61
Fezes	306	7,27	4,81	22,5	0,19
Urina	297	7,49	5,49	26,3	0,02
Potássio (g/dia)					
Consumo	325	47,2	26,3	140	5,14
Fezes	307	16,3	9,63	56,4	1,82
Urina	297	16,1	13,2	66,8	0,02
Enxofre (g/dia)					
Consumo	149	5,75	2,08	9,29	1,20
Fezes	149	2,43	1,10	4,94	0,44
Urina	143	1,65	1,24	3,96	0,04

Contudo, apenas dois estudos (Costa e Silva et al., 2015a; Zanetti, dados não publicados) avaliaram as exigências líquidas para manutenção e o coeficiente de retenção

para S e microminerais, sendo assim, apenas as recomendações sugeridas por esses autores serão utilizadas nessa edição do BR-CORTE (Tabela 9.2).

Tabela 9.2 - Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de microminerais (Cu, Fe, Mn, Se, Zn, Co, Cr e Mo) para manutenção e o coeficiente de retenção de bovinos de corte

Item	<i>n</i>	Média	DP	Máximo	Mínimo
Peso corporal (kg)	149	307	92,6	557	125
Cobre (mg/dia)					
Consumo	149	87,8	58,8	213	1,87
Fezes	149	50,6	21,9	104	8,02
Urina	95	8,58	6,42	37,3	1,08
Ferro (mg/dia)					
Consumo	149	2.103	1.173	4.780	333
Fezes	149	1608	872	3982	316
Urina	92	98,8	73,4	410	5,40
Manganês (mg/dia)					
Consumo	149	212	133	493	1,87
Fezes	136	193	106	425	4,71
Urina	88	2,01	1,66	6,80	0,06
Selênio (mg/dia)					
Consumo	50	2,05	0,88	3,93	0,69
Fezes	50	1,43	0,64	2,69	0,31
Urina	50	0,70	0,57	1,22	0,01
Zinco (mg/dia)					
Consumo	149	293	169	611	28,0
Fezes	149	195	110	469	15,9
Urina	92	13,1	7,00	37,9	0,86
Cobalto (mg/dia)					
Consumo	149	7,12	4,64	21,3	0,92
Fezes	148	3,68	3,12	12,6	0,04
Urina	80	1,33	1,85	7,67	0,02
Cromo (mg/dia)					
Consumo	102	16,1	8,00	38,2	0,35
Fezes	102	11,3	5,60	28,1	3,30
Urina	46	3,84	1,94	9,26	0,61
Molibdênio (mg/dia)					
Consumo	47	3,92	1,10	6,19	0,89
Fezes	47	2,69	0,80	5,04	0,72
Urina	45	0,41	0,22	1,15	0,11

Exigências líquidas para ganho

O modelo comumente utilizado para estimar as exigências líquidas dos macrominerais para ganho é o alométrico (ARC, 1980), em que o conteúdo corporal do elemento é estimado a partir do peso de corpo vazio (PCVZ):

$$M_i = \beta_0 \times PCVZ^{\beta_1},$$

em que M_i é o conteúdo corporal do mineral i (Ca e P (kg); Mg, Na e K (g)) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg). Derivando-se a equação anterior e considerando o ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ), as exigências líquidas de minerais podem ser estimadas como apresentado a seguir:

$$ELG_i = GPCVZ \times (\beta_0 \times \beta_1 \times PCVZ^{\beta_1-1}),$$

em que ELG_i são as exigências líquidas do mineral i , GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ = peso de corpo vazio (kg/dia). Os bovinos atingem um peso corporal no qual não ocorre mais deposição de minerais no corpo, ou seja, as exigências dietéticas ficam referidas apenas para atender às exigências de manutenção do animal. Com isso, em conjunto com o ajuste do modelo alométrico, foi considerado o PCVZ onde não existe mais acréscimo significativo do mineral, determinado pelo método alométrico *plateau* como sugerido por Chizzotti et al. (2009) para cálcio e fósforo. Com isso, as exigências líquidas de cada mineral para ganho são consideradas iguais a zero a partir do PCVZ em que o *plateau* é atingido.

Dessa forma, um banco de dados foi construído a partir de 21 experimentos conduzidos em condições tropicais: Paulino (1996), Silva (2001), Veloso (2001), Paulino (2002), Backes (2003), Leonel (2003), Martins (2003), Chizzotti (2007), Vêras (2005), Moraes (2006), Marcondes (2007), Paixão (2008), Sales (2008), Gionbelli (2010), Souza (2010), Marcondes (2010), Valente (2012), Rodrigues (2014), Amaral (2012), Costa e Silva et al. (2015a) e Zanetti (dados não publicados) sendo utilizados dados referentes aos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) retidos no corpo dos animais (Tabela 9.3).

Esse banco de dados foi composto por 823 animais, sendo 411 machos não castrados, 255 machos castrados e 157 fêmeas. Ainda, os animais utilizados são oriundos dos seguintes grupos genéticos: zebuínos ($n = 473$) e cruzados ($n = 350$). Para a avaliação, a meta-análise foi o procedimento adotado em que classe sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas), grupo genético (zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite) e experimentos foram considerados como efeitos aleatórios.

Primeiramente, para os dados de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K), equações foram geradas separadamente quando diferenças foram observadas para classe sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas) ou grupo genético (zebuínos, cruzados de leite e cruzados de corte). No caso dos cruzamentos, não foi verificada diferença ($P > 0,05$) para nenhum dos minerais, o que possibilitou a união dos dados e a divisão dos grupos genéticos em zebuínos e cruzados.

Além disso, na última edição do BR-CORTE, dois métodos para estimar as exigências líquidas para ganho de Ca e P foram sugeridos: quadrático *plateau* e alométrico *plateau*. Na edição atual, esses métodos foram testados e o alométrico *plateau* foi o que apresentou as melhores estimativas (menores valores de quadrados médios do erro de predição, QMEP) sendo escolhido como o método padrão para estimar as exigências líquidas para ganho de Ca e P. Para Mg, Na e K, o modelo alométrico foi utilizado sem contudo estimar o *plateau* de deposição desses minerais, uma vez que os mesmos estão mais relacionados ao fluido corporal do que com a deposição nos ossos e tecidos corporais.

Por fim, devido à falta de dados na literatura para as exigências líquidas para ganho de S e microminerais (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se e Zn), as recomendações foram feitas a partir dos estudos desenvolvidos por Costa e Silva et al. (2015a) e Zanetti (dados não publicados; Tabela 9.4).

Tabela 9.3 - Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) para ganho de peso de bovinos de corte

Grupo genético/sistema	Classe sexual	N	Item	PCVZ	GPCVZ	Ca (kg)	P (kg)	Mg (g)	Na (g)	K (g)
Zebuínos (confinamento)	Machos não castrados	142	Média	342	1,04	4,64	2,95	140	492	538
			DP	83,7	0,45	1,12	0,74	50,9	134	238
			Máximo	549	1,87	7,15	4,45	311	760	990
			Mínimo	172	-0,01	2,09	1,06	49,8	203	170
	Machos castrados	148	Média	311	0,84	5,66	2,59	103	410	605
			DP	88,6	0,49	1,13	0,76	30,7	141	219
			Máximo	460	2,30	7,97	4,20	168	640	1060
			Mínimo	104	-0,21	2,66	0,60	29,7	106	154
	Fêmeas	84	Média	226	0,55	4,41	1,56	81,6	323	311
			DP	64,1	0,37	1,00	0,57	28,5	153	71,0
			Máximo	368	1,25	7,15	2,76	150	708	495
			Mínimo	108	-0,13	2,78	0,64	34,0	110	177
Cruzados (confinamento)	Machos não castrados	149	Média	394	1,39	4,20	3,00	220	511	668
			DP	94,6	0,65	1,40	1,02	106	135	261
			Máximo	600	2,74	6,95	4,43	390	764	990
			Mínimo	167	0,17	1,53	0,78	45,7	284	156
	Machos castrados	107	Média	332	0,94	5,21	2,80	105	432	629
			DP	92,2	0,54	1,12	0,60	32,8	168	272
			Máximo	506	1,64	7,83	4,34	169	705	1046
			Mínimo	161	-0,09	3,13	1,60	48,0	125	131
	Fêmeas	73	Média	292	0,79	4,52	2,10	106	503	323
			DP	73,2	0,50	0,96	0,39	23,1	150	74,6
			Máximo	443	1,73	6,91	2,77	164	776	466
			Mínimo	175	-0,18	2,82	1,29	62,3	237	195
Zebuínos (pasto)	Machos não castrados	141	Média	308	0,33	5,34	2,20	139	591	751
			DP	106	0,27	1,28	0,84	58,0	236	455
			Máximo	604	0,90	8,30	3,72	265	1109	1662
			Mínimo	80,2	-0,41	2,70	0,39	70,0	180	170

Tabela 9.4 - Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de S e microminerais (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se e Zn) para ganho de peso de bovinos de corte

Item	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
PCVZ (kg)	133	288	110	549	104
GPCVZ (kg/dia)	133	0,74	0,55	1,87	-0,02
Co (mg)	87	1480	1683	5193	12
Cr (mg)	87	1113	938	3736	154
Cu (mg)	87	1519	1161	4678	153
Fe (g)	87	31,2	22,2	78,5	7,02
Mn (mg)	87	913	874	2801	112
Mo (mg)	46	9,05	3,96	19,3	2,81
Se (mg)	50	136	92	328	21
S (g)	87	610	506	2197	86
Zn (g)	87	20,4	20,2	65,0	2,17

MACROMINERAIS

Na última edição do BR-CORTE, uma compilação de dados referente aos coeficientes de absorção dos macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) foi realizada a partir de trabalhos encontrados na literatura (Tabela

9.5). Contudo, devido à variabilidade dos dados encontrados, principalmente no Brasil, as recomendações foram mantidas, ou seja, seguiram as sugestões propostas pelo NRC (2000) para Ca e P e pelo ARC (1980) para Mg, Na e K.

Tabela 9.5 - Coeficientes de absorção e de retenção dos macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) encontrados na literatura

Fonte	Coeficiente de absorção (%) ¹				
	Ca	P	Mg	Na	K
ARC (1980)	68	60	17	91	100
AFRC (1991)	-	58 a 70	-	-	-
NRC (2000)	50	68	-	-	-
NRC (2001) – forragens	30	80	-	81	-
NRC (2001) – concentrado	60	-	-	100	-
Marshal e Long (1971)	80	-	-	-	-
Blaney et al. (1982)	50	-	-	-	-
Field (1983b)	-	58	-	-	-
Ezequiel (1987) ²	62	72	52	66	100
Coelho da Silva et al. (1991) ²	-	-	16	76	-
Rosado (1991) ²	-	-	44	57	44
Valadares Filho et al. (1991) ²	-	-	57	-	-
Boin (1993) – Bezerros ²	-	78	-	-	-
Boin (1993) – Novilhos ²	-	58	-	-	-
Coelho da Silva et al. (1995) ²	72	63	38	54	-
Araújo et al. (2001) ²	59	56	45	94	78
Gionbelli (2010) ^{2,3}	55	56	16	19	4
Costa e Silva et al. (2015a) ^{2,3}	72	82	98	58	70
BR-CORTE (2016) ^{2,3}	57	68	36	37	43

¹Valores adotados na última edição do BR-CORTE (2010) estão em negrito; ²Experimentos conduzidos no Brasil; ³Coeficientes de retenção.

No entanto, a partir do banco de dados gerados na edição atual, verifica-se que a excreção de alguns minerais na urina é relativamente baixa em função do mineral consumido, como por exemplo Ca (4,29%), P (4,33%), Cu (3,82%), Fe (3,59%), Mn (1,72%), Se (6,47%) e Zn (4,03%; Tabela 9.2). Porém, a excreção na urina de outros minerais foi considerada alta, como Na (39,3%), S (34,8%), Mg (24,9%), K (30,3%), Co (14,6%) e Cr (14,6%), o que impossibilita o uso do coeficiente de absorção como fator de conversão das exigências líquidas em dietéticas para todos os minerais. Assim, como forma de padronização, todos os coeficientes relatados nessa edição são os

coeficientes de retenção verdadeira, visto que representam diretamente a relação entre o mineral retido e o mineral consumido.

Cálcio

O cálcio (Ca) é o mineral encontrado em maior abundância no corpo do animal; cerca de 99% do Ca está presente nos ossos e dentes e 1% nos tecidos moles e fluidos corporais. O Ca está envolvido na coagulação sanguínea, contração muscular, transmissão de impulsos nervosos, regulação dos movimentos cardíacos, secreção de hormônios e ativação e estabilização de enzimas (Lalman, 2005). Os ruminantes têm

pequena capacidade de excretar Ca absorvido em excesso às suas necessidades. A excreção urinária de Ca é pequena, enquanto que as perdas endógenas fecais são constantes, o que indica que a absorção é regulada a nível intestinal (Field, 1983a). Neste contexto, Costa e Silva et al. (2015a) verificaram que, em média, 3,85% do Ca consumido foi excretado via urina e 47,9% foi excretado via fezes.

A partir de experimentos realizados por Hansard et al. (1954; 1957), em que a disponibilidade verdadeira, as exigências para manutenção e a utilização de Ca por bovinos foram estimadas por radioisótopos de Ca, o NRC (1984) recomendou as exigências líquidas de Ca para manutenção de 15,4 mg/peso corporal (PC) e devido à falta de trabalhos para alterar esta estimativa, manteve a recomendação nas edições posteriores (NRC, 2000; NRC, 2001). Além disso, o ARC (1965) considerou 16 mg/kg PC como as exigências líquidas de Ca para manutenção sendo 0,8 mg/kg PC relacionado às perdas urinárias. Enquanto que o AFRC (1991) sugere uma equação onde as perdas metabólicas fecais (PMF) estão em função do consumo de matéria seca (CMS, kg/dia) e peso corporal dos animais, sendo que essa

mesma equação foi adotada pelo CSIRO (2007):

$$\text{PMFCa (g/dia)} = 0,66 \times \text{CMS} + 0,74 \times \text{PC} - 0,74.$$

No Brasil, poucos trabalhos foram desenvolvidos visando estimar as exigências líquidas de Ca para manutenção. Ezequiel (1987) sugeriu que as exigências líquidas de Ca para manutenção foram 33,2; 43,5; e 26,1 mg/kg PC, utilizando animais Nelore, Holandês e $\frac{1}{2}$ HZ \times $\frac{1}{2}$ Zebu, respectivamente, estando esses valores acima das recomendações dos principais conselhos mundiais (ARC, 1980; NRC, 2000). Na última edição do BR-CORTE, dados de apenas um experimento (Gionbelli, 2010) foram utilizados e estimou-se que a exigência líquida para manutenção era de 26,5 mg/kg PC. Costa e Silva et al. (2015a), utilizando bovinos Nelore de três classes sexuais (machos não castrados, machos castrados e fêmeas), estimaram as exigências líquidas de Ca para manutenção de 20,0 mg/kg PC.

Contudo, a partir da meta-análise no banco de dados composto por 7 experimentos, verificou-se que as exigências líquidas de Ca para manutenção e o coeficiente de retenção foram estimados como 11,7 mg/kg PC e 56,8%, respectivamente (Figura 9.1).

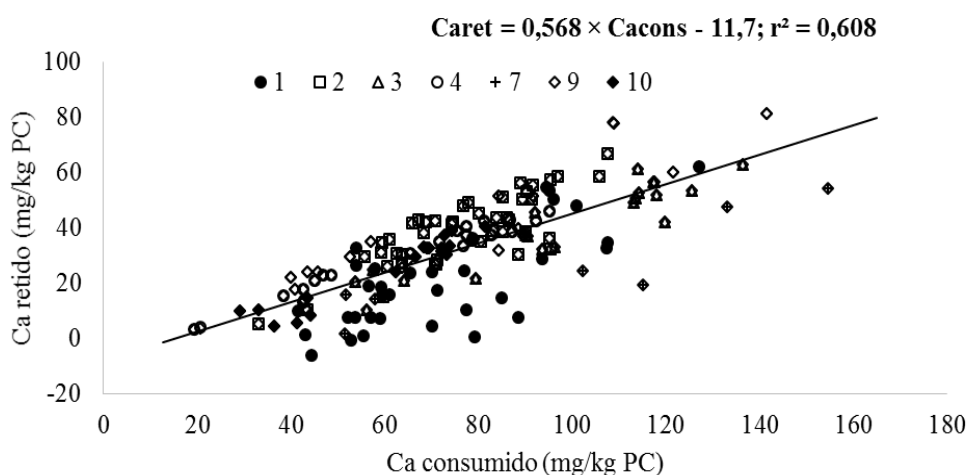


Figura 9.1 - Relação entre o Ca retido (Caret) e o Ca consumido (Cacons) em bovinos de corte. Costa e Silva et al. (2015a - 1 e 2), Zanetti (2014 - 3), Prados (2016 - 4), Gionbelli (2010 - 7), Prados (2012 - 9), Zanetti (dados não publicados - 10).

A partir dessa estimativa, observa-se que para um animal de 300 kg de PC, as exigências líquidas de Ca para manutenção seriam de 3,51 e 4,62 g/dia, considerando as

estimativas do atual BR-CORTE e a recomendação do NRC (2000), respectivamente. Assim, percebe-se que o fornecimento de Ca para atender as perdas

endógenas foi menor no BR-CORTE (2016). Dessa forma, verifica-se redução no fornecimento desse mineral para os animais, o que resulta em menores excreções via fezes para o meio ambiente.

Os conselhos nutricionais (ARC, 1980; AFRC, 1991; NRC, 2000; NRC, 2001) consideram que as perdas de minerais via urina são negligenciáveis sugerindo o uso do coeficiente de absorção. O AFRC (1991) e o NRC (2001) relataram que o coeficiente de absorção seja 68 e 70%, respectivamente, enquanto o NRC (2000) reportou o valor de 50%. Considerando a média entre estes três conselhos, obtêm-se a estimativa de 62,7%, sendo este valor próximo ao encontrado nesta edição para o coeficiente de retenção. Assim, recomenda-se o uso do valor 56,8% como o coeficiente de retenção verdadeiro para bovinos de corte.

Sathler (2015) avaliou a absorção de Ca em diferentes locais ao longo do trato gastrointestinal e observou que a absorção de Ca no rúmen é dependente do fornecimento de uma fonte de Ca na dieta. Quando uma fonte inorgânica de Ca é fornecida na dieta, a

absorção é em torno de 25%, enquanto que quando não há fornecimento, a absorção de Ca é de 5,86% no rúmen. Em contrapartida, esse autor encontrou resultados contrários quando a absorção de Ca foi avaliada nos intestinos delgado e grosso. A absorção de Ca no intestino delgado foi de 3,02 e 10,5% para dietas contendo ou não uma fonte inorgânica de cálcio, respectivamente. Para o intestino grosso, os valores encontrados foram de 15,2 e 27,7%, respectivamente. Com isso, observa-se que quando existe o fornecimento de Ca inorgânico na dieta, a maior absorção de Ca é no rúmen enquanto que na falta de uma fonte inorgânica, a absorção ocorre majoritariamente nos intestinos delgado e grosso.

Quanto às exigências líquidas de Ca para ganho (ELGCa), diferenças ($P < 0,0001$) foram observadas para grupo genético, o que resultou na geração de equações diferentes (Tabela 9.6). Além disso, um *plateau* foi calculado para todas as equações, onde o mineral contido no corpo passou a ser constante e as ELGCa foram consideradas iguais a zero (Tabela 9.6).

Tabela 9.6 - Exigências líquidas de Ca para ganho e *plateau* de deposição de Ca em função do grupo genético (zebuínos e cruzados)

GG ¹	<i>Plateau</i>	Conteúdo corporal (kg)	ELGCa ² (g/dia)
Zebuínos	PCVZ < 462 kg	$0,294 \times \text{PCVZ}^{0,50}$	$\text{GPCVZ} \times (147 \times \text{PCVZ}^{-0,50})$
	PCVZ \geq 462 kg	6,32	0
Cruzados	PCVZ < 453 kg	$0,096 \times \text{PCVZ}^{0,68}$	$\text{GPCVZ} \times (66,0 \times \text{PCVZ}^{-0,32})$
	PCVZ \geq 453 kg	6,17	0

¹GG = grupo genético; ²ELGCa = exigências líquidas de Ca para ganho.

Fontes (1995) avaliou dados publicados na literatura brasileira e não encontrou efeito de grupo genético, quando os animais foram divididos em zebuínos, cruzados com raças leiteiras e cruzados com raças de corte. Contudo, esse autor verificou diferenças entre machos não castrados e machos castrados quanto às exigências líquidas, sendo que os machos castrados apresentaram menores valores para as exigências líquidas de Ca para ganho. Já Marcondes et al. (2009) não evidenciaram efeito de classe sexual sobre as ELGCa. Os diversos sistemas de exigências nutricionais (AFRC, 1991; NRC, 2000; CSIRO, 2007)

também não levam em consideração os efeitos de classe sexual ou grupo genético sobre as exigências dietéticas de Ca. Assim, nessa edição do BR-CORTE, diferenças entre grupos genéticos podem ser observadas para as ELGCa, sendo que zebuínos apresentam menores ELGCa quando comparados aos cruzados.

O NRC (2000) estimou as exigências de Ca para ganho em função do ganho diário de proteína como 7,1 g de Ca por 100 g de acréscimo de proteína no corpo do animal. Entretanto, Chizzotti et al. (2009) relataram que a deposição de Ca não segue o mesmo comportamento de deposição de proteína.

Além disso, estes autores estimaram um *plateau* para deposição de Ca e P aos 416 kg de PCVZ para animais Nelore × Angus, enquanto que 450 kg de PCVZ foi estimado como o *plateau* para deposição de proteína, o que representaria superestimativa das exigências desses minerais para PCVZ entre 416 e 450 kg, caso fossem calculados em função da deposição de proteína. Na última edição do BR-CORTE, um *plateau* comum para Ca e P foi sugerido de 412 kg de PCVZ equivalente (469 kg PC para Nelore e 496 kg PC para cruzados). Nessa edição do BR-CORTE, observa-se que a inclusão de dados com animais mais pesados resultou em melhor ajuste e, assim, diferenças ($P < 0,001$) entre grupos genéticos puderam ser verificadas, resultando em estimativas das exigências líquidas para ganho separadamente (Tabela 9.6). Ainda, foi possível estimar um *plateau* para deposição de Ca para cada grupo genético. Assim, sugere-se que o PCVZ a partir do qual não existe mais deposição de Ca seja de 462 e 453 kg de PCVZ para zebuínos e cruzados, respectivamente.

Nos últimos anos, as exigências de minerais têm recebido grande atenção, devido principalmente à relação entre excreção dos minerais e a poluição ambiental. Neste sentido, Costa e Silva et al. (2015b) avaliaram o fornecimento de 43% de Ca das exigências propostas pela última edição do BR-CORTE para machos castrados e fêmeas Nelore e verificaram que esta redução de Ca não influenciou o desempenho animal, o consumo e a digestibilidade dos nutrientes. Prados et al. (2015) avaliaram o fornecimento de 38% das exigências de Ca preconizadas pela última edição do BR-CORTE na dieta de machos Holandês × Zebu não castrados e observaram que esta redução não afetou o desempenho e a concentração deste mineral nos ossos. Assim, esses autores concluíram que a redução deste mineral poderia representar decréscimo de custos nas operações em confinamento, bem como a diminuição da excreção deste mineral ao meio ambiente. Com isso, percebe-se que mais estudos devem ser realizados objetivando avaliar a redução no

fornecimento de minerais na dieta de bovinos com o intuito de reduzir a excreção desse mineral.

Fósforo

O fósforo (P) é o segundo mineral mais abundante no organismo animal, sendo 80% encontrado nos ossos e dentes. O P é exigido para a formação e mineralização da matriz óssea. Os 20% restantes são distribuídos nos fluídos e tecidos onde possuem uma série de funções essenciais (Suttle, 2010). O P é um componente importante para o crescimento e a diferenciação dos ácidos ribonucléicos. Além disso, apresenta também um papel fundamental na regulação osmótica e equilíbrio ácido-base bem como na utilização de energia e transferência de elétrons, formação de fosfolipídeos, transporte de ácidos graxos e formação de aminoácidos e proteínas (Suttle, 2010). O P é exigido pelos microrganismos do rúmen para o crescimento e metabolismo celular (NRC, 2000).

O P dietético que excede as exigências do animal não é absorvido ou, se for, é excretado na urina. A excreção de P via urina é baixa em condições normais, enquanto que grandes quantidades de P são recicladas pela saliva (ARC, 1965). Com isso, as exigências líquidas de P para manutenção têm sido calculadas pela soma das excreções metabólicas fecais e urinárias desse elemento. O ARC (1980) sugeriu que este valor deveria ser 12 mg/kg PC enquanto que o AFRC (1991) reformulou o cálculo das exigências de P para manutenção a partir de uma equação desenvolvida baseada em estudos com ovinos, em que as perdas metabólicas de P foram calculadas em função do CMS. Além disso, o NRC (2000) considera que as exigências líquidas de P para manutenção sejam de 16 mg/kg PC. A partir do banco de dados do BR-CORTE, as exigências líquidas de P para manutenção e o coeficiente de retenção verdadeiro foram estimadas em 13,5 mg/kg PC e 67,8%, respectivamente (Figura 9.2).

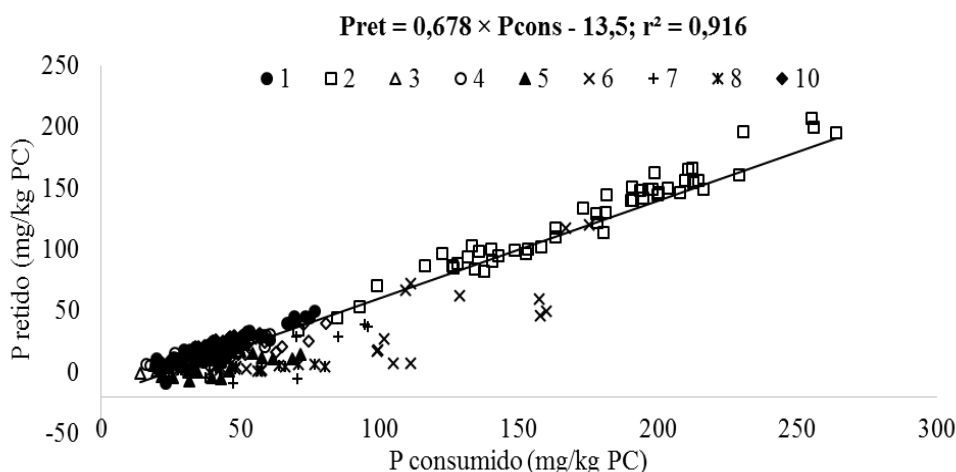


Figura 9.2 - Relação entre o P retido (Pret) e P consumido (Pcons) em bovinos de corte. Costa e Silva et al. (2015a - 1 e 2), Zanetti (2014 - 3), Prados (2016 - 4), Souza (2010 - 5), Marcondes (2010 - 6), Gionbelli (2010 - 7), Sathler (2015 - 8), Zanetti (dados não publicados - 10).

Sathler (2015) avaliou a absorção de P em dietas contendo ou não fornecimento de uma fonte inorgânica de P (fosfato bicálcico) e observou que independente do fornecimento de P, a absorção de P no rúmen é negativa em função da reciclagem de P via saliva que chega ao rúmen e não é considerada como entrada no sistema. Assim, existe a necessidade de avaliar a quantidade de P que é reciclada via saliva dependendo do nível de P na dieta. Além disso, esse autor verificou que 67,3 e 25,5% do P consumido é absorvido pelos intestinos delgado e grosso, respectivamente, sendo esses os principais locais de absorção de P. De acordo com o NRC (2000), as fontes suplementares de P podem ser ranqueadas quanto à disponibilidade (do maior para o menor): fosfato bicálcico, fosfato desfluorado e farinha de ossos (Peeler, 1972). Os conselhos internacionais (AFRC,

1991; NRC, 2000; NRC, 2001; CSIRO, 2007) relatam coeficientes de absorção de P variando de 58 a 75%. Considerando que os estudos que forneceram os dados para as estimativas dessa edição do BR-CORTE utilizaram o fosfato bicálcico como fonte suplementar de P, o valor de 67,8% é recomendado como coeficiente de retenção verdadeira de P. Ainda, ressalta-se que diferentemente dos conselhos internacionais, essa edição do BR-CORTE considera o coeficiente de retenção, ao invés do coeficiente de absorção, uma vez que a excreção aparente de P na urina foi, em média, de 4,33% da quantidade consumida, não devendo assim, ser negligenciada.

As exigências líquidas de P para ganho (ELGP) são apresentadas na Tabela 9.7, e o PCVZ em que não há mais acréscimo significativo de P também foi estimado.

Tabela 9.7 - Exigências líquidas de P para ganho e *plateau* de deposição de P em função do grupo genético (zebuínos e cruzados)

GG	<i>Plateau</i>	Conteúdo corporal (kg)	ELGP ² (g/dia)
Zebuínos	PCVZ < 445 kg	$0,05995 \times PCVZ^{0,6446}$	$GPCVZ \times (38,6 \times PCVZ^{-0,36})$
	PCVZ \geq 445 kg	3,05	0
Cruzados	PCVZ < 479 kg	$0,0339 \times PCVZ^{0,7496}$	$GPCVZ \times (25,4 \times PCVZ^{-0,25})$
	PCVZ \geq 479 kg	3,46	0

¹GG = grupo genético; ²ELGP = exigências líquidas de P para ganho.

Da mesma forma que observada para o Ca, os sistemas de exigências nutricionais não consideram efeitos de classe sexual ou grupo genético sobre as exigências dietéticas

de P. Na última edição do BR-CORTE, esse efeito já havia sido observado; no entanto, com a inclusão de novos experimentos que foram desenvolvidos com animais que

apresentavam PC maiores que 500 kg, foi possível detectar diferenças quanto ao grupo genético (zebuínos e cruzados) para estimar as ELGP (Tabela 9.7). Da mesma maneira que para Ca, o NRC (2000) estimou as exigências de P para ganho em função do ganho diário de proteína, sendo 3,9 g de P por 100 g de ganho protéico. Nessa edição, observa-se que os animais zebuínos apresentam ELGP maiores que para bovinos cruzados. Quanto ao PC para a estabilização da deposição de P, animais zebuínos e cruzados apresentaram PCVZ iguais a 445 e 479 kg, respectivamente.

Recentes publicações têm abordado a necessidade de redução do impacto ambiental causado pelo excesso de P excretado por bovinos (Vasconcelos et al., 2007; Costa e Silva et al., 2015b; Prados et al., 2015). Costa e Silva et al. (2015b) verificaram que a redução de 20% de P na dieta de bezerros Nelore não impactou no consumo e na digestibilidade dos nutrientes bem como no desempenho dos animais; enquanto que Prados et al. (2015) avaliaram que a redução de 14% das exigências de P a partir daquela preconizada pela última edição do BR-CORTE na dieta de bovinos cruzados não afetou o desempenho e a concentração de P nos ossos. Neste contexto, Erickson et al. (1999; 2002) não observaram diferenças no desempenho de novilhos alimentados com 71 ou 162% das exigências de P preconizadas pelo NRC (2000) ou bezerros alimentados com 76 e 190% das exigências de P preconizadas pelo mesmo sistema. Call et al. (1978) alimentaram novilhas de corte por um período de dois anos com 66 e 174% das exigências de P recomendadas pelo NRC (2000) e não observaram diferenças para o ganho de peso. Isso demonstra que as exigências dietéticas de P podem ser reduzidas sem interferir no desempenho dos animais, o que indica que o excesso de P fornecido na dieta está sendo excretado nas fezes. Além disso, percebe-se que a nutrição mineral de bovinos está longe de ser totalmente esclarecida e recomenda-se a continuidade de pesquisas nessa área para um melhor entendimento do metabolismo mineral de bovinos.

O ARC (1980) relata que a razão entre Ca e P na dieta de ruminantes é importante, pois ambos minerais participam

conjuntamente da formação óssea, sendo recomendada que essa razão esteja entre 1:1 a 2:1. Assim, uma relação inadequada de Ca:P pode alterar as exigências de manutenção desses minerais, caso um deles esteja deficiente na dieta. Hansard e Plumlee (1954) observaram um aumento da excreção metabólica de P, quando a ingestão de Ca foi baixa e sugeriram que uma parte do excesso de P que seria utilizado para a deposição óssea é excretada, quando existe uma quantidade insuficiente de Ca no sangue para a calcificação óssea. Costa e Silva et al. (2015a) encontraram uma relação Ca:P média de 2,15:1 para bovinos Nelore de três classes sexuais criados em confinamento. Neste contexto, Zanetti (dados não publicados), avaliando relações Ca:P variando de 0,63 a 1,82, verificaram que a redução do fornecimento de Ca e P na dieta não interferiu no comportamento alimentar, consumo de nutrientes e desempenho de machos Nelore não castrados nas fases de crescimento e terminação. Além disso, esse autor observou que o menor fornecimento desses minerais reduziu a excreção fecal de Ca e P, resultando em menor impacto ambiental.

Nessa edição do BR-CORTE, a relação média entre Ca e P foi de 1,46:1, sendo esta relação próxima ao limite inferior preconizado pelo NRC (2000). Entretanto, o NRC (2000) enfatizou que o efeito da razão Ca:P no desempenho de ruminantes foi avaliado (Dowe et al., 1957; Wise et al., 1963) e as razões de Ca:P variando entre 1:1 e 7:1 resultaram em desempenho animal similar.

Magnésio

Aproximadamente 70% do magnésio corporal é localizado nos ossos, os outros 30% atuam nos músculos e em outros tecidos moles. Apenas 1% do Mg é encontrado nos fluidos extracelulares. Nesses tecidos, o Mg atua no metabolismo energético, principalmente através do complexo Mg-ATP, manutenção dos potenciais elétricos e ativação enzimática. Logo, a manutenção das concentrações ideais de Mg para funcionamento dessas funções é essencial. De acordo com ARC (1980), as perdas endógenas de Mg via urina são ignoradas. Contudo, a

partir dos dados utilizados nessa edição do BR-CORTE, observa-se que, em média, 49,5% do Mg consumido (Tabela 9.1) é excretado nas fezes, enquanto que 24,0% do Mg consumido é excretado via urina. Portanto, a excreção urinária de Mg é expressiva e deve ser considerada no intuito de estimar o coeficiente de retenção de Mg. Com isso, o coeficiente de retenção de Mg foi 35,5% (Figura 9.3). O ARC (1980) considerou um valor médio de 29,4% como o

coeficiente de absorção; no entanto, o NRC (2000) e o NRC (2001) recomendaram o coeficiente de absorção de Mg de 17%. Assim, o valor de 35,5% está acima dos valores encontrados na literatura. Em relação às exigências líquidas de Mg para manutenção, o ARC (1980) e o NRC (2001) sugeriram o valor de 3,0 mg/kg PC. Nessa edição do BR-CORTE, o valor estimado para exigências líquidas de Mg para manutenção foi de 5,9 mg/kg PC (Figura 9.3).

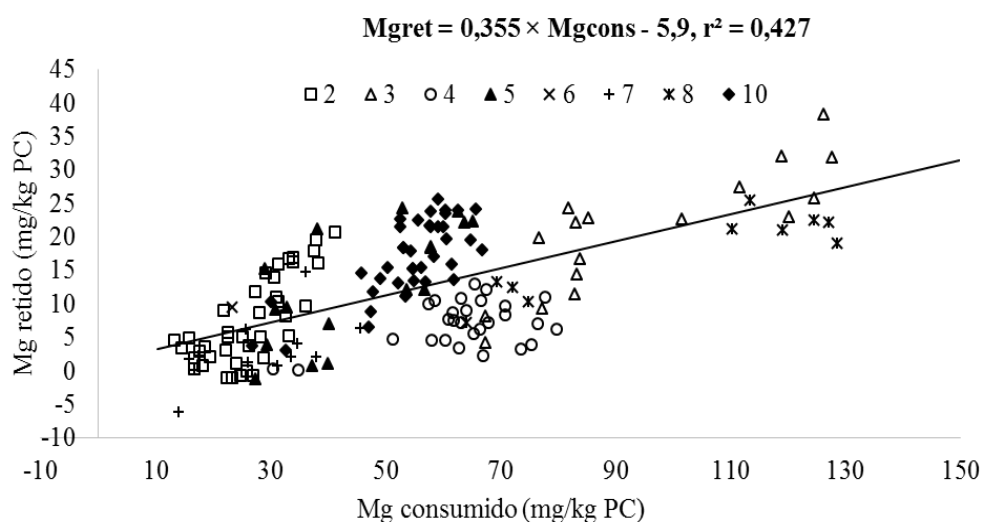


Figura 9.3 - Relação entre Mg retido (Mg_{ret}) e Mg consumido (Mg_{cons}) em bovinos de corte. Costa e Silva et al. (2015a - 2), Zanetti (2014 - 3), Prados (2016 - 4), Souza (2010 - 5), Marcondes (2010 - 6), Gionbelli (2010 - 7), Sathler (2015 - 8), Zanetti (dados não publicados - 10).

Na última edição do BR-CORTE, as exigências líquidas de Mg para ganho (ELGMg) foram estimadas a partir do GPCVZ, sendo observado efeito do grupo genético. No entanto, como forma de

padronização das exigências dos minerais, a nova edição do BR-CORTE adotou o método alométrico. Assim, as ELGMg foram estimadas e o efeito de grupo genético continuou a ser observado (Tabela 9.8).

Tabela 9.8 - Exigências líquidas de Mg para ganho em função do grupo genético (zebuínos e cruzados)

GG	Conteúdo corporal (g)	ELGMg ²
Zebuínos	$0,3427 \times PCVZ^{1,0113}$	$GPCVZ \times (0,3466 \times PCVZ^{0,0113})$
Cruzados	$1,3918 \times PCVZ^{0,7614}$	$GPCVZ \times (1,0597 \times PCVZ^{-0,2386})$

¹GG = grupo genético; ²ELG = exigências líquidas de Mg para ganho.

Sódio

Dentre os íons atuantes no equilíbrio osmótico, o sódio é o que apresenta maior concentração. Além disso, o Na contribui para contração muscular, transmissão de impulsos

nervosos e transporte de outros nutrientes, a exemplo de glicose. Do sódio proveniente na dieta, o ARC (1980) sugere que seja completamente livre e, portanto, é completamente absorvido. Logo, o conceito de perdas endógenas fecais não se aplicaria a

esse mineral. Porém, a quantidade de Na nas fezes e urina é, em média, de 37,5 e 38,6% do Na consumido, respectivamente (Tabela 9.1). Baseado nesses dados, as exigências líquidas de Na para manutenção e o coeficiente de retenção verdadeiro foram estimados como 6,3 mg/kg PC e 37,1%, respectivamente (Figura 9.4). Com isso, as exigências líquidas de Na para manutenção foram menores que os valores sugeridos pelo ARC (1980) e NRC

(2001) de 6,8 e 15 mg/kg PC, respectivamente. Conforme Aitken (1976), as perdas de Na pela saliva são desprezíveis, exceto para bovinos não aclimatados criados em condições tropicais, onde a perda de Na via saliva é de 1,4 g/dia para cada 100 kg de PC. Contudo, não existem dados de animais criados em condições tropicais que avaliaram as perdas endógenas pela pele e saliva.

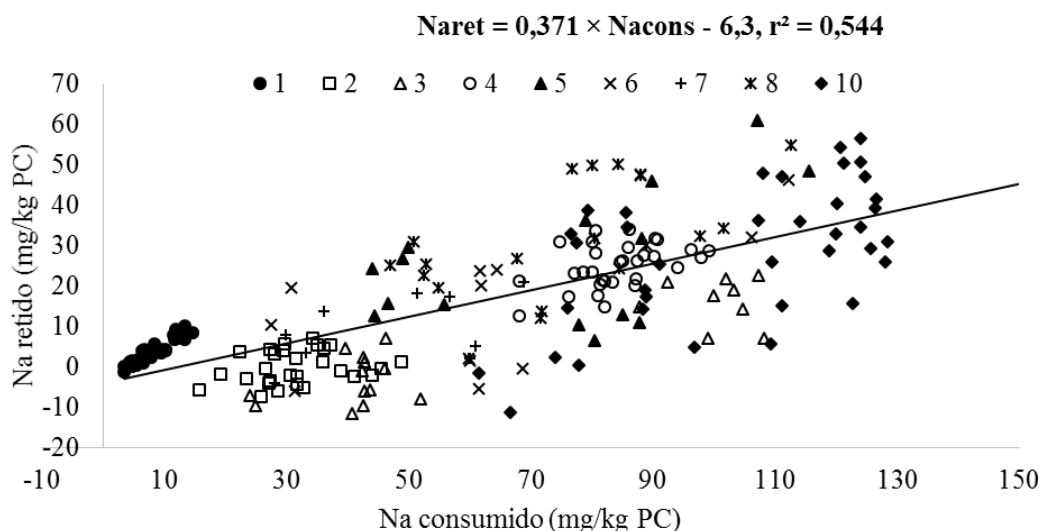


Figura 9.4 - Relação entre Na retido (Naret) e Na consumido (Nacons) em bovinos de corte. Costa e Silva et al. (2015a - 1 e 2), Zanetti (2014 - 3), Prados (2016 - 4), Souza (2010 - 5), Marcondes (2010 - 6), Gionbelli (2010 - 7), Sathler (2015 - 8), Zanetti (dados não publicados - 10).

Quanto ao coeficiente de retenção, o NRC (2000) e NRC (2001) recomendam 91 e 90% como o coeficiente de absorção de Na, respectivamente. Contudo, a partir dos dados do BR-CORTE, estima-se que o coeficiente de retenção de Na seja 37,1% (Figura 9.4). Essa diferença possivelmente se deve à excreção de Na na urina não ter sido contabilizada pelos conselhos internacionais (NRC, 2000; NRC, 2001), uma vez que há em torno de 38,6% de Na na urina. Ressalta-se que algumas dietas usadas para estimar as exigências usaram o bicarbonato de sódio e o

óxido de magnésio como agentes tamponantes e alcalinizantes, respectivamente, o que pode ter contribuído para aumentar as excreções urinárias desses minerais.

Na última edição do BR-CORTE, efeitos de classe sexual e grupo genético foram identificados sobre as exigências líquidas de Na para ganho (ELGNa). Contudo, o modelo utilizado foi o mesmo que recomendado para Mg. Assim, a partir do modelo alométrico, foi observado efeito do grupo genético sobre as ELGNa (Tabela 9.9).

Tabela 9.9 - Exigências líquidas de Na para ganho em função do grupo genético (zebuínos e cruzados)

GG ¹	Conteúdo corporal (g)	ELGNa ² (g/dia)
Zebuínos	$7,9897 \times PCVZ^{0,7002}$	$GPCVZ \times (5,594 \times PCVZ^{-0,2998})$
Cruzados	$2,0985 \times PCVZ^{0,942}$	$GPCVZ \times (1,977 \times PCVZ^{-0,058})$

¹GG = grupo genético; ²ELGNa = exigências líquidas de Na para ganho.

O sal comum (NaCl) é rotineiramente utilizado como fonte de Na na alimentação de ruminantes. Uma das principais razões para o desejo inato dos ruminantes em consumir sal foi durante muitos anos justificado como reflexo das exigências dietéticas e estado fisiológico (Cheeke, 2005). Contudo, os ruminantes possuem grande apetite por sal, consumindo quantidades bem superiores às necessárias (Morris, 1980). Com isso, o melhor indicativo do status nutricional de Na é sua relação com o K, que deve ser por volta de 20:1. As dietas de herbívoros geralmente apresentam alto teor de K, devido à sua elevada concentração em forragens, o que pode provocar baixas relações Na:K (que podem atingir um limite mínimo de 10:1), fator este que pode contribuir para o maior apetite de herbívoros por Na.

Ruminantes possuem grande habilidade de conservar Na no rúmen, pois o mesmo pode ser absorvido para a corrente sanguínea em caso de deficiência de Na, enquanto que o K, nesse caso, é substituído do Na na saliva (Cheeke, 2005). A deficiência de Na pode levar à diminuição da pressão osmótica, que pode resultar em desidratação corporal. Dentre os sintomas de deficiência de Na, estão a diminuição no crescimento e perda de eficiência de uso da proteína e energia (McDonald et al., 2002), além de apetite depravado (Underwood e Suttle, 1999).

Potássio

O potássio é o terceiro íon mais abundante no corpo, e o mais presente no meio intracelular. Apresenta, assim como o Na, importantes funções na manutenção do equilíbrio osmótico, na contração muscular, transmissão de impulsos nervosos, além de atuar em alguns sistemas enzimáticos. No que diz respeito às perdas endógenas de K, o ARC (1980) separou as estimativas em fecal (2,6 g/kg MS), urinária (37,5 mg/kg PC), salivar (0,7g/100 kg PC) e pela pele (1,1 g/dia), sendo as exigências líquidas de K para manutenção calculadas como a soma dessas perdas. Essas estimativas foram adotadas pelo BR-CORTE em 2010. Contudo, os dados utilizados pelo ARC (1980) foram oriundos de apenas um estudo (St. Omer e Roberts, 1967) em que 9 novilhas foram usadas, em 3 quadrados latinos 3×3 , para avaliar o balanço dos minerais. Objetivando padronizar as exigências líquidas para manutenção, as estimativas a partir do banco de dados do BR-CORTE foram de 23,5 mg/kg PC para as exigências líquidas de K para manutenção (Figura 9.5). Esse valor é menor que o recomendado pelo NRC (2001) de 38 mg/kg PC.

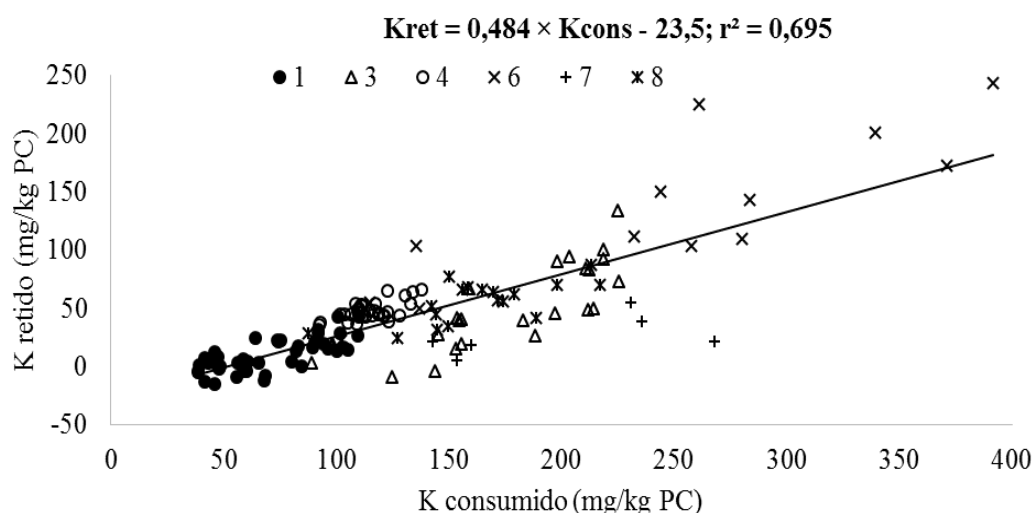


Figura 9.5 - Relação entre K retido (K_{ret}) e K consumido (K_{cons}) em bovinos de corte. Costa e Silva et al. (2015a - 1), Zanetti (2014 - 3), Prados (2016 - 4), Marcondes (2010 - 6), Gionbelli (2010 - 7), Sathler (2015 - 8).

Ward (1966) relatou que o K é absorvido no rúmen, abomaso e intestinos delgado e grosso. Sathler (2015) avaliou a absorção de K nos diferentes locais do trato digestivo e observou que há absorção negativa de K no rúmen e no intestino grosso, ou seja, a secreção de K nesses locais é maior que a sua absorção. No rúmen, a maior quantidade de K que chega é devido às secreções salivares de K, que não foram quantificadas como consumo. Quanto ao intestino grosso, a maior secreção de K deve-se ao balanço eletrostático que ocorre neste local uma vez que a absorção de Na é alta (Sathler, 2015).

O ARC (1980) assumiu o coeficiente de absorção de K como sendo 100%, enquanto que o NRC (2001) considerou o valor de 90%. Esse alto valor de coeficiente de absorção pode ser justificado por Ward (1966), que indicou que a urina é a principal rota de excreção de K, enquanto que as reservas corporais de K são mínimas. No banco de dados desenvolvido para essa edição

do BR-CORTE, observa-se a excreção de K nas fezes não pode ser negligenciada e que as excreções urinárias de K não representam a totalidade da excreção diária de K. Portanto, observou-se que as excreções aparentes fecais e urinárias de K foram, em média, 35,3 e 30,3% do consumido (Tabela 9.1), respectivamente, o que proporcionou um coeficiente de retenção de 48,4%, consideravelmente inferior ao preconizado até o momento pelos diversos sistemas internacionais de exigências nutricionais. Isso mostra que não existe uma rota preferencial para excreção de K. Assim, o coeficiente de retenção verdadeiro obtido foi de 48,4% (Figura 9.5) sendo este valor recomendado nessa edição do BR-CORTE.

Para as exigências líquidas de K para ganho (ELGK), foi observado efeito de grupo genético, o que resultou em equações distintas para animais zebuínos e cruzados (Tabela 9.10). Houve uma redução em torno de 17% das ELGK em relação à última edição do BR-CORTE.

Tabela 9.10 - Exigências líquidas de K para ganho em função do grupo genético (zebuínos e cruzados)

GG ¹	Conteúdo corporal (g)	ELGK ²
Zebuínos	$0,8437 \times PCVZ^{1,1216}$	$GPCVZ \times (0,9463 \times PCVZ^{0,1216})$
Cruzados	$0,2589 \times PCVZ^{1,3200}$	$GPCVZ \times (0,3418 \times PCVZ^{0,3200})$

¹GG = grupo genético; ²ELGK = exigências líquidas de K para ganho.

Enxofre

O S é um mineral que participa da composição de diversas substâncias, tais como aminoácidos (metionina, cistina e cisteína), hormônios (insulina e ocitocina) e moléculas ricas em cisteína (metalotéínas), que são importantes na proteção dos animais contra o excesso de Cu, Cd e Zn (Suttle, 2010).

Apesar dos sistemas americanos (NRC, 2000; NRC, 2001) afirmarem que as exigências dietéticas de S para bovinos de

corte e de leite não estão bem definidas, esses conselhos recomendam que as exigências dietéticas de S devam estar entre 1,5 e 2,0 g/kg CMS. Contudo, nenhuma recomendação quanto às exigências líquidas de S para manutenção e o coeficiente de retenção foi apresentada. Assim, a partir do banco de dados dessa edição, as exigências líquidas de S para manutenção e o coeficiente de retenção para bovinos Nelore foram estimadas como 10,4 mg/kg PC e 77,3%, respectivamente (Figura 9.6).

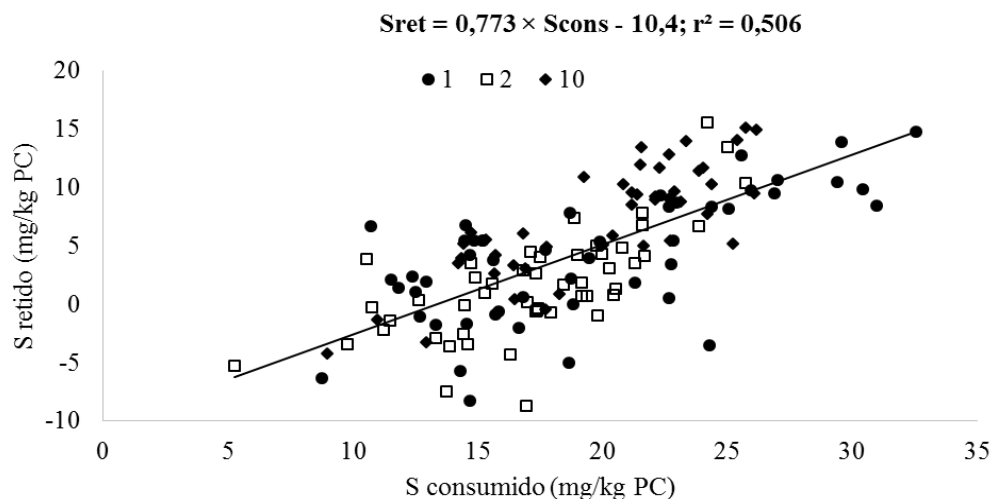


Figura 9.6 - Relação entre S retido (S_{ret}) e S consumido (S_{cons}) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a): 1 - Experimento utilizando machos Nelore não castrados, 2 - Experimento utilizando machos castrados e fêmeas Nelore e Zanetti (dados não publicados): 10 - experimento utilizando machos Nelore não castrados.

Quanto às exigências líquidas de S para ganho (ELGS), dados apenas do estudo de Costa e Silva et al. (2015a) estão disponíveis, sendo a recomendação a partir da seguinte equação:

$$ELGS = GPCVZ \times (0,03 \times PCVZ^{0,89}).$$

Diferentemente do observado para os outros macrominerais, o expoente da equação foi positivo, o que permite inferir que a medida que o animal cresce (aumenta o PCVZ), as exigências líquidas de S para ganho de peso aumentam.

Quando expresso em gramas por quilograma de CMS, as exigências dietéticas de S são estimadas, em média, como 1,36 g/kg CMS, estando esse valor próximo ao recomendado pelo NRC (2000) e abaixo do preconizado pelo NRC (2001) para gado de leite. Neste caso, Costa e Silva et al. (2015a) relataram que essa diferença pode ter ocorrido pois os dados provenientes do NRC (2001) foram oriundos de apenas um estudo (Bouchard e Conrad, 1973), que utilizou vacas Holandesas no terço médio de lactação e que produziam de 30 a 37 kg de leite/dia. Contudo, ressalta-se que mais estudos avaliando as exigências dietéticas de S são necessários a fim de melhorar a acurácia das estimativas para esse mineral.

Cloro

O Cl é o principal ânion presente no fluido extracelular animal. Esse mineral é

necessário para a formação de HCl no suco gástrico e para a ativação da amilase. Assim como o Na, o Cl também está envolvido na manutenção da pressão osmótica, controle do balanço hídrico e regulação do equilíbrio ácido-base (Underwood, 1981). Atualmente, os estudos avaliando a inclusão de cloretos na dieta estão mais relacionados ao controle de microrganismos, como *Escherichia coli* no trato gastrointestinal (Callaway et al., 2002; Anderson et al., 2005), do que propriamente avaliar as exigências dietéticas deste mineral.

Assim, as exigências líquidas de Cl para manutenção e o coeficiente de retenção em bovinos de corte não estão definidas (Underwood e Suttle, 1999), enquanto que deficiências de Cl não parecem prováveis em condições práticas (NRC, 2000). Informações sobre perdas endógenas de Cl não foram encontradas na literatura; entretanto, o ARC (1980) considera que é possível que exista uma perda na urina inevitável, da mesma forma como acontece para o Na. Conforme Aitken (1976), bovinos criados em condições tropicais possuem maior exigência de Cl para manutenção, em função das perdas pela pele e saliva, sendo sugerida uma exigência de Cl de 1,6 g/dia para um bovino de 500 kg de PC criado em condições tropicais, exposto aproximadamente 7 horas por dia a uma temperatura de 40°C e umidade relativa do ar de 90%, condições estas possíveis de serem observadas em animais em pastejo em clima tropical. Para as perdas via saliva, a recomendação é de 0,9 g/dia para cada 100 kg de PC.

Quanto à absorção de Cl em bovinos, Smith et al. (2012) realizaram uma compilação de trabalhos que avaliaram diversos cloratos, em que foi utilizado um isótopo do Cl como marcador (^{36}Cl -clorato), e observaram que a absorção de clorato de sódio (NaClO_3) em bovinos foi, em média, de 12,6%.

O ARC (1980) estimou as exigências dietéticas diárias de bovinos de corte ganhando 1,0 kg/dia de peso corporal como 0,7 gramas por quilograma de MS consumida (g/kg MS). No Brasil, como não existem trabalhos estimando as exigências dietéticas de Cl, sugere-se que o valor apresentado pelo ARC (1980) seja utilizado.

MICROMINERAIS

Devido à falta de estudos na literatura que avaliaram as exigências dietéticas dos microminerais, as recomendações dessa edição do BR-CORTE foram baseadas em apenas dois estudos (Costa e Silva et al., 2015a; Zanetti, dados não publicados) sendo a estatística descritiva apresentada na Tabela 9.4.

Cobre

As funções do cobre no organismo estão relacionadas ao metabolismo de lipídeos e à ativação de uma série de enzimas, a exemplo da citocromo oxidase, ceruloplasmina e superóxido desmutase. O principal órgão de reserva de Cu é o fígado,

onde as concentrações sofrem influência das concentrações dietéticas. Costa e Silva et al. (2015a) observaram consumo médio de Cu igual a 83,5 mg/dia, com a retenção de Cu de 25,4 mg/dia, o que representa que apenas 30,4% do que foi consumido é realmente retido no corpo dos animais. Em contrapartida, 65,7% do que foi consumido é, em média, excretado nas fezes enquanto que 3,8% é excretado na urina (Tabela 9.1). Neste sentido, Sathler (2015), avaliando a inclusão ou não de macrominerais e/ou microminerais na dieta de machos Nelore não castrados observou que a excreção fecal de Cu variou de 38,2 a 61,2% do que foi consumido, dependendo do fornecimento ou não de macrominerais e/ou microminerais. Contudo, a excreção urinária de Cu não foi avaliada.

As exigências líquidas de Cu para manutenção foram 95,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ PC (Figura 9.7), sendo esse valor acima do recomendado pelo ARC (1980) que considerou as exigências líquidas de Cu para manutenção como 7,1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ PC; contudo para chegar a esse valor, o ARC (1980) assumiu uma equação que leva em consideração consumo de Cu, perda hepática de Cu e mudanças no PC. Enquanto isso, o sistema australiano (CSIRO, 2007) adotou o valor de 4,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ PC como as exigências de Cu para manutenção a partir de resultados de apenas um estudo (Suttle, 1974) que avaliou a biodisponibilidade de Cu em ovinos.

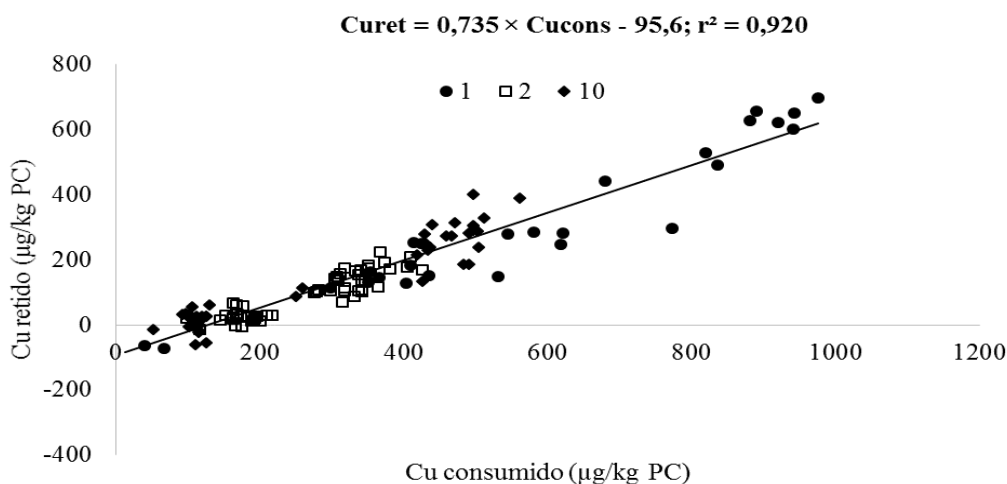


Figura 9.7 - Relação entre Cu retido (Cu_{ret}) e Cu consumido (Cu_{cons}) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a): 1 - Experimento utilizando machos Nelore não castrados, 2 - Experimento utilizando machos castrados e fêmeas Nelore; e Zanetti (dados não publicados): 10 - experimento utilizando machos Nelore não castrados.

A absorção de Cu em ruminantes é considerada baixa (<1,0 a 10,0%) em relação aos valores descritos para monogástricos (Underwood e Suttle, 1999). Bezerros absorvem cerca de 70% do Cu presente na dieta, enquanto um bovino adulto absorve de 1 a 5% (NRC, 2001). Isso se deve, em grande parte, pelas complexas interações que ocorrem no ambiente ruminal (Sathler, 2015). Contudo, Sathler (2015) observou coeficientes de absorção para Cu variando de 38,2 a 61,2%, dependendo do fornecimento ou não de macrominerais e/ou microminerais, sendo que a menor absorção foi observada quando houve fornecimento de macrominerais sem microminerais.

Diversos fatores afetam a absorção de Cu em ruminantes, como a alta concentração de Mo e S na dieta, que são capazes de interagir com o Cu formando tiomolibdatos, sendo este um complexo insolúvel, que torna o Cu indisponível para absorção (Suttle, 1991). Segundo o NRC (2001), os requerimentos de Cu variam de 4 a 15 mg/kg MS dependendo da concentração de Mo e S na dieta. Assim, estudos que avaliem a interferência de Mo e S na absorção de Cu devem ser conduzidos no intuito de averiguar a quantidade extra de Cu que deve ser suprida aos animais, para que não haja deficiência. Além disso, alguns estudos demonstraram que ocorre redução na absorção ruminal de Cu quando Ca é adicionado à dieta (Dick, 1954; Kirchgessner e Weser, 1965). Sathler (2015) verificou que, dependendo da suplementação mineral, a absorção de Cu no rúmen, intestino delgado e intestino grosso varia conforme a inclusão ou não de macrominerais e/ou microminerais.

Costa e Silva et al. (2015a) sugeriram que a melhor forma de estimar as exigências dietéticas seria utilizando o coeficiente de retenção, uma vez que as excreções urinárias dos minerais não podem ser desconsideradas, que no caso do Cu foram de 3,8%. Assim, o coeficiente de retenção considerado foi de 73,5% (Figura 9.7). Esse valor é bem acima do que foi reportado pelo ARC (1980), de 6%, considerado como o coeficiente de absorção hepática. Contudo, de acordo com o ARC (1980), a eficiência de absorção e retenção hepáticas não foram avaliadas em bovinos e, assim, a recomendação desse

conselho foi fornecida baseada em estudos utilizando ovinos.

As exigências líquidas de Cu para ganho de peso foram estimadas como sendo:

$$ELGCu = GPCVZ \times (1,25 \times PCVZ^{0,33})$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio em kg (Costa e Silva et al., 2015a). Da mesma forma que obtido para o S, como o expoente da equação foi positivo, conclui-se que a medida que o animal cresce (aumenta o PCVZ), as exigências líquidas de Cu para ganho de peso aumentam.

Mullis et al. (2003) estimaram as exigências dietéticas de Cu para novilhas das raças Angus e Simental como sendo 7 mg/kg CMS. Segundo o NRC (2000), as exigências dietéticas de cobre podem variar de 4 a 15 mg/kg CMS dependendo da concentração de molibdênio e enxofre na dieta. Assim, o NRC (2000) recomenda a concentração de Cu na dieta de bovinos de corte de 10 mg/kg CMS. Contudo, essas recomendações não consideraram a quantidade de Cu que foi fornecida na dieta, considerando apenas o que foi utilizado na suplementação. Dessa forma, Costa e Silva et al. (2015a) avaliaram a composição da dieta basal e verificaram que as exigências para bovinos da raça Nelore foram, em média, 9,53 mg/kg CMS, sendo esse valor o recomendado para bovinos Nelore para as exigências dietéticas de Cu.

Ferro

O Fe é um importante componente de diversas proteínas que participam da utilização e transporte de oxigênio, tais como hemoglobina, que contém 50% de todo o Fe presente no corpo do animal, mioglobina, citocromos e proteínas ferrossulfurosas envolvidas na cadeia transportadora de elétrons (NRC, 2000). Além disso, o fornecimento insuficiente de Fe poderá reduzir as reservas corporais e a concentração de Fe presente no plasma e na hemoglobina do sangue (Thomas, 1970). No entanto, nenhum estudo havia sido conduzido visando estimar as exigências líquidas de Fe para manutenção e o coeficiente de retenção, bem

como as exigências dietéticas de Fe para bovinos de corte.

O NRC (2000) utilizou resultados de dois experimentos (Bremmer e Dalgarno, 1973; Bernier et al., 1984) que avaliaram a suplementação com Fe de bezerras alimentadas com leite na prevenção de anemia e concluíram que o fornecimento de 40 a 50 mg/kg CMS é adequado para permitir

o crescimento dos animais e prevenir anemia. Contudo, as exigências para animais mais pesados não foram definidas experimentalmente. Neste sentido, as exigências líquidas para manutenção e o coeficiente de retenção de Fe foram estimadas como 2,9 mg/kg PC e 73,4%, respectivamente (Figura 9.8).

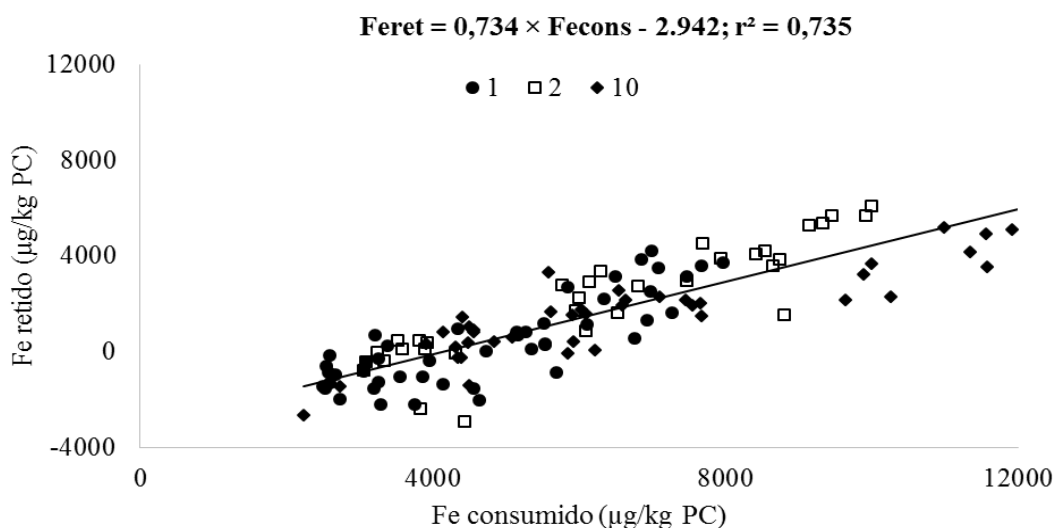


Figura 9.8 - Relação entre Fe retido (Feret) e Fe consumido (Fecons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a): 1 - Experimento utilizando machos Nelore não castrados, 2 - Experimento utilizando machos castrados e fêmeas Nelore e Zanetti (dados não publicados): 10 - experimento utilizando machos Nelore não castrados.

Para as exigências líquidas de Fe para ganho de peso, a equação sugerida por Zanetti (dados não publicados) foi utilizada:

$$ELGFe = GPCVZ \times (10,4 \times PCVZ^{0,24}).$$

Com isso, observa-se que as exigências dos animais aumentam à medida que o animal cresce, porém a uma taxa menor que o corpo cresce. Fato similar ao que o NRC (2000) sugeriu que à medida que o animal cresce as exigências seriam menores, pois o volume sanguíneo não aumenta proporcionalmente ao PC.

Ao avaliar as exigências dietéticas como mg/kg CMS, sugere-se, em média, o valor de 166 mg/kg CMS; esse valor está muito acima do preconizado pelo NRC (2000), de 50 mg/kg CMS. Contudo, ressalta-se que a concentração de Fe na dieta basal foi levada em consideração nessa edição, enquanto que não foi considerado nos

trabalhos citados pelo NRC (2000), uma vez que os estudos avaliaram apenas a suplementação de Fe, descartando a quantidade de Fe que foi fornecida pelo leite aos animais.

Manganês

A quantidade de Mn no corpo é largamente distribuída pelos tecidos e fluídos e pode variar quanto a espécie, idade, órgãos, e em relação à presença de outros microminerais na dieta. Alguns estudos (Bentley e Phillips, 1951; Rojas et al., 1965; DiCostanzo et al., 1986) observaram diferenças quanto ao fornecimento de diferentes níveis de Mn em aspectos reprodutivos, mas sem efeito no desempenho animal. Assim, Schroeder et al. (1966) recomendaram a quantidade de 20 a 25 mg/kg CMS para um animal ter ótimo desenvolvimento esquelético.

As exigências líquidas para manutenção e o coeficiente de retenção de Mn foram estimadas em 184,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ PC e 43,9%, respectivamente (Figura 9.9). O NRC (2001) sugeriu os valores de 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ PC e 75% como as exigências líquidas para manutenção e o coeficiente de absorção de Mn, respectivamente. No entanto, alguns autores (Sansom et al., 1978; Sullivan et al., 1979; Van Bruwaene et al., 1984) sugeriram que apenas de 1 a 4% do Mn é absorvido, independente da sua concentração na dieta, e que o principal local de absorção seria o intestino delgado. Sathler (2015) avaliou os coeficientes parciais de absorção no rúmen, intestino delgado e grosso e verificou que o principal local de absorção foi o rúmen. Além

disso, foi observado uma absorção aparente média de 35,1% do Mn. Hurley e Keen (1987) reportaram que altas concentrações de outros minerais tais como Ca, P e Fe na dieta diminuem a absorção de Mn. Sathler (2015) observou, ainda, que dietas com maiores concentrações de macrominerais e microminerais apresentaram o coeficiente de absorção 15% inferior à dieta que continha microminerais mas sem macrominerais. Contudo, esse autor verificou que a absorção de Mn no intestino delgado utilizando o tratamento com todos os minerais foi maior comparado ao tratamento sem macrominerais, não alterando o coeficiente de absorção aparente total.

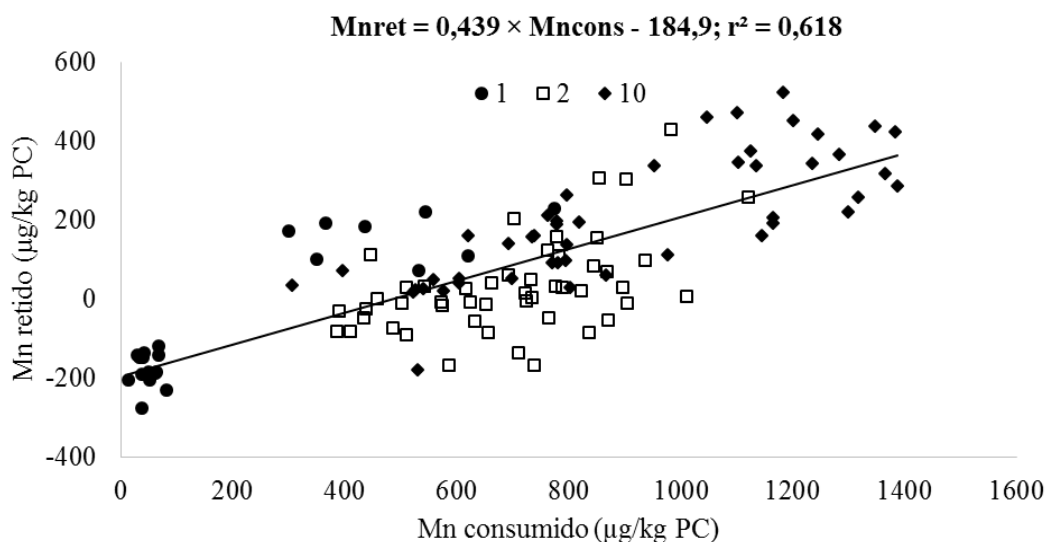


Figura 9.9 - Relação entre Mn retido (Mn_{ret}) e Mn consumido (Mn_{cons}) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a): 1 - Experimento utilizando machos Nelore não castrados em confinamento, 2 - Experimento utilizando machos castrados e fêmeas Nelore em confinamento e Zanetti (dados não publicados): 10 - experimento utilizando machos Nelore não castrados.

Para as exigências líquidas de Mn para ganho de peso, Costa e Silva et al. (2015a) sugeriram a seguinte equação:

$$ELGMn = GPCVZ \times (0,07 \times PCVZ^{0,80})$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg).

O NRC (2000) recomenda que as exigências dietéticas de Mn são de 20 mg/kg CMS, sendo essa recomendação adotada pela última edição do BR-CORTE.

Hartmans (1974) alimentaram vacas de 2,5 a 3,5 anos com dietas contendo de 16 a 21 mg/kg CMS e não observaram sinal de deficiência de Mn ou melhora no desempenho animal. Possivelmente, o suprimento de Mn estava acima do que o animal requer para um ótimo desempenho. Neste sentido, Costa e Silva et al. (2015a) estimaram as exigências dietéticas de Mn como sendo 9,59 mg/kg CMS, mostrando que a não observância de diferenças quanto ao desempenho dos animais quando foram supridas quantidades acima de 10 mg/kg

CMS pode ser devido ao fornecimento de Mn estar acima das exigências dos animais.

Selênio

A concentração de Se no corpo do animal é dependente da quantidade e da forma química do Se na dieta, bem como o tecido em que a concentração está sendo avaliada. Segundo Behne e Wolters (1983), altas concentrações de Se podem ocorrer no fígado e nos rins enquanto que as maiores quantidades de Se são sequestradas pelos músculos. Nesses tecidos, o Se atua como ativador enzimático, a exemplo de algumas enzimas atuantes na produção dos hormônios T3 e T4, e como antioxidante,

atuando na redução das concentrações de peróxido de hidrogênio.

Assim, para as exigências líquidas de Se e o coeficiente de retenção de Se foram utilizadas as recomendações de Costa e Silva et al. (2015a) de 3,72 µg/kg PC e 48,7%, respectivamente (Figura 9.10). Esse valor de coeficiente de retenção é acima do apresentado por Wright e Bell (1966) que utilizaram isótopos de Se em ovinos e encontraram o coeficiente de absorção de 35%. O valor sugerido pelo CSIRO (2007) é de 30%. Contudo, o valor encontrado por Costa e Silva et al. (2015a) encontra-se dentro da faixa estabelecida pelo NRC (2001) de 40 a 50%.

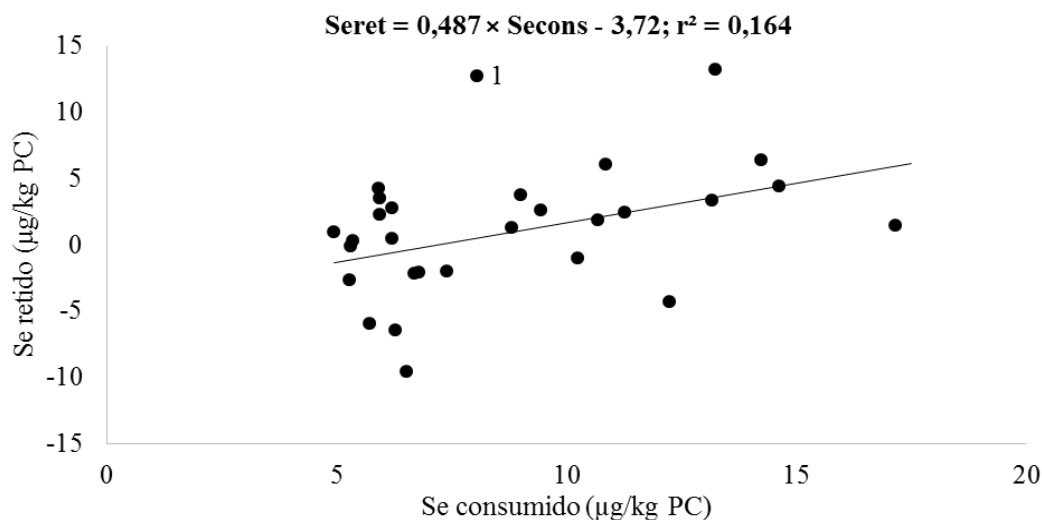


Figura 9.10 - Relação entre Se retido (Seret) e Se consumido (Secons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a - 1): Experimento utilizando machos castrados e fêmeas Nelore em confinamento.

Para as exigências líquidas de Se para ganho de peso, Costa e Silva et al. (2015a) sugeriram a seguinte equação:

$$ELGSe = GPCVZ \times (1,07 \times PCVZ^{-0,07})$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg). Com isso, percebe-se que as exigências de Se para ganho não variam conforme o animal cresce, uma vez que o expoente da equação é próximo a zero.

Sinais subclínicos de deficiência de Se têm sido relatados em vacas e bezerros de corte recebendo forragem, contendo de 0,02 a 0,05 mg Se/kg CMS (Morris et al., 1984; Hidiroglou et al., 1985; Spears et al., 1986). Tendo como referência

esses estudos, o NRC (2000) recomendou que as exigências dietéticas de Se deveriam ser de 0,1 mg/kg CMS. No entanto, Costa e Silva et al. (2015a) estimaram que as exigências dietéticas de Se seriam de 0,57 mg/kg CMS. Além disso, esse valor é também acima do recomendado pelo CSIRO (2007) e NRC (2001), cujos valores são de 0,05 e 0,30 mg/kg CMS, respectivamente. Entretanto, ressalta-se que os valores sugeridos por Costa e Silva et al. (2015a) foram provenientes de apenas um experimento que continha 50 animais Nelore com PC variando de 121 a 300 kg e, assim, recomenda-se que mais estudos devam ser conduzidos para que as exigências dietéticas de Se sejam melhor estimadas.

Zinco

As funções do zinco no organismo estão principalmente relacionadas à ação enzimática, seja por compor a forma ativa ou por atuar na ativação da enzima em questão. Ainda, observa-se que o desenvolvimento e a funcionalidade do sistema imune é dependente de Zn. Alguns pesquisadores (Delezenne, 1919; Bodansky, 1920; Weitzel et al., 1954) relataram que as concentrações de Zn em plantas e animais são frequentemente comparáveis às de Fe e que são geralmente maiores que os outros microminerais (Hambidge et al., 1986). O NRC (2000) utilizou a média de três estudos (Miller et al., 1966; Hansard et al., 1968; Schwarz e Kirchgessner, 1975) para estimar

as perdas endógenas, ou seja, as exigências líquidas de Zn para manutenção, que foram de 12 µg/kg PC. Weigand e Kirchgessner (1982) estimaram as exigências líquidas de Zn para manutenção em vacas lactantes como sendo 53 µg/kg PC. Além disso, o ARC (1980) e o NRC (2001) estimaram as exigências líquidas de Zn para manutenção como 55 µg/kg PC, enquanto o CSIRO (2007) recomendou o valor de 45 µg/kg PC. Entretanto, os experimentos realizados em condições tropicais e, portanto, adotados como banco de dados do BR-CORTE sugerem que este valor é superior aos recomendados anteriormente para as exigências líquidas de Zn para manutenção, estimando a exigência em 334,4 µg/kg PC (Figura 9.11).

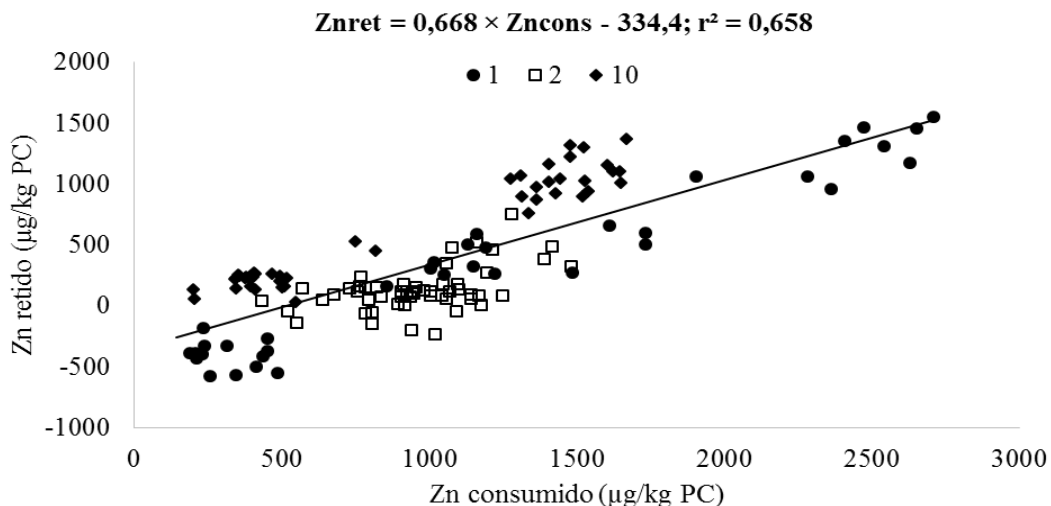


Figura 9.11 - Relação entre Zn retido (Zn_{ret}) e Zn consumido (Zn_{cons}) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a): 1 - Experimento utilizando machos Nelore não castrados em confinamento, 2 - Experimento utilizando machos castrados e fêmeas Nelore em confinamento.

O ARC (1980) sugeriu dois coeficientes de absorção para Zn, sendo 30% para animais ruminantes jovens e 20% para animais à maturidade. Já o CSIRO (2007) adotou o coeficiente de absorção verdadeira de 60% para bezerros pré-ruminantes e 40% para animais mais velhos com o rúmen funcional (SCA, 1990). Contudo, foi observado um coeficiente de retenção de 66,8% (Figura 9.11). Neste contexto, Miller e Cragle (1965) sugeriram que a absorção de Zn ocorre principalmente no abomaso e intestino delgado. Porém, Sathler (2015) observou que, em dietas contendo suplementação de

microminerais, o principal local de absorção de Zn foi o rúmen (em torno de 43,7% do que foi ingerido), enquanto que em dietas sem a suplementação de microminerais, o principal local de absorção foi o intestino grosso sendo, em média, 27% do Zn ingerido absorvido. Além disso, alguns trabalhos (Mills et al., 1967; Perry et al., 1968) demonstraram que a absorção de Zn é reduzida, quando Ca é incluído na dieta. Porém, Sathler (2015) avaliou que independente da presença do Ca na dieta, não houve diferença quanto à absorção de Zn.

Quanto às exigências líquidas para ganho de peso, Costa e Silva et al. (2015a) recomendaram a seguinte equação:

$$ELGZn = GPCVZ \times (1,16 \times PCVZ^{0,86}),$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg). O ARC (1980) sugeriu que de 16 a 31 mg Zn/kg PC podem ser incorporados nos tecidos corporais para cada quilograma de ganho de PC.

O NRC (2000) considera as exigências dietéticas de Zn como sendo 30 mg/kg CMS, enquanto o CSIRO (2007) recomenda 11,6 mg/kg CMS. No entanto, as recomendações do NRC (2000) foram baseadas em dois estudos (Perry et al., 1968; Pond e Otjen, 1988) que avaliaram a resposta do crescimento à suplementação de Zn, em que a concentração de Zn na dieta basal era desconhecida. No entanto, no estudo de Costa e Silva et al. (2015a), as exigências dietéticas

de Zn em bovinos Nelore foram de 61 mg/kg CMS e esses autores consideraram a composição de Zn na dieta basal.

Cobalto

O Co é o precursor da vitamina B12, e está, portanto, relacionado com o metabolismo energético, porém a quantidade de Co dietético convertido em vitamina B12 varia de 3 a 13% do Co consumido (Smith, 1987). Além disso, alguns estudos (Monroe et al., 1952; Looney et al., 1976) verificaram que de 84 a 98% do Co fornecido na dieta foi encontrado nas fezes em torno de 5 a 14 dias após o consumo. Nessa edição do BR-CORTE, o valor de 86,8% foi estimado como o coeficiente de retenção verdadeira (Figura 9.12), mostrando que apenas 13,2% do ingerido foi excretado via fezes e urina. Além disso, as exigências líquidas de Co para manutenção em bovinos Nelore foram estimadas em 13,5 µg/kg PC (Figura 9.12).

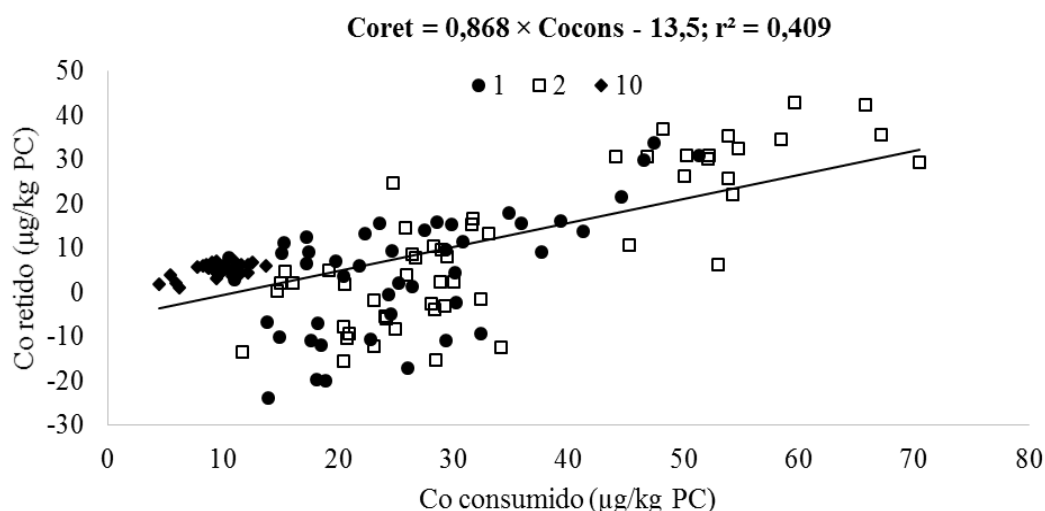


Figura 9.12 - Relação entre Co retido (Coret) e Co consumido (Cocons) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a): 1 - Experimento utilizando machos Nelore não castrados, 2 - Experimento utilizando machos castrados e fêmeas Nelore e Zanetti (dados não publicados): 10 – experimento utilizando machos Nelore não castrados.

Quanto às exigências líquidas de Co para ganho de peso (ELGCo), a equação sugerida por Zanetti (dados não publicados) foi utilizada para estimar ELGCo:

$$ELGCo = GPCVZ \times (0,045 \times PCVZ^{-0,023})$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg). Percebe-se que as ELGCo

reduzem em relação ao aumento do PCVZ dos animais, mas a uma taxa praticamente constante.

Smith (1987) sugeriu que as exigências dietéticas de Co deveriam ser de 0,11 mg/kg CMS, sendo esse valor o adotado pelo NRC (2000) e NRC (2001). Contudo, esse autor não considerou o coeficiente de absorção e a composição de Co nos alimentos. Assim, nessa edição do BR-

CORTE, as exigências dietéticas de Co foram estimadas em média de 0,63 mg/kg CMS considerando o coeficiente de retenção e a composição de Co nos alimentos.

Cromo

Até a última edição do BR-CORTE,

nenhuma recomendação a respeito das exigências líquidas de Cr para manutenção e o coeficiente de retenção foram sugeridos. No entanto, Costa e Silva et al. (2015a) estimaram as exigências líquidas de Cr para manutenção e o coeficiente de retenção como sendo 22,9 µg/kg PC e 78,4%, respectivamente (Figura 9.13).

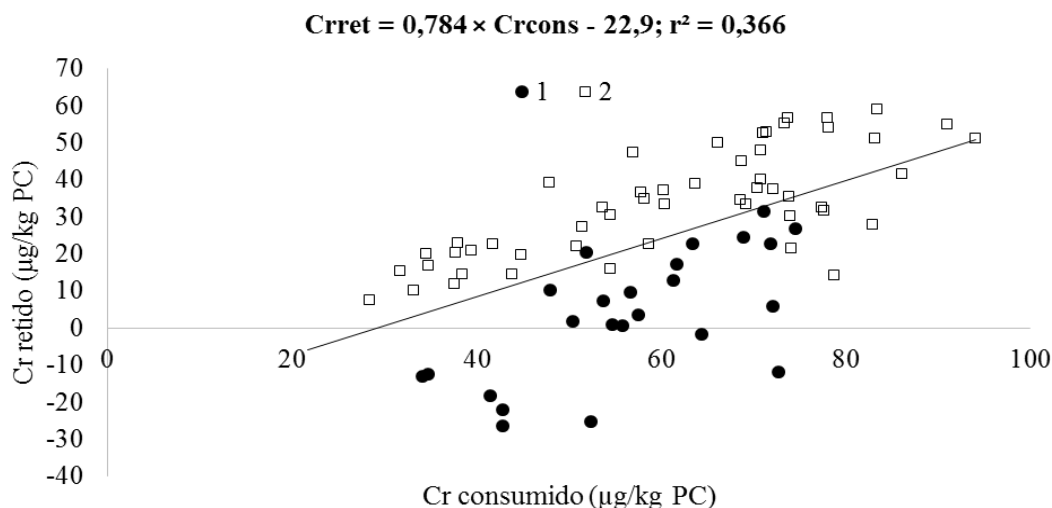


Figura 9.13 - Relação entre Cr retido (Cr_{ret}) e Cr consumido (Cr_{cons}) em bovinos de corte. Dados de Costa e Silva et al. (2015a): 1 - Experimento utilizando machos Nelore não castrados em confinamento, 2 - Experimento utilizando machos castrados e fêmeas Nelore em confinamento.

Além disso, Costa e Silva et al. (2015a) estimaram as exigências líquidas de Cr para ganho de peso e sugeriram a seguinte equação:

$$ELGCr = GPCVZ \times (0,23 \times PCVZ^{0,61}),$$

em que GPCVZ é o ganho diário de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg).

Bernhard et al. (2012) avaliaram os efeitos da suplementação de Cr no desempenho de novilhos e observaram diferença no GMD de novilhos sem suplementação em relação aos que receberam 0,3 mg/kg CMS. Além disso, alguns estudos (Butting et al., 1994; Kegley e Spears, 1995) avaliaram a suplementação de Cr em bezerras e sugeriram que a adição de 0,4 mg/kg CMS de Cr aumenta a taxa de depuração de glicose. Com isso, o NRC (2000) adotou a recomendação de 0,4 mg/kg CMS como as exigências dietéticas de Cr para bovinos de corte. Contudo, Costa e Silva et al. (2015a) estimaram 2,53 mg/kg CMS, valor acima do recomendado na literatura. Todavia, as recomendações do

NRC (2000) foram baseadas na suplementação de Cr desconsiderando o quanto a dieta basal fornecia deste mineral aos animais.

Molibdênio

O Mo é um componente essencial das enzimas xantina oxidase, sulfito oxidase e aldeído oxidase (Mills e Davis, 1987). Alguns autores têm relacionado o fornecimento de molibdênio com a melhora da atividade microbiana ou pelo aumento da digestão da celulose (Ellis et al., 1958) ou pelo aumento da taxa de desaparecimento da MS do rumen (Shariff et al., 1990). Além disso, o Mo está relacionado com a síntese intraruminal de tio- ou oxitiomolibdatos e suas subsequentes reações com o Cu podem ser responsáveis para os efeitos inibitórios das fontes dietéticas de Mo e S sobre a utilização de Cu pelos ruminantes. Contudo, estudos avaliando a obtenção direta ou indireta de evidências para a formação de tio- ou oxitiomolibdatos em conteúdos

ruminais de bovinos ainda são desconhecidos. Assim, existe a necessidade de verificar a influência de mudanças no fornecimento de Cu dietético na presença de tiomolibdatos solúveis no líquido ruminal e na concentração e distribuição de Cu e Mo no plasma sanguíneo. O NRC (2000) não

estabelece as exigências dietéticas de Mo, devido ao fato de deficiências não serem comumente observadas. Zanetti (dados não publicados) estabeleceram as perdas endógenas e o coeficiente de retenção para Mo em 3,27 $\mu\text{g}/\text{kg}$ PC e 49,7%, respectivamente (Figura 9.14).

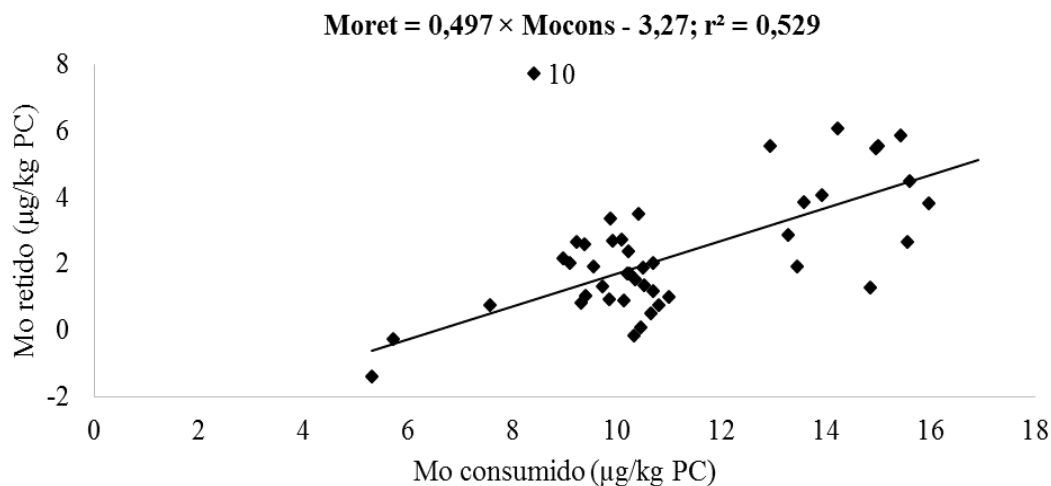


Figura 9.14 - Relação entre Mo retido (Moret) e Mo consumido (Mocons) em bovinos de corte. Dados de Zanetti (dados não publicados: 10 – experimento utilizando machos Nelore não castrados).

Além disso, esse autor estimou as exigências líquidas de Mo para ganho de peso e sugeriram a seguinte equação:

$$\text{ELG}_{\text{Mo}} = \text{GPCVZ} \times (0,0035 \times \text{PCVZ}^{0,4063}),$$

em que GPCVZ é o ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e PCVZ é o peso de corpo vazio (kg).

Iodo

O I é um importante componente dos hormônios da tireóide (tiroxina, T3 e triiodotironina, T4) que são responsáveis pela regulação da taxa de metabolismo da energia no corpo. O I é majoritariamente absorvido na forma de iodeto (entre 70 a 80%) no rúmen, apresentando considerável secreção no abomaso (Miller et al., 1988). Contudo, o I secretado no abomaso é altamente reabsorvido nos intestinos delgado e grosso (NRC, 2000).

Assim como o cloro, as exigências dietéticas de I ainda não estão definidas, sendo que o NRC (2000) sugeriu que o fornecimento de 0,5 mg/kg MS possa ser

adequado. Conforme o ARC (1980), as exigências dietéticas de I podem ser estimadas pela medição das taxas de secreção dos hormônios na tireóide. No entanto, como não existem trabalhos desenvolvidos no Brasil sobre este mineral, sugere-se que as recomendações sugeridas pelo NRC (2000) de 0,5 mg/kg MS sejam seguidas.

TOXICIDADE

Alguns elementos inorgânicos fornecidos em elevadas quantidades podem causar uma série de danos aos bovinos. Para a formulação de rações, recomenda-se que níveis máximos de elementos minerais na dieta sejam fixados como 120% das exigências, de forma a garantir um equilíbrio de minerais na dieta, não prejudicar a absorção e utilização dos mesmos e evitar perdas desnecessárias. Porém, em condições práticas, nem sempre é possível este equilíbrio. Dessa forma, os valores tóxicos de elementos minerais obtidos da literatura são apresentados na Tabela 9.11.

Tabela 9.11 - Níveis tóxicos de minerais para bovinos de corte

Macrominerais	Níveis tóxicos	Microminerais	Níveis tóxicos
Cálcio ¹	44 g/kg de MS	Cobre ⁴	40 mg/kg de MS
Potássio ⁴	20 g/kg de MS	Manganês ²	1000 mg/kg de MS
Magnésio ¹	4 g/kg de MS	Selênio ³	5 mg/kg de MS
Sódio ¹	65 g/kg de MS	Zinco ³	500 mg/kg de MS
Enxofre ¹	4 g/kg de MS	Cobalto ⁴	25 mg/kg de PC
		Cromo ²	50 mg/kg de MS
		Flúor ³	30 mg/kg de MS
		Iodo ²	50 mg/kg de MS
		Molibdênio ³	6 mg/kg de MS
		Vanádio ²	30 mg/kg de MS

¹NRC (2000); ²McDonald et al. (2002); ³McDowell (1992); ⁴BCNRM (2016).

TABELAS DAS EXIGÊNCIAS DE MINERAIS PARA BOVINOS DE CORTE

A partir da estimativa das exigências líquidas dos minerais para manutenção e ganho de peso de bovinos de corte e dos coeficientes

de retenção, as exigências dietéticas dos minerais foram calculadas (Tabela 9.12). As recomendações para as exigências dietéticas desses minerais podem ser visualizadas nas Tabelas 9.13 e 9.14.

Tabela 9.12 - Resumo das recomendações para o cálculo das exigências dietéticas de minerais para bovinos de corte

Mineral	Exigências líquidas para manutenção	Coeficiente de retenção	Exigências líquidas para ganho (ELG) ¹	PCVZ no plateau
	mg/kg peso corporal		%	
Ca	11,7	56,8	Zebuino: $ELG_{Ca} = GPCVZ \times (147 \times PCVZ^{-0,50})$	462
			Cruzado: $ELG_{Ca} = GPCVZ \times (66,0 \times PCVZ^{-0,32})$	453
P	13,5	67,8	Zebuino: $ELG_P = GPCVZ \times (38,6 \times PCVZ^{-0,36})$	445
			Cruzado: $ELG_P = GPCVZ \times (25,4 \times PCVZ^{-0,25})$	479
Mg	5,9	35,5	Zebuino: $ELG_{Mg} = GPCVZ \times (0,3466 \times PCVZ^{0,0113})$	-
			Cruzado: $ELG_{Mg} = GPCVZ \times (1,0597 \times PCVZ^{-0,2386})$	-
Na	6,3	37,1	Zebuino: $ELG_{Na} = GPCVZ \times (5,594 \times PCVZ^{-0,2998})$	-
			Cruzado: $ELG_{Na} = GPCVZ \times (1,977 \times PCVZ^{-0,058})$	-
K	23,5	48,4	Zebuino: $ELG_K = GPCVZ \times (0,9463 \times PCVZ^{0,1216})$	-
			Cruzado: $ELG_K = GPCVZ \times (0,3418 \times PCVZ^{0,3200})$	-
S	10,4	77,3	$ELG_S = GPCVZ \times (0,03 \times PCVZ^{0,8900})$	-
Mineral	$\mu\text{g/kg}$ peso corporal	%	mg/dia	
Cu	95,6	73,5	$ELG_{Cu} = GPCVZ \times (1,25 \times PCVZ^{0,33})$	-
Co	13,5	86,8	$ELG_{Co} = GPCVZ \times (0,045 \times PCVZ^{-0,023})$	-
Cr	22,9	78,4	$ELG_{Cr} = GPCVZ \times (0,23 \times PCVZ^{0,61})$	-
Fe	2942	73,4	$ELG_{Fe} = GPCVZ \times (14,0 \times PCVZ^{0,24})$	-
Mn	184,9	43,9	$ELG_{Mn} = GPCVZ \times (0,07 \times PCVZ^{0,80})$	-
Mo	3,27	49,7	$ELG_{Mo} = GPCVZ \times (0,0035 \times PCVZ^{0,41})$	-
Se	3,72	48,7	$ELG_{Se} = GPCVZ \times (1,07 \times PCVZ^{-0,07})$	-
Zn	334,4	66,8	$ELG_{Zn} = GPCVZ \times (1,16 \times PCVZ^{0,86})$	-

¹GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

Dessa forma, considerando um bovino Nelore não castrado de 400 kg de PC com GMD de 1,00 kg/dia, as exigências dietéticas dos macro e microminerais podem ser calculadas:

$$PCJ = 0,88 \times PC^{1,0175} = 0,88 \times 400^{1,0175} = 390,9 \text{ kg}$$

$$PCVZ = 0,8126 \times PCJ^{1,0134} = 0,8126 \times 390,9^{1,0134} = 344 \text{ kg}$$

$$GPCVZ = 0,963 \times GMD^{1,0151} = 0,963 \times 1,0^{1,0151} = 0,963 \text{ kg}$$

• **Cálcio** (Tabela 9.13):

$$\text{Manutenção: } 11,7 \times PC = 11,7 \times 400 = 4680 \text{ mg} = 4,68 \text{ g/dia}$$

$$\text{Ganho: } GPCVZ \times (147 \times PCVZ^{-0,50}) = 0,963 \times (147 \times 344^{-0,50}) = 7,63 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências líquidas totais} = \text{Manutenção} + \text{Ganho} = 4,68 + 7,63 = 12,31 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências dietéticas} = \text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 12,31/0,568 = 21,67 \text{ g/dia}$$

• **Fósforo** (Tabela 9.13):

$$\text{Manutenção: } 13,5 \times PC = 13,5 \times 400 = 5400 \text{ mg} = 5,40 \text{ g/dia}$$

$$\text{Ganho: } GPCVZ \times (38,6 \times PCVZ^{-0,36}) = 0,963 \times (38,6 \times 344^{-0,36}) = 4,54 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências líquidas totais} = \text{Manutenção} + \text{Ganho} = 5,40 + 4,54 = 9,94 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências dietéticas} = \text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 9,94/0,678 = 14,66 \text{ g/dia}$$

$$\text{Relação Ca/P} = 21,67/14,66 = 1,48$$

• **Magnésio** (Tabela 9.13):

$$\text{Manutenção: } 5,9 \times PC = 5,9 \times 400 = 2360 \text{ mg} = 2,36 \text{ g/dia}$$

$$\text{Ganho: } GPCVZ \times (0,3466 \times PCVZ^{0,0113}) = 0,963 \times (0,3466 \times 344^{0,0113}) = 0,357 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências líquidas totais} = \text{Manutenção} + \text{Ganho} = 2,36 + 0,357 = 2,717 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências dietéticas} = \text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 2,717/0,355 = 7,65 \text{ g/dia}$$

• **Sódio** (Tabela 9.13):

$$\text{Manutenção: } 6,3 \times PC = 6,3 \times 400 = 2511 \text{ mg} = 2,52 \text{ g/dia}$$

$$\text{Ganho: } GPCVZ \times (5,594 \times PCVZ^{-0,2998}) = 0,963 \times (5,594 \times 344^{-0,2998}) = 0,935 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências líquidas totais} = \text{Manutenção} + \text{Ganho} = 2,52 + 0,935 = 3,455 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências dietéticas} = \text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 3,455/0,371 = 9,31 \text{ g/dia}$$

• **Potássio** (Tabela 9.13):

$$\text{Manutenção: } 23,5 \times PC = 23,5 \times 400 = 9400 \text{ mg} = 9,40 \text{ g/dia}$$

$$\text{Ganho: } GPCVZ \times (0,9463 \times PCVZ^{0,1216}) = 0,963 \times (0,9463 \times 344^{0,1216}) = 1,854 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências líquidas totais} = \text{Manutenção} + \text{Ganho} = 9,40 + 1,854 = 11,254 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências dietéticas} = \text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 11,254/0,484 = 23,25 \text{ g/dia}$$

• **Enxofre** (Tabela 9.13):

$$\text{Manutenção: } 10,4 \times PC = 10,4 \times 400 = 4160 \text{ mg} = 4,16 \text{ g/dia}$$

$$\text{Ganho: } GPCVZ \times (0,03 \times PCVZ^{0,89}) = 0,963 \times (0,03 \times 344^{0,89}) = 5,23 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências líquidas totais} = \text{Manutenção} + \text{Ganho} = 4,16 + 5,23 = 9,39 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências dietéticas} = \text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 9,39/0,773 = 12,15 \text{ g/dia}$$

• **Cobre** (Tabela 9.14):

$$\text{Manutenção: } 95,6 \times PC = 95,6 \times 400 = 38240 \text{ } \mu\text{g} = 38,24 \text{ mg/dia}$$

$$\text{Ganho: } GPCVZ \times (1,25 \times PCVZ^{0,33}) = 0,963 \times (1,25 \times 344^{0,33}) = 8,27 \text{ mg/dia}$$

$$\text{Exigências líquidas totais} = \text{Manutenção} + \text{Ganho} = 38,24 + 8,27 = 46,51 \text{ mg/dia}$$

$$\text{Exigências dietéticas} = \text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 46,51/0,735 = 63,28 \text{ mg/dia}$$

• **Ferro** (Tabela 9.14):

Mantença: $2942 \times PC = 2942 \times 400 = 1176800 \mu\text{g} = 1177 \text{ mg/dia}$

Ganho: $GPCVZ \times (10,4 \times PCVZ^{0,24}) = 0,963 \times (10,4 \times 344^{0,24}) = 40,7 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = $\text{Mantença} + \text{Ganho} = 1177 + 40,7 = 1218 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = $\text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 1218/0,734 = 1659 \text{ mg/dia}$

• **Manganês** (Tabela 9.14):

Mantença: $184,9 \times PC = 184,9 \times 400 = 73960 \mu\text{g} = 73,96 \text{ mg/dia}$

Ganho: $GPCVZ \times (0,07 \times PCVZ^{0,80}) = 0,963 \times (0,07 \times 344^{0,80}) = 7,21 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = $\text{Mantença} + \text{Ganho} = 73,96 + 7,21 = 81,17 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = $\text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 81,17/0,439 = 184,9 \text{ mg/dia}$

• **Selênio** (Tabela 9.14):

Mantença: $3,72 \times PC = 3,72 \times 400 = 1488 \mu\text{g} = 1,49 \text{ mg/dia}$

Ganho: $GPCVZ \times (1,07 \times PCVZ^{-0,07}) = 0,963 \times (1,07 \times 344^{-0,07}) = 0,68 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = $\text{Mantença} + \text{Ganho} = 1,49 + 0,68 = 2,17 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = $\text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 2,17/0,487 = 4,46 \text{ mg/dia}$

• **Zinco** (Tabela 9.14):

Mantença: $334,4 \times PC = 334,4 \times 400 = 133760 \mu\text{g} = 133,76 \text{ mg/dia}$

Ganho: $GPCVZ \times (1,16 \times PCVZ^{0,86}) = 0,963 \times (1,16 \times 344^{0,86}) = 169,6 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = $\text{Mantença} + \text{Ganho} = 133,76 + 169,6 = 303,4 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = $\text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 303,4/0,668 = 454,2 \text{ mg/dia}$

• **Cobalto** (Tabela 9.14):

Mantença: $13,5 \times PC = 13,5 \times 400 = 5400 \mu\text{g} = 5,40 \text{ mg/dia}$

Ganho: $GPCVZ \times (0,045 \times PCVZ^{-0,023}) = 0,963 \times (0,045 \times 344^{-0,023}) = 0,038 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = $\text{Mantença} + \text{Ganho} = 5,40 + 0,038 = 5,438 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = $\text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 5,438/0,868 = 6,26 \text{ mg/dia}$

• **Cromo** (Tabela 9.14):

Mantença: $22,9 \times PC = 22,9 \times 400 = 9160 \mu\text{g} = 9,16 \text{ mg/dia}$

Ganho: $GPCVZ \times (0,23 \times PCVZ^{0,61}) = 0,963 \times (0,23 \times 344^{0,61}) = 7,81 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = $\text{Mantença} + \text{Ganho} = 9,16 + 7,81 = 16,97 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = $\text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 16,97/0,784 = 21,65 \text{ mg/dia}$

• **Molibdênio** (Tabela 9.14):

Mantença: $3,27 \times PC = 3,27 \times 400 = 1310 \mu\text{g} = 1,31 \text{ mg/dia}$

Ganho: $GPCVZ \times (0,0035 \times PCVZ^{0,4063}) = 0,963 \times (0,0035 \times 344^{0,41}) = 0,037 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = $\text{Mantença} + \text{Ganho} = 1,31 + 0,037 = 1,347 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = $\text{Exigências líquidas totais/coeficiente de retenção} = 1,347/0,497 = 2,71 \text{ mg/dia}$

Tabela 9.13 - Exigências dietéticas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na, K e S; g/dia) em função do grupo genético (zebuínos e cruzados) para diferentes pesos corporais e ganhos de peso

Peso corporal (kg)	Ganho de peso (kg/dia)	Zebuínos						Cruzados				
		Ca	P	Mg	Na	K	S	Ca	P	Mg	Na	K
200	0,50	13,62	8,27	3,82	4,94	11,45	4,46	14,86	8,94	3,74	5,28	11,45
	1,00	23,33	12,64	4,32	6,52	13,22	6,27	25,82	14,00	4,17	7,21	13,22
	1,50	33,11	17,05	4,83	8,11	15,01	8,09	36,87	19,10	4,60	9,15	15,00
250	0,50	13,62	8,92	4,65	5,69	13,93	5,54	15,12	9,66	4,55	6,11	14,01
	1,00	22,27	12,95	5,15	7,16	15,75	7,76	25,31	14,43	4,96	8,01	15,91
	1,50	30,99	17,01	5,66	8,64	17,59	10,00	35,57	19,25	5,36	9,92	17,84
300	0,50	13,89	9,66	5,48	6,46	16,39	6,61	15,57	10,44	5,36	6,94	16,54
	1,00	21,76	13,42	5,99	7,85	18,26	9,23	25,16	14,99	5,75	8,81	18,58
	1,50	29,70	17,22	6,50	9,25	20,14	11,88	34,83	19,59	6,14	10,71	20,62
350	0,50	14,33	10,45	6,31	7,24	18,86	7,67	16,14	11,26	6,18	7,77	19,08
	1,00	21,60	14,00	6,82	8,57	20,76	10,69	25,25	15,64	6,55	9,63	21,21
	1,50	28,93	17,59	7,33	9,91	22,68	13,74	34,43	20,05	6,93	11,51	23,36
400	0,50	14,89	11,28	7,14	8,04	21,32	8,73	16,78	12,11	7,00	8,60	21,60
	1,00	21,67	14,66	7,65	9,31	23,25	12,15	25,50	16,34	7,36	10,45	23,83
	1,50	28,52	18,07	8,16	10,60	25,20	15,59	34,29	20,61	7,72	12,31	26,07
450	0,50	15,53	12,13	7,98	8,84	23,77	9,78	17,48	12,98	7,82	9,44	24,12
	1,00	21,91	15,37	8,48	10,07	25,74	13,59	25,87	17,09	8,17	11,27	26,43
	1,50	28,35	18,63	9,00	11,31	27,72	17,43	34,33	21,22	8,52	13,12	28,77

Tabela 9,14 - Exigências dietéticas de microminerais (Cu, Fe, Mn, Se, Zn, Co, Cr e Mo; mg/dia) de bovinos de corte para diferentes pesos corporais e ganhos de peso em confinamento

Ganho de peso (kg/dia)	Peso Corporal (kg)						
	200	250	300	350	400	450	500
Cobre							
0,50	30,41	37,26	44,07	50,85	57,60	64,33	71,04
1,00	34,90	42,11	49,23	56,28	63,28	70,25	77,18
1,50	39,43	46,99	54,42	61,76	69,01	76,21	83,36
Ferro							
0,50	825	1026	1228	1429	1631	1832	2033
1,00	848	1051	1254	1456	1659	1861	2063
1,50	871	1075	1280	1482	1687	1890	2092
Manganês							
0,50	88,8	111	133	155	177	198	220
1,00	93,5	116	139	162	184,9	208	230
1,50	98,2	122	146	170	193	217	240
Selênio							
0,50	2,26	2,63	3,00	3,38	3,75	4,13	4,50
1,00	3,01	3,36	3,73	4,09	4,46	4,83	5,20
1,50	3,76	4,10	4,46	4,82	5,18	5,54	5,91
Zinco							
0,50	168	208	248	287	326	365	403
1,00	237	293	347	401	454	507	560
1,50	307	378	447	516	584	651	718
Cobalto							
0,50	3,13	3,91	4,69	5,47	6,24	7,02	7,80
1,00	3,15	3,93	4,71	5,49	6,26	7,04	7,82
1,50	3,18	3,95	4,73	5,51	6,29	7,06	7,84
Cromo							
0,50	9,03	10,97	12,88	14,76	16,61	18,45	20,28
1,00	12,28	14,72	17,08	19,38	21,65	23,87	26,07
1,50	15,57	18,49	21,31	24,05	26,72	29,34	31,91
Molibdênio							
0,50	1,34	1,68	2,01	2,34	2,67	3,00	3,33
1,00	1,37	1,71	2,04	2,37	2,71	3,04	3,37
1,50	1,40	1,74	2,07	2,41	2,74	3,08	3,41

REFERÊNCIAS

- Aitken, F.C. *Tech. Comm. Commonw. Bur. Nutr.* No 26. 1976.
- AFRC – Agricultural and Food Research Council. A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle (Report 6). *Nutrition Abstracts and Reviews*, 61:573-612. 1991.
- Amaral, P. M. 2012. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos mestiços Holandês x zebu alimentados com dietas contendo diferentes níveis de proteína*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 84p. 2012.
- Anderson, R. C.; Carr, M. A.; Miller, R. K.; King, D. A.; Carstens, G. E.; Genovese, K. J.; Callaway, T. R.; Edrington, T. S.; Jung, Y. S.; McCreynolds, J. L.; Hume, M. E.; Beier, R. C.; Elder, R. O.; Nisbet, D. J. Effects of experimental chlorate preparations as feed and water supplements on *Escherichia coli* colonization and contamination of beef cattle carcasses. *Food Microbiology* 22:439-447. 2005.
- Araújo, G. G. L.; Coelho Da Silva, J. F.; Valadares Filho, S. C.; Campos O. F.; Signoretti, R. D.; Turco, S. H. N. Consumo e absorção aparente de macromelementos minerais, em bezerros alimentados com dietas contendo diferentes níveis de volumoso. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:1824-1828. 2001.
- ARC – Agricultural Research Council. 1965. *The Nutrient Requirements of Farm Livestock*. London, UK: Agricultural Research Council, 264p.
- ARC – Agricultural Research Council. 3rd ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK, 351p. 1980.
- Arthington, J. D.; Moriel, P.; Martins, P. G. M. A.; Lamb, G. C.; Havenga, L. J. Effects of trace mineral injections on measures of performance and trace mineral status of pre- and postweaned beef calves. *Journal of Animal Science*. 92:2630-2640. 2014.
- Backes, A. A. *Composição corporal e exigências de energia, proteína e macromelementos minerais para bovinos mestiços leiteiros e zebu, castrados, em fase de recria e engorda, em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicoso, Vicoso, MG. 2003.
- Beef Cattle Nutrient Requirement Model – BCNRM. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th edition. Washington, DC: The National Academies Press, 475p, 2016.
- Bentley, O. G.; Phillips, P. H. The effects of low Mn rations upon dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 34:396-403. 1951.
- Bernhard, B. C.; Burdick, N. C.; Roundsw, Rathmann, R. J.; Carroll, J. A.; Finck, D. N.; Jennings, M. A.; Young, T. R.; Johnson, B. J. Chromium supplementation alters the performance and health of feedlot cattle during the receiving period and enhances their metabolic response to a lipopolysaccharide challenge. *Journal of Animal Science*, 90:3879-3888. 2012.
- Blaney, J.; Gartner, J. W.; Head, T. A. The effects of oxalate in tropical grasses on calcium, phosphorus and magnesium availability to cattle. *Journal of Agricultural Science*, 99:533-539. 1982.
- Bodansky M. Biochemical studies on marine organisms. II. The occurrence of zinc. *The Journal of Biological Chemistry*, 44:399-407. 1920.
- Boin, C. Exigências de minerais pelas categorias do rebanho bovino e funções desses nutrientes. In: Peixoto, A. M. (Ed). *Nutrição de bovinos: conceitos básicos e aplicados*. Piracicaba: FEALQ, p.407-450. 1993.
- Bouchard, R.; Conrad, H. R. Sulfur requirement of lactating dairy cows. I. Sulfur balance and dietary supplementation. *Journal of Dairy Science*, 56:1276-1282. 1973.
- Butting, L. D.; Fernandes, J. M.; Thompson, D. L.; Southern, L. L. Influence of chromium picolinate on glucose usage and metabolic criteria in growing Holstein calves. *Journal of Animal Science*, 72:1591-1599. 1994.
- Call, J. W.; Butcher, J. E.; Blake, J. T.; Smart, R. A.; Shupe, J. L. Phosphorus influence on growth and reproduction of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 47:216-225. 1978.
- Callaway, T. R.; Anderson, R. C.; Genovese, K. J.; Poole, T. L.; Anderson, T. J.; J. Byrd, A.; Kubena, L. F.; Nisbet. D. J. Sodium chlorate supplementation reduces *E. coli* O157:H7 populations in cattle. *Journal of Animal Science*, 80:1683-1689. 2002.
- Cheeke, P. R. *Applied animal nutrition: feeds and feeding*. 3.ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Inc., 604p. 2005.

- Chizzotti, M. L. *Exigências nutricionais de animais Nelore, puros e cruzados, de diferentes classes*. 2007. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 101p. 2007.
- Chizzotti, M. L.; Valadares Filho, S. C.; Tedeschi, L. O.; Paulino, P. V. R.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D.; Amaral, P.; Benedeti, P. D. B.; Rodrigues, T. I.; Fonseca, M. L. Net requirements of calcium, magnesium, sodium, phosphorus, and potassium for growth of Nelore×Red Angus bulls, steers, and heifers. *Livestock Science*, 124:242-247. 2009.
- Coelho da Silva, J. F.; Valadares Filho, S. C.; Leao, M. I.; Castro, A. C. G.; Costa, W. P. Efeito da monensina sódica e da uréia sobre o consumo, parâmetros ruminais, digestibilidade aparente e balanço nutricional em bovinos. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 20:454-470. 1991.
- Coelho da Silva, J. F. Inorganic macronutrient requirements in cattle: The ARC/AFRC system and the Brazilian experience. In: *Proceedings of International Symposium on the Nutritional Requirements of Ruminants*, 1995, Vicoso, Brazil. Anais. Viçosa, Brazil: JARD. p. 311-345. 1995.
- Costa e Silva, L. F.; Valadares Filho, S. C.; Engle, T. E.; Rotta, P. P.; Marcondes, M. I.; Silva, F. A. S.; Martins, E. C.; Tokunaga, A. T. Macromineral and trace element requirements for beef cattle. *PLoS ONE* 10(12): e0144464. 2015a.
- Costa e Silva, L. F.; Engle, T. E.; Valadares Filho, S. C.; Rotta, P. P.; Valadares, R. F. D.; Silva, B. C.; Pacheco, M. V. C. Intake, apparent digestibility, and nutrient requirements for growing Nelore heifers and steers fed two levels of calcium and phosphorus. *Livestock Science*, 181:17-24. 2015b.
- CSIRO – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. CSIRO Publications: Collingwood, AU, 270p. 2007.
- Delezenne C. Le zinc constituant cellulaire de l'organisme animal = sa présence et son rôle dans le venin des serpents. *Ann Inst Pasteur* 33:68. 1919.
- Dick, A. T. Studies on the assimilation and storage of copper in crossbred sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 5:511. 1954.
- Dicostanzo, A.; Meiske, J. C.; Plegge, S. D.; Haggard, D. L.; Chaloner, K. M. Influence of manganese, copper, and zinc on reproductive performance of beef cows. *Nutrition Reports International*, 34:287-293. 1986.
- Dowe, T. W.; Matsushima, J.; Arthaud, V. H. The effects of adequate and excessive calcium when fed with adequate phosphorus in growing rations for beef calves. *Journal of Animal Science*, 16:811– 820. 1957.
- Ellis, W. C.; Pfander, W. H.; Muhrer, M. E.; Pickett, E. E. Molybdenum as a dietary essential for lambs. *Journal of Animal Science*, 17:180-188. 1958.
- Erickson, G. E.; Klopfenstein, T. J.; Milton, C. T.; Hanson, D.; Calkins, C. Effect of dietary phosphorus on finishing steer performance, bone status, and carcass maturity. *Journal of Animal Science*, 77:2832-2836. 1999.
- Erickson, G. E.; Klopfenstein, T. J.; Milton, C. T.; Brink, D.; Orth, M. W.; Whittet, K. M. Phosphorus requirement of finishing feedlot calves. *Journal of Animal Science*, 80:1690-1695. 2002.
- Ezequiel, J. M. B. *Exigências de proteína e minerais de bovídeos: frações endógenas*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 131p. 1987.
- Field, A. C. A review of requirements of dairy and beef cattle for major elements. *Livestock Production Science*, 10:327-338. 1983a.
- Field, A. C. Maintenance requirements of phosphorus and absorbability of dietary phosphorus in sheep. *Journal of Agricultural Science*, 100:231-233. 1983b.
- Fontes, C. A. A. Body composition, net requirements of protein, energy and minerals for weight gain and productive performance of Zebu and crossbred European-Zebu cattle. Experimental results. In: *Proceedings of International Symposium on the Nutritional Requirements of Ruminants*, 1995, Vicoso, MG, Brazil. Anais. Vicoso, MG, Brazil: JARD, p.265-299. 1995.
- Genther, O. N.; Hansen, S. L. Effect of dietary trace mineral supplementation and a multi-element trace mineral injection on shipping response and growth performance of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 92:2522-2530. 2014.
- Gionbelli, M. P. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de fêmeas Nelore em crescimento*. 2010. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicoso, Vicoso, MG. 101p. 2010.

- Hambidge, K. M.; Casey, C. E.; Krebs, N. F. Zinc. *Trace elements in human and animal nutrition*. Academic Press: San Diego, CA, USA. pp. 1–137. 1986.
- Hansard, S. L.; Comar, C. L.; Plumlee, M. P. The effects of age upon calcium utilization and maintenance requirements in the bovine. *Journal of Animal Science*, 13:25-26. 1954.
- Hansard, S. L.; Crowder, H. M.; Lyke, W. A. The Biological Availability of Calcium in Feeds for Cattle. *Journal of Animal Science*, 16:437-443. 1957.
- Hansard, S. L.; Plumlee, M. P. Effects of Dietary Calcium and Phosphorus Levels upon the Physiological Behavior of Calcium and Phosphorus in the Rat. *Journal of Nutrition*, 54:17-31. 1954.
- Hansard, S. L.; Mohammed, A. S.; Turner, J. W. Gestation age effects upon maternal-fetal zinc utilization in the bovine. *Journal of Animal Science*, 27:1097–1102. 1968.
- Hartmans, J. Tracing and treating mineral disorders in cattle under field conditions. *Trace Element Metabolism in Animals*. University Park Press: Baltimore, MD, USA, pp. 261–273. 1974.
- Harvey, A. L.; Thomas, B. H.; Culbertson, C. C.; Collins, E. V. Effect of work on the calcium and phosphorus retention of percheron geldings. *Journal of Animal Science*, 2:103-111. 1943.
- Hidiroglou, M.; Proulx, J.; Jolette, J. Intraruminal selenium pellet for control of nutritional muscular dystrophy in cattle. *Journal of Dairy Science*, 68, 57-66. 1985.
- Hurley, L. S.; Keen, C. L. *Manganese. Trace elements in human and animal nutrition*. Academic Press: New York, NY, USA. pp.185–223. 1987.
- Kegley, E. B.; Spears, J. W. Immune response, glucose metabolism, and performance of stressed feeder calves fed inorganic or organic chromium. *Journal of Animal Science*, 73:2721–2726. 1995.
- Kircheggssner, M.; Weser, U. Complex-stability and copper absorption. 4. On the dynamics of copper absorption. *Z. Tierphysiol Tiererenahr Futtermittelkd.* 20:44-49. 1965.
- Lalman, D. L. Vitamin and mineral nutrition of grazing cattle. In: Doye, D.; Lalman, D. L. (Ed). *Beef cattle manual*. 5.ed. Stillwater, OK: Oklahoma State University, p.109-121. 2005.
- Leonel, F. P. *Exigências nutricionais em macronutrientes minerais (Ca, P, Mg, Na e K) para novilhos de diferentes grupos zootécnicos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2003.
- Looney, J. W.; Gille, G.; Preston, R. L.; Graham, E. R.; Pfander, W. H. Effects of plant species and cobalt intake upon cobalt utilization and ration digestibility by sheep. *Journal of Animal Science*, 42:693–698. 1976.
- Marcondes, M. I. *Desempenho de bovinos Nelore alimentados individualmente ou em grupo, exigências nutricionais e avaliação protéica de alimentos para ruminantes*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 136p. 2007.
- Marcondes, M. I. *Exigências nutricionais e predição da composição corporal de bovinos Nelore puros e cruzados*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2010.
- Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Nascimento, F. B.; Fonseca, M. A. Exigências nutricionais de proteína, energia e macrominerais de bovinos Nelore de três classes sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1587-1596. 2009.
- Marshall, B.; Long, M. I. E. Calcium intake and excretion of zebu cattle used for digestibility trials. *East African Agricultural and Forestry Journal*, 37:46-48. 1971.
- Martins, R. G. R. *Exigências de energia, proteína e macroelementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos Nelore e mestiços, não castrados, em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2003.
- McDonald, P. M.; Edwards, R. A.; Greenhalgh, J. F. D. *Animal Nutrition*. 6th edition. Longman, London and New York, 543p. 2002.
- McDowell, L. R. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Academic Press Inc. Harcourt Brace Jovanovich Publishers, San Diego, CA. 1992.
- Miller, J. K.; Cragle, R. G. Gastrointestinal sites of absorption and endogenous secretion of zinc in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 48:370–373. 1965.
- Miller, W. J.; Powell, G. W.; Hiers, J. M. Influence of zinc deficiency on dry matter digestibility in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 49:1012–1013. 1966.

- Miller, J. K.; Ramsey, N.; Madsen, F. C. The trace elements. Pp. 343-401 in *The Ruminant Animal-Digestive Physiology and Nutrition*, Church, D.C., ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1988.
- Mills, C. F.; Dalgarno, A. C.; Williams, R. B.; Quarterman, J. Zinc deficiency and zinc requirements of calves and lambs. *British Journal of Nutrition*, 21:751-768. 1967.
- Mills, C. F.; Davis, G. K. Molybdenum. Pp. 429-463 in *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. Vol.1. W. Mertz, ed. New York: Academic. 1987.
- Monroe, R. A.; Sauberlick, H. E.; Comar, C. L.; Hood, S. L. Vitamin B12 biosynthesis after oral and intravenous administration of inorganic Co60 to sheep. *Proceedings of the society for experimental biology and medicine*. New York, NY, USA, pp. 250. 1952.
- Moraes, E. H. B. K. *Desempenho e exigência de energia, proteína e minerais de bovinos de corte em pastejo, submetidos a diferentes estratégias de suplementação*. Tese (Doutor em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 136p. 2006.
- Morris, J. G. Assessment of sodium requirements of grazing beef cattle: a review. *Journal of Animal Science*, 50, 145-152. 1980.
- Morris, J. G.; Cripe, W. S.; Chapman Jr., H. L.; Walker, D. F.; Armstrong, J. B.; Alexander Jr., J. D.; Miranda, R.; Sanchez Jr., A.; Sanchez, B.; Blair-West, J. R.; Denton, D. A. Selenium deficiency in cattle associated with heinz bodies and anemia. *Science*, 223, 491-493. 1984.
- Mullis, L. A.; Spears, J. W.; McCraw, R. L. Estimated copper requirements of Angus and Simmental heifers. *Journal of Animal Science*, 81:865-873. 2003.
- NRC – National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th.ed. Washington, DC: National Academy Press. 90p. 1984.
- NRC – National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th.ed. Washington, DC: National Academy Press, 242p. 2000.
- NRC – National Research Council. *Nutrient requirements of dairy cattle*. Washington, DC, USA: National Academy Press, 362 p. 2001.
- Paixão, M. L. *Desempenho produtivo e exigências nutricionais de bovinos de corte em pastagens de brachiaria decumbens, com suplementação protéica*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2008.
- Paulino, M. F. *Composição corporal e exigências de energia, proteína e macroelementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos não-castrados de quatro raças zebuínas em confinamento*. 1996. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 80p. 1996.
- Paulino, P. V. R. *Exigências nutricionais e validação da seção hh para predição da composição corporal de zebuínos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2002.
- Peeler, H. T. Biological availability of nutrients in feeds: availability of majos mineral ions. *Journal of Animal Science*, 35, 695-712. 1972.
- Perry, T. W.; Beeson, W. M.; Smith, W. H.; Mohler, M. T. Value of zinc supplementation of natural rations for fattening beef cattle. *Journal of Animal Science*, 27:1674-1677. 1968.
- Pond, W. G.; Otjen, R. R. Response of large and medium frame beef steers to protein and zinc supplementation of a corn silage-corn finishing diet. *Nutrition Reports International*, 38:737-743. 1988.
- Prados, L. F. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de cálcio e fósforo*. 2012. 96p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2012.
- Prados, L. F.; Valadares Filho, S. C.; Santos, S. A.; Zanetti, D.; Nunes, A. N.; Costa, D. R.; Mariz, L. D. S.; Detmann, E.; Amaral, P. M.; Rodrigues, F. C.; Valadares, R. F. D. Reducing calcium and phosphorus in crossbred beef cattle diets: impacts on productive performance during the growing and finishing phase. *Animal Production Science*. <http://dx.doi.org/10.1071/AN14781>. 2015.
- Prados, L. F. *Reduction of minerals in feedlot diets of Nellore cattle: impacts on intake, performance, and liver and bone status and nutrient requirements; and prediction of chemical rib section composition by dual energy x-ray absorptiometry in Zebu cattle*. 95 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2016.

- Rodrigues, F. C. *Turnover protéico, avaliação e predição da composição química da carcaça e do corpo vazio de bovinos 3/4 Zebu x 1/4 Holandês*. 2014. 44p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2014.
- Rojas, M. A.; Dryer, I. A.; Cassatt, W. A. Manganese deficiency in the bovine. *Journal of Animal Science*, 24:664-667. 1965.
- Rosado, M. *Efeito do complexo ácido graxo-cálcio sobre a digestibilidade aparente, alguns parâmetros ruminais e taxa de passagem em vacas lactantes*. 1991. 96p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Vicosa, Vicosa. 1991.
- Sales, M. F. L. *Desempenho e exigências nutricionais de novilhos zebuínos sob pastejo*. 2008. 128p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG. 2008.
- Sansom, B. F.; Symonds, H. W.; Vagg, M. J. The absorption of dietary manganese by dairy cows. *Research of Veterinary Science*, 24:366–369. 1978.
- Sathler, D. F. T. *Efeito da suplementação mineral sobre as digestibilidades total, ruminal e intestinal em zebuínos*. 55p. Dissertação (Mestrado em zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2015.
- SCA. *Feeding standards for Australian livestock*. 1990. Ruminants. Report for the Standing Committee on Agriculture. CSIRO Publications: Melbourne, AU.
- Schroeder, H. A.; Balassa, J. J.; Tipton, I. H. Essential trace metals in man: manganese. A study in homeostasis. *Journal Chronical Disease*, 19:545–571. 1966.
- Schwarz, W. A.; Kirchgessner, M. Excretion of zinc in lactating cows receiving various supplies of zinc. *Arch Tierernähr*, 25:597–608. 1975.
- Scott, D. Control of phosphorus balance in ruminantes. In: DOBSON, A.; DOBSON, M.J. (Ed). *Aspects of Digestive Physiology in Ruminantes*. 1.ed. Ithaca, New York: Comstock Publishing Associates, 1988. p.156-174. 1988.
- Shariff, M. A.; Boila, R. J.; Wittenberg, K. M. Effect of dietary molybdenum on rumen disappearance in cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 70:319-323. 1990.
- Silva, F. F. *Desempenho, características de carcaça, composição corporal e exigências nutricionais (de energia, proteína, aminoácidos e macrominerais) de novilhos Nelore, nas fases de recria e engorda, recebendo diferentes níveis de concentrado e proteína*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 211 p, 2001.
- Smart, M. E.; Gudmundson, J.; Christensen, D.A. Trace mineral deficiencies in cattle: A review. *Canadian Veterinary Journal*, 22:372–376, 1981.
- Smith R. M. Cobalt. *Trace elements in human and animal nutrition*. Academic Press: New York, NY, USA, 185–223, 1987.
- Smith, D. J.; Oliver, C. E.; Taylor, J. B.; Anderson, R. C. Efficacy, metabolism, and toxic responses to chlorate salts in food and laboratory animals. *Journal of Animal Science*, 90:4098–4117, 2012.
- Spears, J. M.; Kegley, E. B. Effect of zinc source (zinc oxide vs. zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *Journal of Animal Science*, 80:2747-2752, 2002.
- Spears, J. W.; Harvey, R. W.; Segerson, E. C. Effect of marginal selenium deficiency on growth, reproduction and selenium status of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 63, 586-594, 1986.
- Souza, E. J. 2010. *Desempenho e exigências nutricionais de fêmeas Nelore, F1 Nagus x Nelore e F1 Simental x Nelore em dietas contendo alto e baixo nível de concentrado*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2010.
- St. Omer, V. V. E.; Roberts, W. K. Some effects of dietary potassium upon digestibility, serum electrolytes and utilization of potassium, sodium, nitrogen and water in heifers. *Canadian Journal of Animal Science*, 47:39–46, 1967.
- Sullivan, J. F.; Blotcky, A. J.; Jetton, M. M.; Hahn, H. K.; Burch, R. E. Serum levels of selenium, calcium, copper, magnesium, manganese and zinc in various human diseases. *Journal of Nutrition*, 109:1432–1437, 1979.
- Suttle, N. F. A technique for measuring the biological availability of copper to sheep, using hypocupraemic ewes. *British Journal of Nutrition*, 32:395–405, 1974.

- Suttle, N. F. The interactions between copper, molybdenum and sulfur in ruminant nutrition. *Annual Review of Nutrition*, 11:121-140, 1991.
- Suttle N. F. *Mineral nutrition of livestock*. 4th ed. CABI Publishing, Oxfordshire, UK. 579 p, 2010.
- Thomas, J. W. Metabolism of iron and manganese. *Journal of Dairy Science*, 53:107–1123, 1970.
- Valadares Filho, S. C.; Coelho Da Silva, J. F.; Leao, M. I. Absorções aparentes totais de parciais de sódio, potássio, magnésio, cobre e manganês em bovinos alimentados com ração purificada e semipurificada. In: *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: SBZ, 1991.
- Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient requirements of zebu beef cattle — BR-CORTE*. Suprema Grafica Ltda, Viçosa, Minas Gerais, Brazil. 193p, 2010.
- Valente, E. E. L. *Suplementação de bovinos de corte em pastejo com diferentes relações proteína:carboidrato da fase de amamentação ao abate*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicoso, Vicoso, MG, 2012.
- Vasconcelos, J. T.; Tedeschi, L. O.; Fox, D. G.; Galyean, M. L.; Greene, L. W. Review: Feeding nitrogen and phosphorus in beef cattle feedlot production to mitigate environmental impacts. *Professional Animal Scientist*, 23:8-17, 2007.
- Van Bruwaene, R.; Gerber, G. B.; Kirchmann, R.; Colard, J.; Van Kerkom, J. Metabolism of ⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, and ⁶⁰Co in lactating dairy cows. *Health Physiology*, 46:1069–1082, 1984.
- Veloso, C. M. *Composição corporal e exigências nutricionais de bovinos F1 Limousin x Nelore alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Vicoso, Vicoso, MG, 2001.
- Véras, R. M. L. *Consumo, digestibilidades total e parcial, produção microbiana e exigências de proteína para manutenção de bovinos Nelore*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- Underwood, E. J. *The mineral nutrition of livestock*. London: Academic Press, 111p, 1981.
- Underwood, E. J.; Suttle, N. F. *The mineral nutrition of livestock*. 3.ed. London. UK: CABI Publishing, 614 p, 1999.
- Ward, G. M. Potassium metabolism of domestic ruminants: A review. *Journal of Dairy Science*, 49:268–276, 1966.
- Weigand, E.; Kirchgessner, M. Factorial estimation of the zinc requirement of lactating dairy cows. *Z Tierphysiol Tierernahr Futtermittelkd*, 47:1–9, 1982.
- Weitzel, G.; Strecker, F.; Roester, U.; Buddecke, E.; Fretzdorff, A. Zink im Tapetum lucidum. *Hoppe–Seyler’s Z Physiologische Chemie*, 296:19–30, 1954.
- Wise, M. B.; Ordoreza, A.L.; Barrick, E. R. Influence of variations in dietary calcium:phosphorus ratio on performance and blood constituents of calves. *Journal of Nutrition*, 79:79–84, 1963.
- Wilson, B. K.; Vazquez-Anon, M.; Step, D. L.; Moyer, K. D.; Haviland, C. L.; Maxwell, C. L.; O’Neill, C. F.; Gifford, C. A., Krehbiel, C. R.; Richards, C. J. Effect of copper, manganese, and zinc supplementation on the performance, clinical signs, and mineral status of calves following exposure to bovine viral diarrhea virus type 1b and subsequent Mannheimia haemolytica infection. *Journal of Animal Science*, 94, 1123-1140, 2016.
- Wright, P. L. and Bell, M. C. Comparative metabolism of selenium and tellurium in sheep and swine. *American Journal of Physiology–Legacy Content*, 211:6-10. 1966.
- Zanetti, D. *Exigências nutricionais, frequência de alimentação e níveis de cálcio e fósforo para bovinos Holandês x Zebu em confinamento*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 78 p, 2014.

Exigências nutricionais para vacas de corte vazias e gestantes

Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho, Márcio de Souza Duarte

INTRODUÇÃO

A única categoria na qual ainda não se dispunha até então de conhecimentos mínimos sobre requerimentos nutricionais de zebuínos é a de vacas em gestação. Embora seja clara a importância do conhecimento dos requerimentos nutricionais dessa categoria, até 2013 não eram observados na literatura mundial trabalhos envolvendo a quantificação das exigências nutricionais para manutenção e gestação de vacas zebuínas. O primeiro trabalho delineado para avaliar as exigências nutricionais de vacas zebuínas adultas foi realizado no Brasil entre os anos de 2010 e 2013, cujos resultados formam a base desse capítulo.

Estima-se que o rebanho brasileiro de matrizes de corte, embora flutuante, tenha entre 65 a 70 milhões (Vasconcelos e Meneghetti, 2006) de um rebanho total de mais de 210 milhões de cabeças (IBGE, 2015). Ou seja, numericamente, cerca de 1/3 do rebanho nacional é composto por matrizes de corte, que são em sua grande maioria zebuínas. Como são animais adultos e estão permanentemente no sistema, o gasto energético no sistema produtivo e a área utilizada por essas vacas representam uma proporção bastante significativa do total usado para produção de carne bovina no Brasil. Diversas publicações já mencionaram que a energia gasta pelo rebanho de cria em bovinos de corte representa cerca de 70% do total de energia gasta no sistema (Ferrell e Jenkins, 1984a; Ritchie, 1995). Somente com a manutenção de vacas adultas se gasta algo próximo de 50% da energia do sistema (Ferrell e Jenkins, 1984b).

Com base nisso, percebe-se a importância da definição de referências de níveis nutricionais para vacas de corte adultas. Com base nos atuais índices médios de produtividade de rebanhos de corte no Brasil (Baruselli et al., 2012; ABIEC, 2013; Jank et

al., 2014; Chiavegato et al., 2015) estima-se que há um potencial de melhoria de 30 a 40% da eficiência de produção de bezerros de corte (Gionbelli et al., 2015c), considerando melhorias conjuntas em nutrição, reprodução e genética.

Outros sistemas de alimentação em uso no mundo (ARC, 1980; AFRC, 1993; NRC, 2000; CSIRO, 2007; INRA, 2007) baseiam suas recomendações para atendimento das exigências nutricionais de vacas gestantes em alguns poucos trabalhos realizados anteriormente ou em estimativas indiretas e adaptações de valores obtidos com experimentos envolvendo outras categorias ou espécies de ruminantes. O ARC (1980) baseou suas recomendações em trabalho envolvendo vacas Ayrshire e Jersey, realizado no ano de 1975, sendo que o AFRC (1993) não adotou atualizações significativas sobre a forma de calcular os requerimentos nutricionais para gestação. O NRC (2000) baseou suas recomendações nos trabalhos de Calvin Ferrell e colaboradores (Ferrell et al., 1976a; Ferrell et al., 1976b; Ferrell et al., 1976c), realizados com animais Hereford, sendo um dos poucos experimentos conhecidos no qual foi realizado abate comparativo com fêmeas em gestação. Adicionalmente, o NRC (2000) apresentou algumas sugestões de ajustes baseados no trabalho de Prior e Laster (1979), realizado com animais da raça Pardo Suíça. O sistema francês (INRA, 2007) possui estimativas de exigências nutricionais para gestação definidas desde sua edição de 1978, e baseia suas recomendações no trabalho de Ferrell et al. (1976c) e em trabalho sobre composição química de fetos bovinos realizado na França (Cano, 1995). As recomendações de requerimentos nutricionais para gestação apresentadas pelo sistema australiano (CSIRO, 2007) são baseadas nas indicações feitas pelo ARC (1980) e em ajustes e adaptações obtidos a partir de trabalhos

realizados com ovinos, que existem em maior número na literatura.

Neste capítulo serão apresentados os resultados de pesquisas recentes realizadas no Brasil para estimar as exigências nutricionais de energia e proteína para vacas zebuínas adultas para manutenção e gestação. Discussões sobre aspectos fisiológicos relacionados à partição de nutrientes por vacas gestantes em função da homeorrese, bem como revisão sobre os impactos do não atendimento das exigências nutricionais de vacas gestantes sobre o desenvolvimento da progênie em bovinos, são também apresentados.

METODOLOGIA UTILIZADA PARA ESTIMATIVA DAS EXIGÊNCIAS

Sabe-se, claramente, que fêmeas de mamíferos gestantes particionam os nutrientes disponíveis de forma a favorecer sua prole. Tal conceito foi apresentado inicialmente por Hammond (1947), que sugeriu que os diferentes tecidos competem por nutrientes circulantes com base nas suas respectivas taxas metabólicas. Esta ideia foi reforçada pela descoberta de altas taxas metabólicas do útero grávido em relação ao corpo da matriz (Meschia et al., 1980). Entretanto, pesquisas recentes têm se concentrado na regulação endócrina dos tecidos ao invés da competição como um mecanismo explicativo de forma geral (Bauman, 2000; Mamontov, 2007). Esta forma de pensamento advém do conceito de “homeorrese”, elaborado por Bauman e Currie (1980). Este conceito sugere que há uma influência simultânea de múltiplos tecidos implicando mediação extracelular para que o metabolismo atenda às demandas de forma mais coerente em níveis que otimizem a oportunidade do feto crescer e sobreviver no pós-natal, e minimizando a excessiva depleção das reservas maternas de energia e proteína.

Embora existam modelos matemáticos para tentar explicar a homeorrese (Mamontov, 2007; Psiuk-Maksymowicz e Mamontov, 2008), a aplicação dos mesmos ao particionamento de nutrientes em fêmeas bovinas gestantes ainda está distante do que se pode propor para estimativa das exigências nutricionais. Sabe-se que há ampla interação entre tecidos maternos e o útero gravídico, que implicam em modificações na eficiência de uso

dos nutrientes por parte dos tecidos maternos. No entanto, a base da estimativa de exigências nutricionais para vacas zebuínas gestantes que será utilizada aqui, é um modelo fatorial, onde exigências para manutenção, acúmulo de reservas corporais e crescimento do útero grávido e formação fetal não interagem entre si, mas, são consideradas somativas. Tal metodologia é semelhante às utilizadas pelos outros sistemas nutricionais. Serão apresentadas, portanto, exigências adicionais para gestação em vacas zebuínas, de forma somativa às exigências para manutenção e acúmulo de reservas corporais. Isso não quer dizer, no entanto, que as estimativas usadas não sejam acuradas. A metodologia que aqui se utiliza permite estimar que o resultado quantitativo da interação entre tecidos maternos e tecidos gestacionais seja calculado como exigências para gestação, somando-se ao acúmulo líquido em tecidos gestacionais e o gasto para síntese dos tecidos gestacionais.

O experimento base desse capítulo foi realizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), entre os anos de 2010 e 2011 (Gionbelli, 2013). Quarenta e nove vacas zebuínas, com grau de sangue predominantemente Nelore, foram obtidas do rebanho da UFV e de dois outros rebanhos comerciais, com o objetivo de representar o rebanho nacional de bovinos de corte. Tais vacas foram utilizadas num experimento de abate comparativo, com delineamento semelhante ao trabalho realizado por Calvin Ferrell e seus colaboradores (Ferrell et al., 1976a; Ferrell et al., 1976b; Ferrell et al., 1976c), que serve de base para estimativa das exigências nutricionais de vacas gestantes nos sistemas alimentares que utilizam bovinos taurinos como base. Um grupo de 17 vacas foi mantido sob mesmos tratamentos das outras 32 vacas gestantes (em diferentes níveis alimentares), de modo a estimar de maneira comparativa os requerimentos para manutenção, ganho de tecidos maternos e gestação. As 32 vacas gestantes foram abatidas em quatro diferentes estágios de gestação (136, 189, 239 e 269 dias de gestação) para avaliar o acúmulo de nutrientes e energia no útero grávido e nos tecidos maternos, e assim ajustarem-se modelos matemáticos que pudessem ser usados para estimar as exigências líquidas para gestação.

Para estimativas dos acúmulos de energia e proteína relacionadas à gestação ou aos tecidos maternos adotou-se o conceito de

componente gestação (GEST), apresentado por Gionbelli et al. (2015a) e discutido no Capítulo 1. O GEST representa as quantidades reais de componentes que crescem diretamente relacionados à gestação. Isso inclui o útero grávido menos o peso estimado do útero não grávido mais o crescimento da glândula mamária relacionado à gestação. Assim, as quantidades de energia e proteína no corpo total de uma vaca gestante seguem a seguinte relação:

$$CTV = TM + GEST \quad \text{Eq.10.1}$$

em que CTV = corpo total da vaca, TM = tecidos maternos (carcaça, vísceras, couro, sangue, cabeça, patas, úbere, além do útero não grávido menos o acréscimo no úbere relacionado com a gestação) e GEST = componente gestação. Uma descrição completa das relações que formam a base das estimativas de exigências nutricionais de vacas gestantes e não gestantes é apresentada na Tabela 10.1. As estimativas para as exigências nutricionais de vacas zebuínas gestantes e não gestantes discutidas a seguir são oriundas de trabalhos recentemente publicados sobre o assunto (Gionbelli, 2013; Gionbelli et al., 2013; Gionbelli et al., 2014; Gionbelli et al., 2015a; Gionbelli et al., 2015b).

CONSUMO DE MATÉRIA SECA EM VACAS ZEBUÍNAS ADULTAS

Em mamíferos de estômago simples, há aumento da ingestão de alimentos durante a gestação para coincidir com as altas

exigências nutricionais de grandes ninhadas ou mesmo fetos simples. Em porcas esse efeito é bastante pronunciado ao ponto de, adotarem-se na prática, dietas ricas em fibras durante a gestação com objetivo de evitar acréscimo excessivo de gordura corporal (Forbes, 2007). Em ruminantes, é sugerido que as fêmeas possam aumentar a ingestão voluntária de alimentos na metade da gestação, porém, esse aumento é muito menos pronunciado do que em porcas e muitas vezes não é notado (Ingvarlsen e Andersen, 2000). Forbes (1996) relatou também que vacas e ovelhas tendem a aumentar, por ficarem mais seletivos, o consumo voluntário de alimentos de maior qualidade nutricional, quando o final da gestação se aproxima. Por outro lado, porém, há redução notável no consumo nas semanas finais da gestação de bovinos, o que é facilmente perceptível.

Ingvarlsen et al. (1992) mostraram um quadro contendo 20 grupos de vacas de nove publicações, onde observam-se variações no consumo nas últimas semanas que vão desde aumento de 0,2%/semana até redução de 9,4%/semana. Os mesmos autores também verificaram que novilhas reduziram o consumo voluntário nas últimas 14 semanas de gestação em 1,53%/semana, com aumento dessa taxa nas duas últimas semanas, e cerca de 30% de redução nos cinco dias que antecedem o parto. As variações observadas no consumo durante a gestação também podem ser diferentes para vacas e novilhas (Ingvarlsen e Anderson, 2000).

Tabela 10.1 - Partição das exigências nutricionais de vacas zebuínas gestantes e não gestantes pelo método fatorial testadas para esta edição do BR-CORTE

<i>Recuperada</i>	<i>Líquida</i>	<i>Metabolizável</i>	<i>Digestível</i>
Mantença			
-	$ELm = f(PCVZ^{0,75})$ $PLm = \beta_0$ da relação $(PRct/d) = \beta_0 + \beta_1 \times CPM$	$EMm = f(PCVZ^{0,75})$ $EMm = ELm / km$ $PMm = \beta_0$ da relação $CPM = \beta_0 + \beta_1 \times rGPCVZ$ $PMm = PLm / zm$	
Gestação			
$ERgest = f(DG)$ $NRgest = f(DG)$	$ELgest =$ primeira derivada de $ERgest$ $PLgest =$ primeira derivada de $NRgest$	$EMgest = ELgest / kgest$ $kgest_1 = ELgest / (CEM - EMm - EMg)$ $kgest_2 = (1/\beta_2)$ da relação $CEM = \beta_0 + \beta_1 \times ERct + \beta_2 \times ERgest$ $PMgest = PLgest / zgest$ $zgest_1 = PLgest / (CPM - PMm - PMg)$ $zgest_2 = (1/\beta_2)$ da relação $CPM = \beta_0 + \beta_1 \times PRct + \beta_2 \times PRp$	$ED = EMt / q$ $q = (EB - EU - E) / EB$ $NDT = ED / 4,4$
Ganho de peso			
$ERct = f(PCVZng)$ $NRct = f(PCVZng)$	$ELg =$ primeira derivada de $ERct$ $ELg = f(PCVZng^{0,75}, rGPCVZ)$ $PLg =$ primeira derivada de $NRct \times 6,25$ $PLg = f(PCVZng^{0,75}, rGPCVZ)$ $PLg = f(ELg, rGPCVZ)$	$EMg = ELg / kg$ $kg = \beta_1$ da relação $(ERct/d) = \beta_0 + \beta_1 \times CEM$ $PMg = PLg / zg$ $zg = \beta_1$ da relação $(PRct/d) = \beta_0 + \beta_1 \times CPM$	$PDR = PBmic$ $PNDR = ((PMt - (PBmic \times 0,64)) / 0,8)$ $PB = PDR + PNDR$
Total			
$ERt = ERgest + ERct$ $NRt = NRgest + NRct$	-	$EMt = EMm + EMgest + EMg$ $PMt = PMm + PMgest + PMg$	

Abreviações: PB = proteína bruta, ED = energia digestível, DG = dias em gestação, PCVZ = peso de corpo vazio, PCVZng = peso de corpo vazio em condição de não gestação, ME = energia via metano, EB = energia bruta, $kgest$ = eficiência parcial do uso da energia metabolizável para gestação, kg = eficiência parcial do uso da energia metabolizável para ganho, km = eficiência parcial do uso da energia metabolizável para manutenção, MEg = energia metabolizável para ganho, CEM = consumo de energia metabolizável, EMm = energia metabolizável para manutenção, EMgest = energia metabolizável para gestação, PMg = proteína metabolizável para ganho, CPM = consumo de proteína metabolizável, PMm = proteína metabolizável para manutenção, PMgest = proteína metabolizável para gestação, ELg = energia líquida para ganho, ELm = energia líquida para manutenção, ELgest = energia líquida para gestação, PLg = proteína líquida para ganho, PLm = proteína líquida para manutenção, PLgest = proteína líquida para gestação, PBmic = proteína bruta microbiana, q = metabolizabilidade da energia, PDR = proteína degradada no rúmen, rGPCVZ = ganho de peso de corpo vazio real, ERct = energia recuperada nos tecidos corporais de vacas, ERgest = energia recuperada nos componentes da gestação, NRct = N recuperado nos tecidos corporais de vacas, NRgest = N recuperado nos componentes da gestação, PRct = proteína recuperada nos tecidos corporais de vacas, PNDR = proteína não degradável no rúmen, NDT = nutrientes digestíveis totais, EMt = energia metabolizável total, PMt = proteína metabolizável total, ERT = energia recuperada total, NRt = N recuperado total, EU = energia via urina, $zgest$ = eficiência parcial do uso da proteína metabolizável para gestação, zg = eficiência parcial do uso da proteína metabolizável para ganho e zm = eficiência parcial do uso da proteína metabolizável para manutenção

Fatores reguladores de consumo em vacas gestantes

A regulação da ingestão de alimentos por vacas em gestação pode apresentar fatores físicos e fisiológicos que não são contemplados em modelos tradicionais de regulação da ingestão de alimentos em ruminantes (Forbes, 1980; Fisher et al., 1987). Essas particularidades, como a influência do peso do bezerro na redução da capacidade ruminal, a regulação hormonal da gestação, ou ainda o mecanismo homeorrético de utilização dos nutrientes, são difíceis de modelar e são as principais causas das variações no consumo voluntário observado nesse estágio fisiológico de bovinos. Dentre os vários fatores envolvidos na regulação da ingestão de alimento por vacas gestantes podem-se destacar:

Fatores físicos: Tem sido sugerido que a redução na ingestão de alimentos, observada no final da gestação, pode ser causada devido à compressão do rúmen pelo útero em crescimento e agravada pela gordura abdominal (Forbes, 2007). O deslocamento do rúmen em função do crescimento do feto em ovinos foi ilustrado graficamente por Forbes (1968), que abateu ovelhas em diferentes estágios de gestação, congelou-as inteiramente, cortou seções transversas do abdômen e fotografou. Forbes (1969) observou uma relação negativa entre o volume de conteúdo ruminal no momento do abate (VR, litros) e o volume de conteúdo compressível ruminal (útero grávido + gordura abdominal, CCR, litros), em ovelhas alimentadas com feno, conforme a seguinte relação: $VR = 10,3 - 0,37 \times CCR$. Ainda no mesmo trabalho, o consumo de matéria seca (CMS, kg/dia) durante as duas últimas semanas antes do abate foi positivamente relacionado ao VR (litros) no momento do abate: $CMS = 0,48 + 0,033 \times VR$. A queda no consumo de alimentos foi proporcionalmente menor do que a do volume ruminal, provavelmente como resultado do aumento da taxa de passagem como fator de compensação para a redução do volume ruminal. Posteriormente, outros estudos (Kaske e Groth, 1997; Gunter et al., 1990; Coffey et al., 1989) confirmaram a teoria de que a gestação aumenta a taxa de passagem da digesta em ovinos, provavelmente como fator

compensador da compressão ruminal pelo útero grávido.

Em vacas, Lagerlof (1929) relatou aumento da quantidade de gordura abdominal e compressão física do rúmen pelo útero. Lamberth (1969) realizou dois experimentos para comparar o efeito da gestação sobre o consumo voluntário, a digestibilidade e a taxa de passagem da matéria seca em novilhas. Os dois experimentos foram realizados utilizando-se pares de novilhas gêmeas, com uma de cada par estando gestante e outra não. A digestibilidade da matéria seca foi menor nas novilhas gestantes, causando também uma redução na ingestão de matéria seca digestível. As medidas de volume ruminal e taxa de passagem não geraram resultados conclusivos.

Estas informações fornecem evidências suficientes para que se possa afirmar que há um efeito físico da gestação sobre a redução do consumo de matéria seca de vacas e ovelhas no final da gestação. Porém, é improvável que a diminuição do volume ruminal seja a única causa para a queda no consumo. Coppock et al. (1974) observaram que a redução no consumo de matéria seca de vacas no final da gestação foi mais pronunciado quando a dieta continha altos níveis de concentrado, comparado à dietas com menor nível. Portanto, é provável que outros fatores também estejam envolvidos na redução do consumo no final da gestação. Além disso, é importante observar que os efeitos de compressão física coincidem com as mudanças nos fatores endócrinos e reservas corporais, mediadas em resposta ao avanço da gestação e preparação para uma lactação futura.

No parto, a cavidade abdominal é aliviada pela saída do líquido amniótico, feto e membranas fetais, sendo essa diminuição na ordem de 70 kg para vacas leiteiras e 50 kg para vacas de corte. O desaparecimento de uma massa tão grande da cavidade abdominal deveria permitir um aumento rápido no consumo voluntário de alimentos nos primeiros dias após o parto, caso a compressão física fosse o único fator que causasse a redução no consumo. Em geral, nenhum aumento rápido da ingestão de matéria seca é observado logo após o parto, sendo esse aumento relativamente lento, até mesmo em relação ao aumento na produção de leite (Friggens et al., 1998).

Fatores fisiológicos: Uma série de fatores endócrinos, metabólicos e comportamentais estão relacionados com a variação da ingestão de alimentos durante a gestação em vacas. Sugere-se que o principal hormônio atuante na redução do consumo seja o estrógeno (Forbes, 2007). No momento do cio na vaca, um pico de estrógeno coincide com baixa ingestão de alimentos que, nesse caso, é temporária (Forbes, 2007). Durante a gestação, entretanto, os níveis plasmáticos de estrógeno aumentam para cerca de 300 pg/ml durante o primeiro semestre de gestação e mantêm-se estáveis até um mês antes do parto, quando os níveis se elevam até 4000-6000 pg/ml nos últimos dias antes do parto. Este aumento nos dias que antecedem o parto que correlaciona-se com a redução do consumo.

A progesterona parece não ter um efeito direto sobre o consumo de alimentos em bovinos (Ingvarsen e Andersen, 2000), porém, por bloquear os efeitos do estrógeno (Gagliostro et al., 1991), pode reduzir os efeitos deste na redução do consumo. Bargeloh et al. (1975) infundiram diariamente progesterona ao nível de 0,25 mg/kg em vacas no final da gestação e observaram maior consumo de matéria seca das vacas tratadas em relação às não tratadas (17,1 kg/dia vs 11,7 kg/dia, respectivamente) nos últimos 6 dias de gestação. Houve também prolongamento da gestação em algumas vacas que receberam as doses de progesterona, causando problemas e dificultando o uso comercial de algum desse tipo de infusão hormonal.

Fatores metabólicos: Um desbalanço entre os nutrientes requeridos pela mãe e pelo feto durante o final da gestação também pode reduzir a ingestão de alimento pelas fêmeas ruminantes nessa fase. Barry e Manley (1986) infundiram glicose e caseína no abomaso de ovelhas gestantes e observaram aumento do consumo voluntário quatro semanas antes do parto nas ovelhas infundidas, havendo posteriormente, redução mais pronunciada do consumo do que nos animais não infundidos. Os autores sugeriram que o efeito do maior consumo nos animais infundidos causou maior depressão pré-parto no consumo, enquanto que nos animais não infundidos, o consumo foi limitado pelo desbalanço da dieta e pelos demais fatores presentes no final da gestação.

Fatores comportamentais: Preocupação e desconforto com a necessidade de procurar um local adequado para o parto também são sugeridos como fatores que reduzem o consumo de alimentos por vacas gestantes no final da gestação. Mudanças endócrinas associadas com o parto (corticosteróides, prostaglandinas, ocitocina, relaxina, etc.) também podem estar correlacionadas (Forbes, 2007).

Consumo de matéria seca por vacas zebuínas gestantes

Uma representação gráfica do consumo de matéria seca (CMS) por vacas zebuínas gestantes é apresentada na Figura 10.1 (Gionbelli, 2013). O efeito da gestação sobre o consumo voluntário de matéria seca foi avaliado, comparando-se o consumo de vacas gestantes e não gestantes recebendo dieta com alto nível de volumoso (85%) por período de duração semelhante. O ajuste de modelos segmentados foi testado, para verificar o decréscimo no CMS a partir de determinado período de gestação. Observou-se redução linear (parâmetros quadrático e cúbico também foram testados) no consumo de matéria seca em proporção do peso corporal por vacas zebuínas gestantes ($P < 0,05$) a partir de 131 dias de gestação (decréscimo de 0,0204 gramas de matéria seca por kg de PCJ para cada dia de gestação além de 135 dias). Conforme descrito nos itens posteriores, para essa edição do BR-CORTE, optou-se por considerar as exigências para gestação em vacas zebuínas a partir de 135 dias de gestação (4,5 meses). Dessa forma, um modelo de redução do CMS em função dos dias de gestação foi ajustado para vacas zebuínas adultas, a partir dos 135 dias de gestação. Portanto, as equações propostas para descrever o CMS de vacas zebuínas gestantes devem ser:

$$\text{CMS}_{\text{gest}} \text{ (g/PCJ)} = \text{CMS}_{\text{ng}} - 0,02 \times (\text{TG} - 135)$$

Eq. 10.2

$$\text{CMS}_{\text{gest}} \text{ (kg/dia)} = \text{CMS}_{\text{ng}} - (\text{PCJ} \times 0,00002 \times (\text{TG} - 135))$$

Eq. 10.3

em que: CMSgest = consumo de matéria seca após 135 dias de gestação (em g/PCJ ou em kg/dia), CMSng = consumo de matéria seca não gestante ou até 135 dias de gestação (em g/PCJ para a Equação 10.2 e em kg/dia para a Equação 10.3), TG = tempo de gestação (dias) e PCJ = peso corporal em jejum (kg).

As equações acima apresentadas podem ser utilizadas para qualquer rebanho em qualquer situação, pois envolvem apenas

ajuste do consumo de matéria seca em função do avançar da gestação. Ainda não está disponível uma equação padronizada para estimar o consumo de matéria seca de vacas zebuínas adultas não gestantes, que depende certamente de características do animal e da qualidade e disponibilidade da forragem (e suplemento).

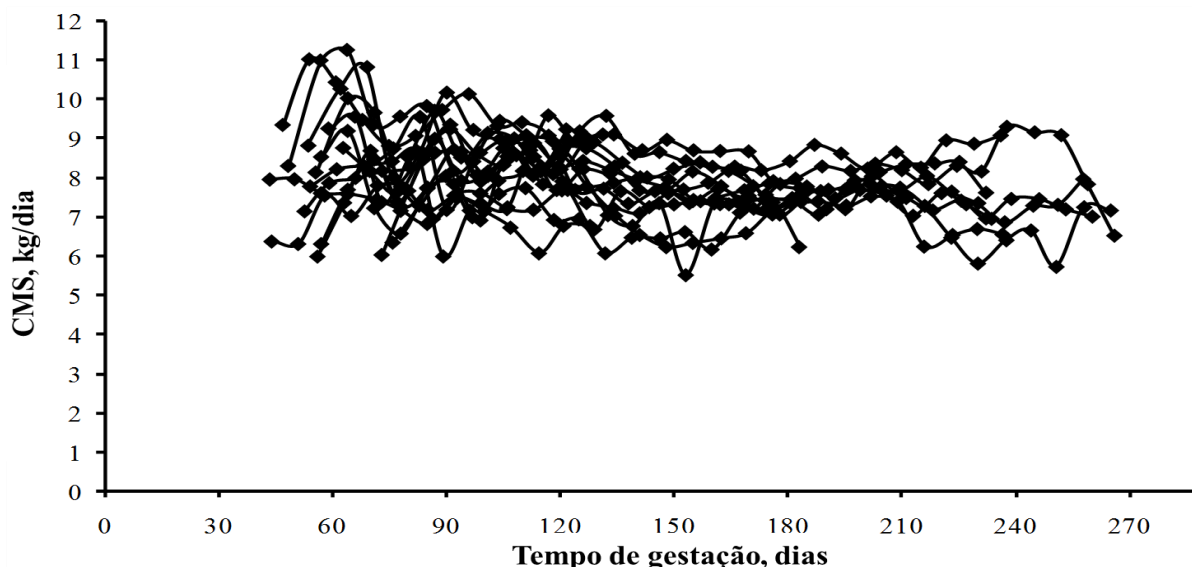


Figura 10.1 - Relação entre consumo de matéria seca e dias de gestação em vacas zebuínas gestantes.

EXIGÊNCIAS PARA MANTENÇA

Exigência de energia para manutenção

As exigências de energia líquida para manutenção (ELm, kcal/PCVZng^{0,75}/dia) foram estimadas a partir da relação entre a produção de calor (PCalor, kcal/PCVZng^{0,75}/dia) e o consumo de energia metabolizável (CEM, kcal/PCVZng^{0,75}/dia), utilizando um modelo exponencial, da mesma forma que para animais em crescimento e terminação. O modelo obtido com base nos dados de Gionbelli (2013) é o seguinte:

$$PCalor = 85,9 \times \exp^{(0,0028 \times CEM)} \quad \text{Eq. 10.4}$$

O valor de ELm é correspondente ao intercepto da Equação 10.4, representando a quantidade de calor produzida em absoluto jejum. Ainda com base na Equação 10.4, são estimadas as exigências de energia metabolizável para manutenção (EMm,

kcal/PCVZng^{0,75}/dia), por meio de um processo iterativo para igualar a PCalor e o CEM. A EMm representa o ponto em que o calor produzido pelo animal é igual à energia metabolizável consumida. Assim, as estimativas de ELm e EMm para vacas zebuínas adultas podem ser obtidas pelos modelos apresentados abaixo:

$$ELm(kcal / dia) = 85,9 \times PCVZ^{0,75} \quad \text{Eq. 10.5}$$

$$EMm(kcal / dia) = 120 \times PCVZ^{0,75} \quad \text{Eq. 10.6}$$

em que PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

A eficiência parcial de uso da energia metabolizável para manutenção (*km*) é obtida através da razão entre ELm e EMm (85,9/120), correspondendo a 0,72 ou 72%. Uma vez que é muito difícil modelar as exigências de energia metabolizável para manutenção para vacas gestantes, da mesma maneira que Ferrell et al.

(1976c), assume-se que o *km* não varia entre vacas gestantes e não gestantes. Robinson et al. (1980) também sugeriu que o valor de *km* é similar entre animais gestantes e outras categorias.

O experimento usado como base para as estimativas de exigências de energia para vacas zebuínas (Gionbelli et al., 2015a) foi realizado com vacas em confinamento para garantir o controle experimental necessário a um estudo desse tipo. As estimativas de exigências de energia apresentadas no Capítulo 7 mostram que bovinos de corte criados em condições tropicais em pastejo apresentam EMm 8,5% superiores àqueles criados em confinamento. Como vacas de corte em cria são rotineiramente mantidas a pasto em condições tropicais, sugere-se o acréscimo de 8,5% no valor de EMm calculado para esta categoria ($120 \times 1,085$), sendo:

$$EMm \text{ (kcal / dia)} = 130 \times PCVZ^{0,75} \quad \text{Eq. 10.7}$$

em que PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

O valor de EMm estabelecido para vacas zebuínas vazias e gestantes nessa edição do BR-CORTE é igual a EMm de uma novilha zebuína em crescimento, com ganho médio diário de 0,375 kg (o *km*, usado no cálculo da EMm de animais em crescimento, leva em consideração a taxa de ganho de peso – vide Capítulo 7). Já uma novilha em crescimento com ganho médio diário de 1 kg tem EMm igual a 119 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, valor inferior à EMm de uma vaca adulta vazia ou gestante.

Embora existam evidências de que as exigências para manutenção (por unidade de tamanho metabólico, PCVZ^{0,75}) possam aumentar

até 50% no final da gestação em bovinos de corte (Brody, 1964; Ferrell et al., 1976c; BCNRM, 2016), tal acréscimo não tem sido diretamente considerado nos experimentos de abate comparativo realizados com vacas gestantes (Ferrell et al., 1976c; Gionbelli et al., 2015b). Nesses casos, o gasto energético adicional para manutenção que é relativo à gestação é quantificado no cálculo das exigências nutricionais para gestação, conforme metodologia apresentada nesse capítulo (Tabela 10.1). Assim, torna-se possível calcular separadamente os requerimentos nutricionais de maneira fatorial, para manutenção, acúmulo de tecidos maternos e gestação, conforme já discutido.

Quando comparada à EMm para vacas zebuínas lactantes (135,4 kcal/PCVZ^{0,75}/dia; Capítulo 11), o valor de EMm apresentado para vacas vazias ou gestantes é 4% menor. Uma compilação de trabalhos realizada pelo sistema americano (BCNRM, 2016) sugere que a exigência de manutenção para vacas lactantes é cerca de 20% maior (variação de 10 a 49%) do que para em vacas não lactantes em raças bovinas para corte.

Os valores de EMm estimados para vacas zebuínas não gestantes e não lactantes são cerca de 5% menores do que os valores de EMm estimados para vacas taurinas (cruzas de Angus-Hereford) da mesma categoria (Tabela 10.2). Em comparação aos valores de EMm estimados para vacas taurinas de grande porte (continentais), os valores de EMm de vacas zebuínas não gestantes e não lactantes são cerca de 14% menores, para vacas de mesmo peso (considerando dados de C.L. Ferrell e T.G. Jenkins, não publicados, citados pelo BCNRM, 2016).

Tabela 10.2 - Exigências de energia metabolizável para manutenção estimadas para vacas zebuínas e taurinas de corte com 450 e 600 kg de peso corporal

Subespécie	PC, kg	PCJ, kg	PCVZ, kg	UTM, kg	EM _m , Mcal/dia	%
<i>Bos indicus</i>	450	438 ¹	397 ³	89 ⁵	11,6 ⁵	94 ⁷
<i>Bos taurus</i>	450	432 ²	368 ⁴	98 ⁶	12,3 ⁶	100
<i>Bos indicus</i>	600	589 ¹	536 ³	111 ⁵	14,5 ⁵	95 ⁷
<i>Bos taurus</i>	600	576 ²	490 ⁴	121 ⁶	15,3 ⁶	100

PC = peso corporal, PCJ = peso corporal em jejum, PCVZ = peso de corpo vazio, UTM = unidade de tamanho metabólico e EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; ¹PCJ = $0,8084 \times PC^{1,0303}$ (Capítulo 1); ²PCJ = $0,96 \times PC$ (NRC); ³PCVZ = $0,8424 \times PCJ^{1,0122}$ (Capítulo 1); ⁴PCVZ = $0,851 \times PCJ$ (NRC); ⁵EMm = $130 \times PCVZ^{0,75} / 1000$; ⁶EMm = $126 \times PC^{0,75} / 1000$, para vacas Angus-Hereford, dados de C.L. Ferrell e T.G. Jenkins, não publicados, citados no NRC (2000); ⁷Como % da EMm de vacas taurinas.

Exigências de proteína para manutenção

Assim como as exigências de energia para manutenção, as exigências de proteína para manutenção foram calculadas a partir do banco de dados de vacas não gestantes e não lactantes do experimento de Gionbelli (2013). A exigência de proteína metabolizável para manutenção (PMm, g/dia) foi obtida a partir da relação entre o consumo de proteína metabolizável (CPM, g/dia), a proteína retida nos tecidos maternos (PRtm, g/dia) e o peso corporal em jejum médio metabólico (PCJ^{0,75}), mostrada na Equação 10.8. Com base na Equação 10.8, o CPM necessário para manter o conteúdo corporal de proteína estável é igual a 3,93 gramas por kg de PCJ^{0,75}, que representa o valor de PMm para vacas zebuínas não gestantes e não lactantes. Este valor é muito próximo ao valor de PMm recomendado para animais em crescimento criados em condições de pastejo (Capítulo 8, PMm, g/dia = 3,9 x PCJ^{0,75}). Devido à pequena diferença numérica, o mesmo valor de PMm é também sugerido para vacas zebuínas (Equação 10.9).

$$CPM = 3,93 \times PCJ^{0,75} + 2,63 \times PRtm \quad \text{Eq. 10.8}$$

$$PMm \text{ (g / dia)} = 3,9 \times PCJ^{0,75} \quad \text{Eq. 10.9}$$

em que CPM = consumo de proteína metabolizável (g/dia), PCJ = peso corporal em jejum (kg) e PRtm = proteína retida nos tecidos maternos (g/dia).

EXIGÊNCIAS PARA GANHO DE TECIDOS MATERNOS

As exigências nutricionais para ganho de tecidos maternos foram estimadas de acordo com a taxa diária de acúmulo de tecidos maternos (GMD relativo a tecidos maternos – vide Capítulo 1) e o Escore de Condição Corporal (ECC). Permite-se assim, usar essas estimativas para rebanhos com peso à maturidade variáveis. Apesar de representar parametrização de um conjunto de avaliações subjetivas, o ECC é uma ferramenta de alta significância prática e comprovadamente relacionada às variações da

composição corporal de vacas adultas (NRC, 2000).

Cabe ressaltar também que, conforme a metodologia proposta na Tabela 10.1, as exigências para ganho de peso de vacas gestantes e não gestantes são consideradas similares, embora possa haver efeito de metabolismo homeorrético (Hammond, 1947). No entanto, Gionbelli et al. (2015b) não observaram efeito da gestação sobre a dinâmica da deposição de tecidos maternos (P=0,388), indicando que, quantitativamente, a composição do ganho de tecidos maternos de vacas gestantes e não gestantes é similar. Isso sustenta o uso do modelo fatorial para cálculo das exigências nutricionais de vacas zebuínas, no qual exigências para manutenção, ganho de tecidos maternos e gestação são calculadas independentemente e somadas para calcular as exigências totais.

Exigências de energia para ganho

As exigências nutricionais de energia líquida para ganho de peso de vacas adultas (ELg, Mcal/dia), são calculadas através da seguinte equação:

$$ELg = 3,82 \times GPCVZng^{1,07} \times ECC^{0,35} \quad \text{Eq. 10.10}$$

em que GPCVZng = ganho de peso de corpo vazio não gestante (kg), que considera o ganho de peso relativo a tecidos maternos da vaca (para vacas não gestantes é igual ao GPCVZ) e ECC = escore de condição corporal da vaca (escala de 1 a 9).

Com base na Equação 10.10, a exigência líquida de energia para ganho de peso de duas vacas adultas, com ECC de 5, mas com pesos diferentes (ex.: 500 e 600 kg) é a mesma, pois pressupõe-se que a composição corporal de ambas é proporcional ao ECC e se o peso a um mesmo ECC for diferente, significa que o peso maduro do rebanho ao qual fazem parte é diferente. Isso ocorre porque a ELg é calculada com base nas variações da composição corporal e, conseqüentemente, da composição do ganho. O expoente 1,07 do GPCVZ significa que a composição do ganho varia em função da taxa diária de acúmulo de reservas. Para taxas

maiores de GMD, maior proporção de gordura será depositada e, conseqüentemente, maior será a ELg por kg de ganho. Uma

exemplificação de aplicação da Equação 10.10 é apresentada a seguir.

Tabela 10.3 - Exigências líquidas de energia para ganho de peso de vacas adultas de diferentes escores de condição corporal e a diferentes taxas de ganho de peso

ECC	GMD, kg	GPCVZ, kg ¹	ELg, Mcal/dia	ELg/kg GPCVZ, Mcal
3	0,2	0,19	0,94	4,99
3	0,5	0,48	2,54	5,33
3	0,8	0,77	4,23	5,51
5	0,2	0,19	1,12	5,97
5	0,5	0,48	3,04	6,37
5	0,8	0,77	5,06	6,59
7	0,2	0,19	1,26	6,71
7	0,5	0,48	3,41	7,17
7	0,8	0,77	5,69	7,41

ECC = escore de condição corporal, GMD = ganho médio diário, GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio e ELg = exigência líquida de energia para ganho de peso; ¹GPCVZ = 0,963×GMD^{1,0151} (Capítulo 1).

A concentração de energia no ganho para vacas adultas apresentada na Tabela 10.3 é, em geral, maior do que para animais em crescimento (Capítulo 7) para ECC ≥ 4. Vacas com ECC < 4 apresentam considerável proporção de tecido magro na composição do ganho. Tal fato ocorre, provavelmente, porque embora tenham teoricamente atingido a maturidade fisiológica, a quantidade de tecido muscular esquelético na carcaça está abaixo da regular, devido à mobilização para atendimento das exigências de gestação, lactação ou até mesmo manutenção. Existem evidências de grande mobilização de tecido muscular esquelético na carcaça de fêmeas ruminantes adultas para atender a grande demanda de aminoácidos para placenta nos estágios finais da gestação (Bell et al., 2000; Bell e Ehrhardt, 2000; Bell et al., 2005).

As exigências líquidas de energia para acúmulo de reservas aqui apresentadas para vacas zebuínas são similares àquelas para vacas taurinas apresentadas pelo Sistema americano (BCNRM, 2016), considerando ainda as variações de ECC. Segundo a 8ª edição desse Sistema (BCNRM, 2016), uma vaca adulta com ECC = 5, independente do peso à maturidade, requer 6,38 Mcal para cada kg de GPCVZ. Já os dados apresentados nessa edição do BR-CORTE para vacas zebuínas mostram que uma vaca zebuína adulta com ECC = 5, independente do peso à maturidade, requer entre 5,97 e 6,69 Mcal por kg de GPCVZ, dependendo da taxa de ganho de peso (nesse caso, 5,97 Mcal/kg GPCVZ para GPCVZ = 0,2 kg/dia e 6,69 Mcal/kg GPCVZ

para GPCVZ = 1,0 kg/dia). Tal variação na composição do ganho em função da taxa de ganho, no entanto, não é contemplada pelo Sistema americano.

A eficiência parcial para conversão de energia metabolizável em energia líquida (kg) para ganho de peso sugerida para vacas zebuínas adultas é de 0,53 (Gionbelli et al., 2015b). Assim, o cálculo das exigências de energia metabolizável para ganho de peso de tecidos maternos (EMg, Mcal/dia) para vacas zebuínas adultas pode ser realizado de acordo com a Equação 10.11:

$$EMg = ELg/0,53 \quad \text{Eq. 10.11}$$

em que EL_g = exigência de energia líquida para ganho (Mcal/dia).

Exigências de proteína para ganho

As exigências líquidas de proteína para ganho de peso de vacas adultas (PLg, g/dia) foram estimadas por um modelo linear que leva em consideração o GPCVZ e a ELg. Dessa forma, contempla-se também o efeito do ECC sobre a composição de proteína no ganho, que reduz conforme aumenta o ECC. A equação que descreve as exigências de PLg (g/dia) é apresentada a seguir:

$$PLg = 307 \times GPCVZng - 34 \times ELg \quad \text{Eq. 10.12}$$

em que $GPCVZ_{ng}$ = ganho de peso de corpo vazio não gestante (kg) e ELg = exigência de energia líquida para ganho de peso (Mcal/dia).

Um exemplo de aplicação da Equação 10.12 é apresentado na Tabela 10.4. Comparando-se a PLg de uma vaca zebuína adulta e uma novilha em crescimento (350 kg) com ganho médio diário de 0,5 kg/dia, o valor médio de PLg de uma vaca com $ECC = 5$ é cerca de 40%

inferior ao de uma novilha zebuína em crescimento. Tal fato é explicado pela variação na composição do ganho, visto que novilhas em crescimento têm maior proporção de ganho de tecido magro do que vacas adultas em ECC médio. Ainda de acordo com a Equação 10.12 e a Tabela 10.4, observa-se que quanto maior o ECC , menor o ganho diário proporcional de proteína, chegando a níveis irrisórios com $ECC > 6$.

Tabela 10.4 - Exigências líquidas de proteína para ganho de peso de vacas adultas de diferentes escores de condição corporal e a diferentes taxas de ganho de peso

ECC	GMD, kg	GPCVZ, kg ¹	PLg, g/dia	% de Proteína no GPCVZ
3	0,2	0,19	26	13,7
3	0,5	0,48	60	12,6
3	0,8	0,77	92	12,0
5	0,2	0,19	20	10,4
5	0,5	0,48	43	9,0
5	0,8	0,77	64	8,3
7	0,2	0,19	15	7,9
7	0,5	0,48	30	6,3
7	0,8	0,77	42	5,5

ECC = escore de condição corporal, GMD = ganho médio diário, $GPCVZ$ = ganho de peso de corpo vazio e PLg = exigência líquida de proteína para ganho de peso; ¹ $GPCVZ = 0,963 \times GMD^{1,0151}$ (Capítulo 1).

Para conversão das exigências líquidas de proteína para acúmulo de tecidos maternos em exigências de proteína metabolizável, usa-se a eficiência de uso de proteínas absorvidas (k) que para vacas zebuínas adultas é de 0,27 (Gionbelli et al., dados não publicados, 2016). Assim, o cálculo das exigências de energia metabolizável para ganho de peso de tecidos maternos (PMg , g/dia) para vacas zebuínas adultas pode ser realizado de acordo com a Equação 10.13.

$$PMg = PLg/0,27 \quad \text{Eq. 10.13}$$

em que PLg = exigência de proteína líquida para ganho (g/dia).

EXIGÊNCIAS PARA GESTAÇÃO

As estimativas de exigências nutricionais para gestação dessa edição do BR-CORTE foram realizadas com base único experimento de abate comparativo utilizando vacas zebuínas (Nelore) gestantes e não gestantes realizado até o momento (Gionbelli,

2013; Gionbelli et al., 2015b). Para estimar as quantidades de energia e proteína retidas em constituintes relacionados à gestação, o conceito de componente gestação (GEST) foi adotado. O conceito de GEST foi apresentado por Gionbelli et al. (2015a) e é também descrito no Capítulo 1 do BR-CORTE. Com base no GEST, as quantidades de energia e proteína utilizadas para calcular as exigências líquidas para gestação foram aquelas genuinamente relacionadas à gestação, que incluíram: o útero grávido menos o útero não grávido (estimado) e o acréscimo no úbere relativo à gestação. Assim sendo, as quantidades de energia e proteína consideradas como tecidos maternos foram aquelas presentes na carcaça, órgãos internos, sangue, cabeça, membros, úbere não grávido e útero não grávido. Ou seja, as quantificações de energia e proteína retidas em constituintes maternos ou componente gestação seguiram as mesmas diretrizes utilizadas para o peso desses compartimentos (descrito no Capítulo 1). O conceito de GEST não aborda, no entanto, o possível efeito da gestação que faz variar constituintes corporais maternos como ossos,

tecido muscular esquelético, tecido adiposo e órgãos internos. Tais variações ocorrem em função do efeito homeorrético da gestação (Hammond, 1947), no qual tecidos periféricos e órgãos podem “trabalhar” para dar suporte ao crescimento e metabolismo de um órgão, tecido ou sistema prioritário. Tal interação é extremamente difícil de modelar. No trabalho de Gionbelli et al. (2015b), no entanto, não foram observadas evidências significativas do efeito da gestação sobre a dinâmica de deposição de tecidos maternos (variações na composição do ganho de tecidos maternos de vacas gestantes e não gestantes).

Exigências de energia para gestação

A equação utilizada nesta edição do BR-CORTE para descrever as exigências líquidas de energia para crescimento de tecidos relacionados à gestação em vacas zebuínas gestantes foi gerada a partir da primeira derivada de um modelo do tipo potência entre o tempo de gestação e o acúmulo de energia no GEST. Posteriormente, a equação foi adaptada para contemplar pesos variáveis de bezerro ao nascimento (BEZ, em kg), para que possa ser

aplicável a rebanhos de diferentes fenótipos. Portanto, as exigências líquidas de energia para gestação (EL_{gest} , Mcal/dia) para vacas zebuínas adultas podem ser calculadas pela seguinte equação:

$$EL_{gest} = \frac{BEZ \times 0,000000793 \times TG^{3,017}}{1000} \quad \text{Eq. 10.14}$$

em que BEZ = peso médio dos bezerros do rebanho ao nascer (kg) e TG = tempo de gestação (dias).

O modelo do tipo potência foi utilizado em detrimento ao uso de um modelo logístico (utilizado para estimar o peso do útero grávido no Capítulo 1) para facilitar a aplicabilidade das estimativas e por apresentar diferenças não significativas nos valores estimados. Quando comparadas às exigências de EL_{gest} adotadas pelo Sistema americano (BCNRM, 2016) para gestação de bezerros com mesmo peso estimado ao nascimento, as exigências estimadas para gestação em vacas zebuínas são cerca de 30% menores (Figura 10.2).

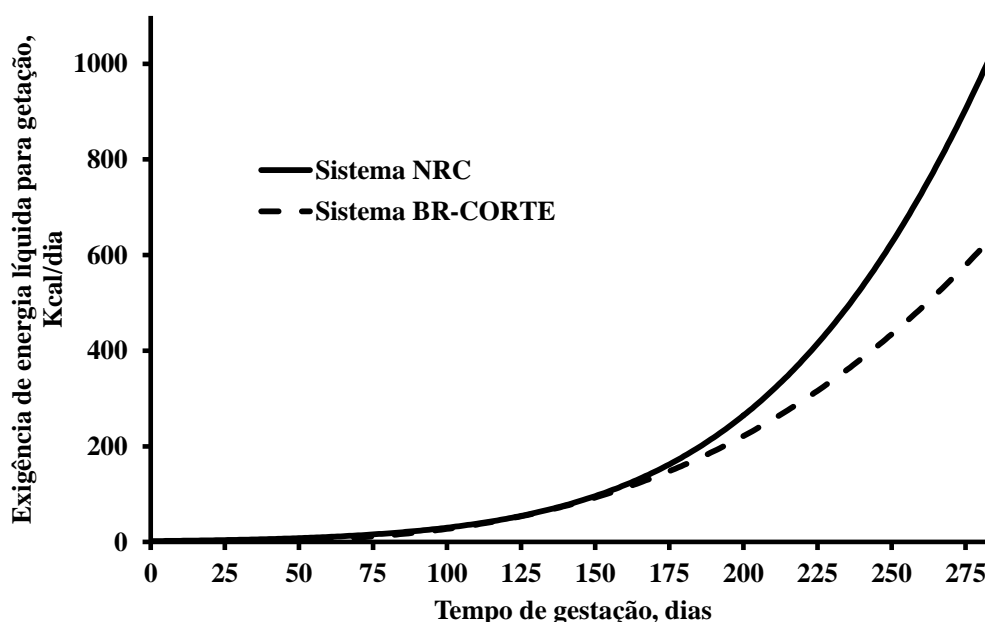


Figura 10.2 - Exigências líquidas de energia para gestação de uma vaca Angus-Hereford gestando um bezerro com peso estimado ao nascimento de 32 kg (linha contínua, BCNRM 2016) e de uma vaca Nelore gestando um bezerro com peso estimado ao nascimento de 32 kg (linha tracejada, BR-CORTE, 2016).

Para conversão da exigência de EL_{gest} em exigência de energia metabolizável para gestação (EM_{gest} , Mcal/dia), o valor de EL_{gest} deve ser dividido pela eficiência de uso da energia metabolizável para gestação (k_{gest}), cujo valor reportado por Gionbelli et al. (2015b) foi de 0,12. O valor de k_{gest} de 12% é bastante próximo ao valor médio de 14% obtido por Ferrell et al. (1976c) para gestação de vacas taurinas e próximo também do valor de 13% adotado pelo Sistema americano (com base em uma média resultados de trabalhos envolvendo ovinos e bovinos). Dessa forma, EM_{gest} deve ser calculada da seguinte maneira:

$$EM_{gest} = EL_{gest}/0,12 \quad \text{Eq. 10.15}$$

em que EL_{gest} = exigência de energia líquida para gestação (Mcal/dia).

Considerando-se uma vaca zebuína com 500 kg de PC na última semana de gestação ($TG = 285$) um bezerro com peso estimado ao nascer de 32 kg, as exigências de energia metabolizável para manutenção e gestação correspondem, respectivamente, a 12,6 e 5,4 Mcal/dia. Ou seja, no ápice das exigências nutricionais para gestação, o valor de EM_{gest} pode chegar a 43% do valor da EM_m , considerando uma vaca de porte médio. Em vacas de pequeno porte a exigência de energia metabolizável para gestação pode ser superior a 50% da exigência de manutenção. Considerando-se os últimos 90 dias de gestação, a exigência média de energia metabolizável para gestação de uma vaca zebuína de 500 kg de PC, gestando um bezerro com peso estimado ao nascer de 32 kg, é de 3,5 Mcal/dia, o que corresponde a 28% da sua exigência para manutenção. Ou seja, considera-se necessário um acréscimo de 28% nas exigências de manutenção para que uma vaca de 500 kg de PC corporal consiga manter um ECC estável nos últimos 90 dias de gestação.

Tomando-se como base as equações descritas na Equação 10.14 e Equação 10.15, por iteração, observa-se que a exigência de EM_{gest} passa a ser maior do que 5% da EM_m aos 140 dias de gestação, quando $EM_{gest} = 0,63$ Mcal/dia (considerando-se uma vaca com 500 kg de PC gestando um bezerro com peso estimado ao nascimento de 32 kg e $EM_m = 12,6$ Mcal/dia).

Exigências de proteína para gestação

O modelo adotado nessa edição do BR-CORTE para estimar as exigências líquidas de proteína para gestação em vacas zebuínas foi um modelo do tipo potência, semelhante ao descrito na Equação 10.14 para estimar as exigências líquidas de energia para gestação.

$$PL_{gest}(\text{g/dia}) = BEZ \times 0,0000001773 \times TG^{2,945} \quad \text{Eq. 10.16}$$

em que BEZ = peso médio dos bezerros do rebanho ao nascer (kg) e TG = tempo de gestação (dias).

Uma comparação dos valores de PL_{gest} para vacas taurinas e zebuínas gestando bezerros de mesmo peso estimado ao nascer é apresentada na Figura 10.3. Para estimar a exigência de proteína metabolizável para gestação (PM_{gest} , g/dia), o valor de PL_{gest} deve ser dividido pela eficiência parcial de utilização da proteína absorvida para gestação, que para vacas zebuínas adultas é de 0,27 (Gionbelli et al., dados não publicados, 2016). Assim, a exigência de proteína metabolizável para gestação pode ser calculada como:

$$PM_{gest} = PL_{gest}/0,27 \quad \text{Eq. 10.17}$$

em que PL_{gest} = exigência de proteína líquida para gestação (g/dia).

A exigência de proteína metabolizável para gestação calculada de acordo com a Equação 10.16 e Equação 10.17 para uma vaca zebuína de 500 kg, gestando um bezerro de 32 kg de peso estimado ao nascer, aos 285 dias de gestação é de 356 g/dia, o que corresponde a 88% da exigência de proteína para manutenção dessa mesma vaca ($PM_m = 405$ g/dia).

Considerando-se os últimos 90 dias de gestação, a exigência média de PM_{gest} para a mesma vaca desse exemplo é de 235 g/dia, o que corresponde a um aumento médio de 58% nas exigências de proteína, em relação à manutenção (sem considerar ganho de tecidos maternos). Tais valores são representativos do grande aumento das exigências de proteína

em função do tempo de gestação. A taxa de metabolismo uteroplacentário e fetal durante os estágios finais da gestação é muito alta (Battaglia e Meschia, 1988; Bell et al., 2005). Estudos anteriores reportam um grande aumento da demanda por glicose e aminoácidos pela placenta de ruminantes com o decorrer da gestação (McNeill et al., 1997; Freetly e Ferrell, 1998, 2000). Embora pouco seja conhecido sobre o particionamento de aminoácidos para a gestação, estima-se que em fêmeas ruminantes em final de gestação alimentadas com 110 até 140% das exigências de proteína para gestação, cerca de 80% da

proteína digerida passe pelo útero grávido (Bell e Ehrhardt, 1998). Já em fêmeas ruminantes alimentadas com quantidades de proteína próximas ou abaixo das exigências para gestação, estima-se que os níveis de aminoácidos circulantes necessários para o bom andamento da gestação sejam mantidos por meio da mobilização de tecido muscular esquelético (Bell e Ehrhardt, 2000). Existem evidências de grande mobilização de tecido muscular esquelético materno para suprir a demanda de gestação quando as exigências dietéticas de proteína não são atendidas (McNeill et al., 1997).

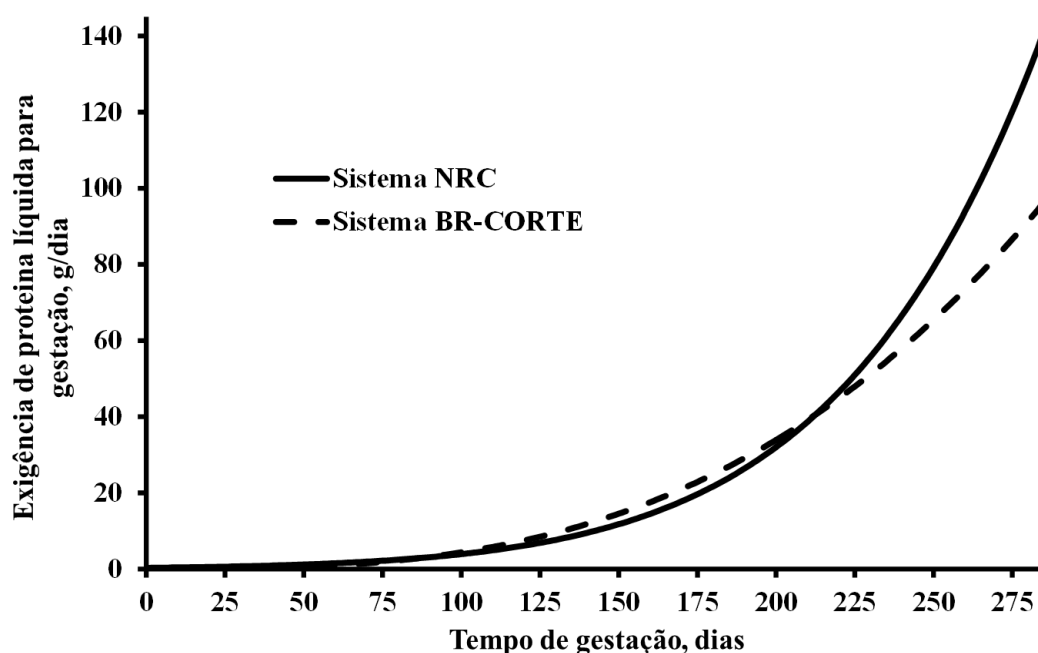


Figura 10.3 - Exigências líquidas de proteína para gestação de uma vaca Angus-Hereford gestando um bezerro com peso estimado ao nascimento de 32 kg (linha contínua, BCNRM, 2016) e de uma vaca Nelore gestando um bezerro com peso estimado ao nascimento de 32 kg (linha tracejada, BR-CORTE, 2016).

ATENDIMENTO DAS EXIGÊNCIAS DE GESTAÇÃO E SEUS IMPACTOS NA PROGÊNIE

Adicionalmente ao que foi até então abordado, o atendimento ou não dos requerimentos nutricionais da gestação pode alterar a trajetória de desenvolvimento da progênie, impactando o seu desempenho durante a vida pós-natal. Tal situação é comumente observada em países onde a produção de bovinos de corte se dá majoritariamente a pasto. A variação sazonal da quantidade e qualidade das pastagens surge

como um dos principais pontos críticos que reduz a eficiência de produção. Conseqüentemente, vacas gestantes criadas a pasto frequentemente são submetidas a variações na oferta e qualidade da forragem principalmente na época seca do ano. Visando amenizar tal problema, alguns produtores buscam diferentes estratégias de suplementação as quais geralmente se restringem ao terço final da gestação, o qual é apontado como a principal etapa em que a restrição alimentar da matriz pode afetar o desenvolvimento do bezerro, uma vez que a captação de nutrientes pelo feto torna-se

quantitativamente importante na segunda metade da gestação.

Contudo, a restrição alimentar durante os estágios iniciais da gestação causa também redução da deposição de tecido muscular e adiposo bem como no desempenho do bezerro, mesmo que não seja notada redução do peso e tamanho ao nascimento (Wu et al., 2006). Isso ocorre como o resultado de mudanças específicas nos mamíferos durante o desenvolvimento intra-uterino que altera quantitativa e/ou qualitativamente a trajetória de desenvolvimento com resultados que persistem por toda vida do indivíduo. Baseado nessa premissa, estudos têm sido realizados com objetivo de compreender os processos envolvidos com o crescimento e desenvolvimento dos tecidos, uma vez que a produção de animais de corte visa maximização do seu desempenho e crescimento muscular aliado à adequada deposição de gordura (Tabela 10.5). Tal conhecimento torna viável a adoção de estratégias alimentares durante os diferentes estágios da gestação que possam resultar em incrementos no desempenho da progênie.

Durante a fase fetal, o músculo esquelético tem menor prioridade na partição de nutrientes comparativamente a órgãos vitais tais como o cérebro e coração. Dessa forma, em situações desafiantes ao feto durante o seu desenvolvimento, o tecido muscular esquelético se torna vulnerável à deficiência nutricional da matriz. A fase fetal é crítica para o desenvolvimento muscular, uma vez que não ocorre aumento no número de células musculares após o nascimento. A formação de fibras musculares é denominada miogênese, processo em que células mesenquimais multipotentes são convertidas em células musculares. A formação das fibras musculares ocorre a partir de dois eventos distintos temporalmente. Inicialmente, durante o desenvolvimento embrionário ocorre a formação das miofibras primárias, processo que se estende pelos dois primeiros meses de gestação (Russell e Oteruelo, 1981). Essas miofibras são utilizadas como suporte para posterior formação das miofibras secundárias, que ocorre durante a fase fetal e que por sua vez contribuem de forma majoritária para o aumento da massa muscular na fase pré-natal. Contudo, a maior parte das

fibras musculares é formada entre o segundo e o oitavo mês de gestação e a redução da formação de fibras musculares durante este estágio de desenvolvimento fetal causa efeitos fisiológicos negativos persistentes no animal durante a fase pós-natal (Zhu et al., 2006).

Dado o fato de que células musculares assim como adipócitos e fibroblastos são oriundos do mesmo pool de células mesenquimais indiferenciadas, a nutrição materna durante a gestação tem sido reportada como sendo um dos principais fatores que afetam a miogênese e conseqüentemente o crescimento e desenvolvimento muscular fetal (Wu et al., 2006). A nutrição gestacional causa modificações na rota de sinalização celular podendo direcionar o pool de células mesenquimais indiferenciadas ao cometimento com formação de células musculares, adipócitos ou fibroblastos (Duarte et al., 2014).

Dessa forma, variações no atendimento dos requerimentos nutricionais da matriz podem ser utilizadas para maximizar o desenvolvimento do tecido muscular esquelético em detrimento à formação do tecido adiposo e conectivo. Similarmente, caso seja de interesse, a produção de animais com maior potencial de deposição de gordura corporal, pode-se utilizar de intervenção intrauterina via nutrição gestacional a fim de se maximizar o desenvolvimento de adipócitos com objetivo de que o animal consiga maior deposição deste tecido na fase pós-natal em detrimento à deposição do tecido muscular esquelético.

Ressalta-se que o período da gestação em que a matriz é ou não submetida ao estresse nutricional é crucial para programação do desenvolvimento muscular da progênie. A partir do conhecimento de quando se dá prioritariamente a formação de células musculares durante a fase fetal ditará o momento em que deva ocorrer a manipulação da dieta materna visando a maximização da formação deste tecido no feto. De forma similar, caso seja interesse maior formação de células adipogênicas com intuito de potencializar a deposição de gordura pelo animal, o conhecimento de quando os adipócitos têm sua formação maximizada possibilitará a intervenção no desenvolvimento via nutrição materna para maximização da

formação deste tecido. Trabalhos recentes têm evidenciado que a adipogênese em animais ruminantes inicia-se concomitantemente com a miogênese secundária no terço médio da gestação (Muhlhausler et al., 2007). Dessa forma, a adoção da nutrição materna adequada durante a gestação pode resultar em maior número de adipócitos, em função do aumento do comprometimento de células mesenquimais com a adipogênese, acarretando maior quantidade de gordura intramuscular na progênie.

Por fim, cabe ressaltar ainda as evidências até então encontradas de que o atendimento ou não dos requerimentos nutricionais da matriz durante a gestação podem afetar o metabolismo energético do animal durante a fase pós-natal. Estudos demonstraram que fetos de matrizes ovinas superalimentadas (150% dos valores recomendados pelo NRC) apresentam menor atividade da principal via de sinalização de regulação do metabolismo energético em tecido muscular esquelético (conhecida como via de sinalização AMPK) quando comparados a fetos de matrizes recebendo 100% dos requerimentos de manutenção de acordo com as recomendações do NRC (Zhu et al., 2008). Tal fato nos leva a crer que, devido a possibilidade de perpetuação do efeito ao longo da vida pós-natal, estes animais poderão apresentar alteração na sua eficiência de crescimento também devido à alteração do metabolismo energético.

EXIGÊNCIAS DIETÉTICAS E CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS PARA EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE GESTAÇÃO

Exigências dietéticas de energia para vacas gestantes e não gestantes

As exigências totais de energia metabolizável (EM_{total} , Mcal/dia) para vacas zebuínas adultas, gestantes e não gestantes, são representadas pela soma das exigências para manutenção, ganho de tecidos maternos e para gestação, conforme segue:

Vacas vazias:

$$EM_{total} = EM_m + EM_g$$

Eq. 10.18

Vacas gestantes:

$$EM_{total} = EM_m + EM_g + EM_{gest}$$

Eq. 10.19

em que EM_m = exigência de energia metabolizável para manutenção (Mcal/dia), EM_g = exigência de energia metabolizável para ganho de tecidos maternos (Mcal/dia) e EM_{gest} = exigência de energia metabolizável para gestação (Mcal/dia).

Para conversão das exigências de energia metabolizável em exigências de energia digestível para vacas zebuínas adultas, quando a concentração energética da dieta (ou só da forragem, para vacas criadas a pasto sem suplementação) for conhecida (Mcal de ED/kg ou NDT) as três primeiras equações abaixo podem ser utilizadas Equação 10.20, Equação 10.21 ou Equação 10.22. Quando a concentração energética da dieta não for conhecida, a Equação 10.23 deverá ser utilizada:

$$[EM] = 0,9147 \times [ED] - 0,2227$$

Eq. 10.20

$$[ED] = \frac{0,2227 + [EM]}{0,9147}$$

Eq. 10.21

$$EM/ED = 0,65 + 0,44 \times NDT - 0,24 \times NDT^2$$

Eq. 10.22

$$ED = EM/0,82$$

Eq. 10.23

em que $[EM]$ = concentração de energia metabolizável (Mcal/kg), $[ED]$ = concentração de energia digestível (Mcal/kg), EM = energia metabolizável (Mcal/dia), ED = energia digestível (Mcal/dia) e NDT = nutrientes digestíveis totais (em escala centesimal, de 0 a 1).

As equações Equação 10.20 e Equação 10.21 apresentadas acima são oriundas da relação entre EM e ED obtida em dietas de vacas zebuínas adultas gestantes e não gestantes (Figura 10.4). A Equação 10.22 é uma variação das equações anteriores, considerando que 1 kg de NDT = 4,4 kg de ED . A Equação 10.23 representa o valor padrão de eficiência de conversão de ED em

EM historicamente utilizada pelos sistemas de alimentação (BCNRM e BR-CORTE). Para vacas zebuínas adultas, o coeficiente de 0,82 representa, de acordo com a Equação 10.23, uma dieta com 55% de NDT. A relação apresentada na Figura 10.4 não difere muito daquela obtida por Galyean et al. (2016) para bovinos *Bos taurus* em crescimento e terminação ($EM = 0,9611 \times ED - 0,2999$).

Para conversão das exigências totais de energia digestível em exigências dietéticas de energia, representadas por NDT, deve-se dividir o valor de ED_{total} por 4,4, considerando a relação 1 kg de NDT = 4,4 kg de ED.

Tabela 10.5 - Seleção de trabalhos científicos publicados nos últimos cinco anos que utilizaram animais ruminantes como modelo biológico e que demonstram alterações sofridas no desenvolvimento muscular esquelético fetal e/ou da progênie em função da variação no atendimento ou não dos requerimentos nutricionais da matriz durante a gestação

Referência	Observações relevantes
Raja, JS. et al. Restricted maternal nutrition alters myogenic regulatory factor expression in satellite cells of ovine offspring, <i>Animal</i> , 2016. DOI: 10.1017/S1751731116000070	O fornecimento de 50% dos requerimentos de manutenção da matriz durante a gestação reduziu a expressão de fatores de regulação miogênica em células satélites isoladas do tecido muscular esquelético dos fetos
Reed, S. et al. Poor maternal nutrition inhibits muscle development in ovine offspring. <i>Journal of Animal Science and Biotechnology</i> , 2014. DOI: 10.1186/2049-1891-5-43	O fornecimento de 60% ou de 140% dos requerimentos de manutenção da matriz durante a gestação prejudicou o crescimento muscular esquelético da progênie
Duarte, MS. et al. Maternal overnutrition enhances mRNA expression of adipogenic markers and collagen deposition in skeletal muscle of beef cattle fetuses, <i>Journal of Animal Science</i> , 2014. DOI: 10.2527/jas.2014-7568	O fornecimento de 140% dos requerimentos de manutenção para matrizes durante a gestação não alterou o desenvolvimento muscular esquelético fetal. Contudo, aumento a expressão de marcadores de adipogênese e o conteúdo de colágeno intramuscular fetal.
Peñagaricano, F. et al. Maternal nutrition induces gene expression changes in fetal muscle development and adipose tissues in sheep, <i>BMC Genomics</i> , 2014. DOI: 10.1186/1471-2164-15-1034	O fornecimento de dietas para matrizes contendo diferentes níveis de proteína bruta durante o terço médio - final da gestação causou alterações na expressão de genes envolvidos com o desenvolvimento do tecido muscular esquelético e adiposo fetal.
Yan et al. Maternal obesity downregulates microRNA let-7g expression, a possible mechanism for enhanced adipogenesis during ovine fetal skeletal muscle development, <i>International Journal of Obesity</i> , 2013. DOI: 10.1038/ijo.2012.69	O fornecimento de 150% dos requerimentos nutricionais para matrizes durante a gestação alterou a expressão de microRNA's ocasionando o favorecimento de deposição de gordura intramuscular na progênie.
Huang, Y. et al. Maternal obesity enhances collagen accumulation and cross-linking in skeletal muscle of ovine offspring, <i>PLoS One</i> , 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0031691	O fornecimento de 150% dos requerimentos nutricionais para matrizes durante a gestação ocasionou maior deposição de colágeno intramuscular bem como a quantidade de ligações cruzadas presentes na molécula de colágeno.
Yan, X. Maternal obesity-impaired insulin signaling in sheep and induced lipid accumulation and fibrosis in skeletal muscle of offspring, <i>Biology of Reproduction</i> , 2011. DOI:10.1095/biolreprod.110.089649	O fornecimento de 150% dos requerimentos de energia para matrizes por dois meses antes da gestação até o desmame da progênie atenuou a via de sinalização de insulina no tecido muscular esquelético além de aumentar a fibrogênese e a deposição de gordura intramuscular.

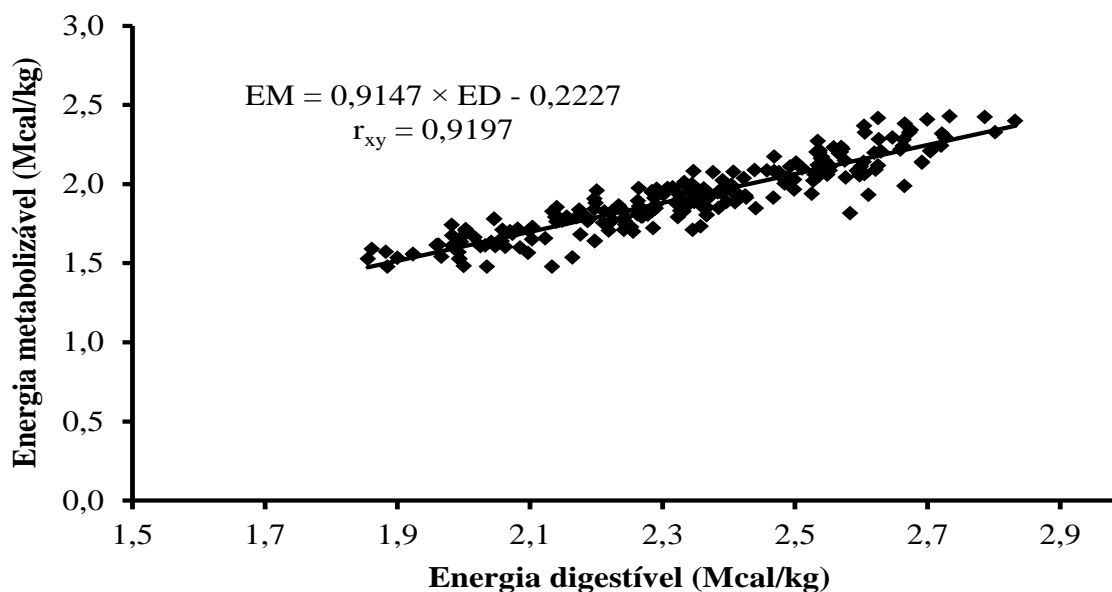


Figura 10.4 - Relação entre energia metabolizável e energia digestível em vacas zebuínas adultas (Gionbelli et al., dados não publicados).

Exigências dietéticas de proteína para vacas gestantes e não gestantes

As exigências totais de proteína metabolizável (PM_{total} , g/dia) para vacas zebuínas adultas, gestantes e não gestantes, são representadas pela soma das exigências para manutenção, ganho de tecidos maternos e para gestação, conforme segue:

Vacas vazias:

$$PM_{total} = PM_m + PM_g$$

Eq. 10.24

Vacas gestantes:

$$PM_{total} = PM_m + PM_g + PM_{gest}$$

Eq. 10.25

em que PM_m = exigência de proteína metabolizável para manutenção (g/dia), PM_g = exigência de proteína metabolizável para ganho de tecidos maternos (g/dia) e PM_{gest} = exigência de proteína metabolizável para gestação (g/dia). Para conversão das exigências totais de proteína metabolizável em exigências dietéticas de proteína degradável no rúmen (PDR), proteína não degradável no rúmen (PNDR) e proteína bruta total (PB), os mesmos procedimentos descritos para animais em crescimento e terminação são utilizados (Capítulo 8 do BR-CORTE). Nesse sentido, as exigências de proteína bruta são representadas pela soma das exigências de PDR e PNDR.

Nessa edição do BR-CORTE, as exigências dietéticas de PDR são consideradas iguais à produção diária de proteína bruta microbiana (PB_{mic}), pois as estimativas de N que retornam ao rúmen através da reciclagem de N compensam quantitativamente a ineficiência de conversão da proteína degradável no rúmen em PB_{mic} , estimada em 10% nas edições anteriores do BR-CORTE. Assim, tem-se que: $PDR = PB_{mic}$. A produção diária de PB_{mic} é estimada pela equação abaixo (apresentada no Capítulo 3 dessa edição do BR-CORTE):

$$PB_{mic} = -53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2$$

Eq. 10.26

em que: CPB = consumo de proteína bruta (kg/dia) e $CNDT$ = consumo de NDT (kg/dia). Nessa equação, o $CNDT$ deve ser a exigência dietética de NDT em (kg/dia) calculada conforme descrito no item anterior. Uma vez que no cálculo das exigências de PB, o CPB ainda não é conhecido, sugere-se o uso de um valor inicial com base no $CNDT$ e na relação média entre NDT e PB nas dietas de vacas vazias e gestantes. Dessa forma, para vacas vazias sugere-se um valor inicial de CPB (kg/dia) como sendo $0,15 \times CNDT$ (kg/dia) e para vacas gestantes CPB (kg/dia) = $0,20 \times CNDT$ (kg/dia).

As exigências dietéticas de PNDR (kg/dia) para vacas zebuínas adultas, vazias e gestantes, podem ser calculadas pela equação abaixo (Capítulo 8 dessa edição do BR-CORTE):

$$PNDR = \frac{PM_{total} - (PB_{mic} \times 0,64)}{0,80}$$

Eq. 10.27

em que PM_{total} = exigência total de proteína metabolizável (g/dia) e PB_{mic} = produção diária de proteína microbiana (g/dia).

Considerações práticas para exigências nutricionais para gestação

Com base nos modelos utilizados nesse capítulo para estimar as exigências de energia e proteína para gestação, percebe-se que nos primeiros meses de gestação, as quantidades requeridas para suportar o crescimento dos constituintes do útero grávido são pequenas. Quantitativamente, as exigências de energia e proteína metabolizável para gestação passam a representar mais do que 5% das exigências de energia e proteína metabolizável para manutenção a partir de 141 e 111 dias de gestação, respectivamente (considerando uma vaca com 500 kg de PC gestando um bezerro com peso estimado ao nascer de 32 kg). Para facilitar a aplicação prática dos requerimentos para gestação aqui propostos, considera-se importante considerar as exigências para gestação a partir do momento em que passam a representar uma porcentagem significativa da dieta das vacas. Assim sendo, para essa

edição do BR-CORTE, considera-se que as exigências para gestação são significativas do ponto de vista prático a partir de 135 dias gestação (4,5 meses de gestação), quando as exigências de energia e proteína representam, em média, um acréscimo de 7,3% nas exigências para manutenção (4,5% para energia e 10% para proteína). Este ponto foi escolhido pois representa o momento pelo qual as exigências de energia ou proteína passam a representar mais do que 10% das exigências para manutenção. Antes dos 135 dias de gestação, as exigências para gestação podem ser consideradas insignificantes e não precisam ser contabilizadas. Dessa forma, consideram-se significativos os requerimentos de energia e proteína para gestação nos últimos 155 dias de gestação (considerando uma gestação de 290 dias em zebuínos).

Outro ponto a ser considerado, diz respeito às variações nas exigências para gestação ao longo da gestação e como devem ser consideradas nos programas nutricionais aplicados às vacas gestantes. Sabe-se, que na prática, é inviável ajustar a dieta de vacas gestantes em curtos períodos de tempo (semanalmente, por exemplo). Dessa forma, é proposto um esquema para atendimento das exigências de gestação do tipo “degraus”, contendo 3 fases, divididas de acordo com as variações nas exigências nutricionais para gestação. Essas 3 fases, chamadas de início, meio e final de gestação, tem durações distintas e são melhor visualizadas na Figura 10.5 e na Tabela 10.6.

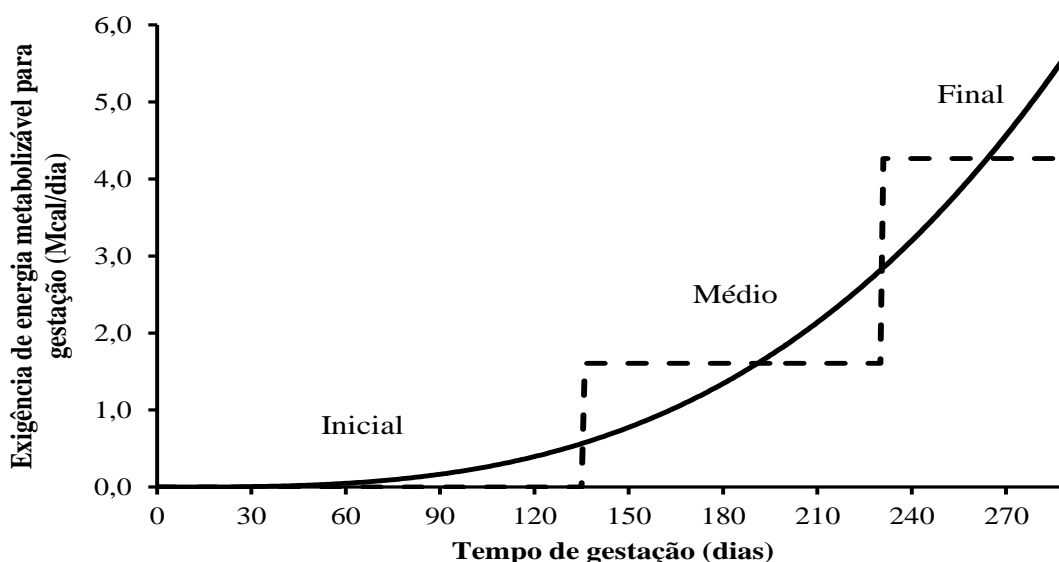


Figura 10.5 - Exigências de energia metabolizável para gestação de uma vaca zebuína adulta (500 kg de PC gestando um bezerro com peso estimado ao nascer de 32 kg) divididas em três períodos de gestação (inicial, médio e final). A linha contínua representa as exigências calculadas diariamente e a linha tracejada representa as exigências médias a serem consideradas em cada período.

Tabela 10.6 - Descrição e duração dos períodos de gestação para aplicação prática das exigências nutricionais para gestação de vacas zebuínas adultas

Período de gestação		Exigências para gestação (equivalências) ¹
Denominação	Duração (dias)	
Inicial	135 (0 ao 135°)	-
Médio	95 (136 ao 230°)	191 dias de gestação
Final	60 (231° ao 290°)	264 dias de gestação

¹Até 135 dias de gestação as exigências para gestação são consideradas não significativas. No período médio de gestação (136 a 230 dias), as exigências médias são equivalentes às exigências de aos 191 dias de gestação. No período final de gestação (231 aos 290 dias), as exigências médias são equivalentes às exigências aos 264 dias de gestação. Ou seja, para calcular as exigências para gestação nos períodos médio e final de gestação, deve-se utilizar respectivamente 191 e 264 dias de gestação nos modelos descritos nesse capítulo.

De acordo com o sistema de produção e a recomendação técnica, um número maior de “degraus” pode ser utilizado na elaboração de programas nutricionais para vacas em gestação. Os degraus apresentados acima são adotados nessa edição do BR-CORTE para elaboração das tabelas de exigências nutricionais para gestação em vacas zebuínas adultas.

As exigências nutricionais de vacas zebuínas ao longo de um ciclo produtivo (intervalo entre dois partos) podem ser mais bem entendidas de acordo com a Tabela 10.7. Isso significa que, no caso de uma vaca com intervalo de partos de 12 meses, desde o parto até a desmama, as exigências nutricionais deverão ser calculadas de acordo com o Capítulo 11 dessa edição do BR-CORTE

(Exigências nutricionais de vacas de corte lactantes e seus bezerros). A partir da desmama, as exigências nutricionais para essa vaca deverão ser calculadas de acordo com as exigências para período médio de gestação, pois com intervalo de partos de 12 meses, a vaca terá emprenhado aos 75 dias de lactação e à desmama estará com 135 dias de gestação. Se o intervalo de partos for de 14 meses, haverá um período (60 dias) do ciclo produtivo em que a vaca estará não lactante e em período inicial de gestação, quando as exigências para gestação são não significativas. Nesse caso, durante esse período, as exigências totais de tal vaca deverão ser calculadas como exigências para manutenção + exigências para ganho de tecidos maternos, conforme descrito nesse capítulo.

Tabela 10.7 - Como calcular as exigências nutricionais para vacas zebuínas de acordo com a fase do ciclo produtivo quando o intervalo de partos é de 12, 14, 16 ou 18 meses

Intervalo de partos, meses (dias)	Fase do ciclo produtivo (duração e justificativa)			
	Lactação	Não lactante, vazia ou em período inicial de gestação	Período médio de gestação	Período final de gestação
12 (365)	210 dias (parto até desmama)	0 dias, pois terá concebido aos 75 dias de lactação e ao desmame estará com 135 dias de gestação	95 dias (136 ao 230º dia de gestação)	60 dias (231º dia de gestação até o parto)
14 (425)	210 dias (parto até desmama)	60 dias, pois terá concebido aos 135 dias de lactação e estará com 75 dias de gestação à desmama	95 dias (136 ao 230º dia de gestação)	60 dias (231º dia de gestação até o parto)
16 (485)	210 dias (parto até desmama)	120 dias, pois terá concebido aos 195 dias de lactação e estará com 15 dias de gestação à desmama	95 dias (136 ao 230º dia de gestação)	60 dias (231º dia de gestação até o parto)
18 (545)	210 dias (parto até desmama)	180 dias, pois terá concebido 45 dias após a desmama	95 dias (136 ao 230º dia de gestação)	60 dias (231º dia de gestação até o parto)
Como calcular as exigências nutricionais?	Exigências para vacas lactantes (Capítulo 11)	Exigências para vacas vazias (manutenção + ganho de tecidos maternos)	Exigências para vacas em período médio de gestação (manutenção + ganho de tecidos maternos + exigências de 191 dias de gestação)	Exigências para vacas em período final de gestação (manutenção + ganho de tecidos maternos + exigências de 264 dias de gestação)

Com base na Tabela 10.7 a duração do período em que as exigências de uma vaca deverão ser calculadas para vaca não lactante, vazia ou em período inicial de gestação (manutenção + ganho de tecidos maternos) pode ser calculado com base no intervalo entre parto e a concepção e na duração da lactação (idade à desmama adotado para o rebanho), como sendo:

$$PX = 135 + IPC - LACT$$

Eq. 10.28

em que PX = duração do período (dias) em que as exigências da vaca deverão ser consideradas iguais às exigências de manutenção + ganho de tecidos maternos (não lactante e vazia ou com exigências para gestação não significativas), IPC = intervalo entre parto e concepção ou período de serviço (dias) e LACT = duração da lactação (dias).

Tomando-se como base a Equação 10.28, uma vaca que emprenhar com 100 dias após o parto (IPC = 100), num sistema de produção com idade de bezerras à desmama de 7 meses (LACT = 210), terá um PX de 25 dias (PX = 135 + 100 - 210). Já uma vaca que emprenhar com 80 dias após o parto (IPC = 80), num sistema de produção que adota desmama precoce aos 3 meses de idade do bezerro (LACT

= 90), terá um PX de 125 dias (PX = 135 + 80 - 90). Assim, no caso desse último exemplo, após a desmama, a vaca deverá receber dieta que atenda suas exigências de manutenção + ganho de tecidos maternos por um período de 125 dias após a desmama, quando então deverá passar a receber uma dieta que atenda as exigências de manutenção, ganhos de tecidos maternos e exigências para período médio de gestação.

Exigências de minerais para vacas gestantes e não gestantes

Para esta edição do BR-CORTE ainda não estão disponíveis dados de exigências de minerais para gestação em vacas zebuínas adultas. Dessa forma, sugere-se a adoção das estimativas de exigências de minerais para a manutenção de fêmeas zebuínas de corte apresentadas no Capítulo 9 dessa edição do BR-CORTE. Para vacas gestantes, sugere-se um acréscimo de 12 e 33% nas exigências de minerais para manutenção para os períodos médio e final de gestação. Tais valores são baseados no acréscimo médio das exigências de energia que ocorrem em função da gestação pra tais períodos. Assim, as exigências de minerais para vacas zebuínas vazias e gestantes podem ser calculadas de acordo com a Tabela 10.8.

Tabela 10.8 - Sugestão de cálculo para exigências nutricionais de minerais para vacas adultas zebuínas vazias e gestantes

Categoria	Exigências de minerais
Vacas vazias e até 135 dias de gestação	Mantença
Período médio de gestação (136 a 230 dias de gestação)	Mantença × 1,12
Período final de gestação (231 dias de gestação até o parto)	Mantença × 1,33

REFERÊNCIAS

- ABIEC. *Estatísticas: balanço da pecuária. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes*. Available at: <http://www.abiec.com.br/texto.asp?id=8>, 2013.
- AFRC. *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. Wallingford, UK: Agricultural and Food Research Council. CAB International, 159p. 1993.
- ANUALPEC. Anuário da Pecuária Brasileira. FNP, 2015.
- ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. London, UK: Agricultural Research Council. The Gresham Press, 351p, 1980.
- Barry, T. N. and Manley, T. R. Glucose and protein metabolism during late pregnancy in triplet-bearing ewes given fresh forages. 1. Voluntary intake and birth weight. *British Journal of Nutrition* 54: 521–534, 1986.
- Baruselli, P.; Sales, J.; Sala, R.; Vieira, L. History, evolution and perspectives of timed artificial insemination programs in Brazil. *Animal Reproduction*, 9:139-152, 2012.
- Battaglia, F. C.; Meschia, G. Fetal nutrition. *Annual Review of Nutrition*, 8:43-61, 1988.
- Bauman, D. E. Regulation of nutrient partitioning during lactation: homeostasis and homeorhesis revisited. In: CRONJÉ, P.B.(Ed). *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. New York: CABI Publishing, 311-328, 2000.
- Bauman, D.E., and W.B Currie. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal Dairy Science*. 63, 1514-1529, 1980.
- Beef Cattle Nutrient Requirement Model – BCNRM. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th edition. Washington, DC: The National Academies Press, 475p, 2016.
- Bell, A. W.; Ehrhardt, R. A. Placental regulation of nutrient partitioning during pregnancy. In: Hansel, W.; Bray, G. A.; Ryan, D. H.(Ed). *Nutrition and Reproduction*. Baton Rouge: Louisiana State University Press, 229-254, 1998.
- Bell, A. W.; Burhans, W. S.; Overton, T. R. Protein nutrition in late pregnancy, maternal protein reserves and lactation performance in dairy cows. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59:119-126, 2000.
- Bell, A. W.; Ehrhardt, R. A. Regulation of macronutrient partitioning between maternal and conceptus tissues in the pregnant ruminant. In: Cronjé, J. S.(Ed). *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. New York: CAB International, 275-293, 2000.
- Bell, A. W.; Ferrell, C. L.; Freetly, H. C. Pregnancy and Fetal Metabolism. In: Dijkstra, J.; Forbes, J.M.; France, J.(Ed). *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. 2.ed. Oxfordshire: CAB International, 523-550, 2005.
- Brody, S. *Bioenergetics and growth*. NY:Reinhold, 1023p, 1945.
- Cano, J. G. The INRA systems of nutritional requirements of cattle .In: Simpósio Internacional Sobre Exigências Nutricionais De Ruminantes, 1. 1995, Viçosa, MG. *Anais...* Viçosa, MG:JARD, 1995.
- Chiavegato, M. B.; Rowntree, J. E.; Carmichael, D.; Powers, W. J. Enteric methane from lactating beef cows managed with high- and low-input grazing systems. *Journal of Animal Science*, 93:1365-1375, 2015.
- Coffey, K. P.; Paterson, J. A.; Saul, C. S.; Coffey, L. S.; Turner, K. E.; Bowman, J. G. The Influence of Pregnancy and Source of Supplemental Protein on Intake, 136 Digestive Kinetics and Amino Acid Absorption by Ewes. *Journal Animal Science*, 67: 1805- 1814, 1989.
- Coppock, C. E.; C. H. Noller and S. A. Wolfe. Effect of energy-concentrate ratio in complete feeds fed

- ad libitum on energy intake in relation to requirements by dairy cows. *Journal Dairy Science*, 57:1371-1380, 1974.
- CSIRO. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. Collingwood, VIC:Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 270p. 2007.
- Duarte, M. S.; Gionbelli, M. P.; Paulino, P. V. R.; Serão, N. V. L.; Nascimento, C. S.; Botelho, M. E.; Martins, T. S.; Filho, S. C. V.; Dodson, M. V.; Guimarães, S. E. F.; Du, M. Maternal overnutrition enhances mRNA expression of adipogenic markers and collagen deposition in skeletal muscle of beef cattle fetuses. *Journal of Animal Science*, 92:3846-3854, 2014.
- Ferrell, C. L.; Garrett, W. N.; Hinman, N. Growth, development and composition of the udder and gravid uterus of beef heifers during pregnancy. *Journal of Animal Science*, 42:1477-1489, 1976a.
- Ferrell, C. L.; Garrett, W. N.; Hinman, N. Estimation of Body Composition in Pregnant and Non-Pregnant Heifers. *Journal of Animal Science*, 42:1158-1166, 1976b.
- Ferrell, C. L.; Garrett, W. N.; Hinman, N.; Grichting, G. Energy Utilization by Pregnant and Non-Pregnant Heifers. *Journal of Animal Science*, 42:937-950, 1976c.
- Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Relationships among various body components of mature cows. *Journal of Animal Science*, 58:222-233, 1984a.
- Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. *Journal of Animal Science*, 58:234-243, 1984b.
- Fisher, L. J.; Lessard, J. R. Intake and digestibility of corn, rye and sorghum-sudan grass silages by lactating cows. *Canadian Journal Animal Science*, 67: 1027-1032, 1987.
- Forbes, J. M. A model of the short-term control of feeding in the ruminant: effects of changing animal or feed characteristics. *Appetite*, 1: 21-41, 1980.
- Forbes, J. M. The effect of pregnancy and fatness on the volume of rumen contents in the ewe. *The Journal of Agricultural Science* 72: 119-121, 1969.
- Forbes, J. M. The physical relationships of the abdominal organs in the pregnant ewe. *The Journal of Agricultural Science* 70: 171-177, 1968.
- Forbes, J. M. Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. *Journal of Animal Science*, 74:3029-3035, 1996.
- Forbes, J. M. *Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals*. 2nd.ed. Wallingford, UK:CABI Publishing, 2007. p.
- Freetly, H. C.; Ferrell, C. L. Net flux of glucose, lactate, volatile fatty acids, and nitrogen metabolites across the portal-drained viscera and liver of pregnant ewes. *Journal of Animal Science*, 76:3133-3145, 1998.
- Freetly, H. C.; Ferrell, C. L. Net flux of nonesterified fatty acids, cholesterol, triacylglycerol, and glycerol across the portal-drained viscera and liver of pregnant ewes. *Journal of Animal Science*, 78:1380-1388, 2000.
- Friggens, N. C.; Emmans, G. C.; Kyriazakis, I.; Oldham, J. D.; Lewis, M. Feed intake relative to stage of lactation for dairy cows consuming total mixed diets with a high or low ration of concentrate to forage. *Journal Dairy Science*, 81:2228-2239, 1998.
- Gagliostro, G. A.; Chilliard, Y.; Davicco, M.J. Duodenal Rapeseed Oil Infusion in Early and Midlactation Cows. 3. Plasma Hormones and Mammary Apparent Uptake of Metabolites, *Journal of Dairy Science*, 74, 1893-1903, 1991.
- Galyean, M. L.; Cole, N. A.; Tedeschi, L. O.; Branine, M. E. Board-invited review: Efficiency of converting digestible energy to metabolizable energy and reevaluation of the California Net Energy System maintenance requirements and equations for predicting dietary net energy values for beef cattle. *Journal of Animal Science*, 94:1329-1341, 2016.
- Gionbelli, M. P. *Nutrient requirements and quantitative aspects of growth, development and digestion of pregnant and non-pregnant nellore cows*. PhD Thesis (PhD in Animal Science) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 198p. 2013.
- Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Freetly, H. C.; Paulino, P. V. R.; Rodrigues, F. C.; Silva, B. C.; Santos, T. R.; Sathler, D. F. T.; Machado, M. G.; Marcondes, M. I. Development of gravid uterus components in function of days of gestation and feeding level in pregnant Nellore cows [abstract]. *Journal of Animal Science*, 91:320-321 (abstract W285), 2013.
- Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Silva, B. C.; Sathler, D. F. T.; Gionbelli, T. R. S.; Villadiego, F. A. C.; Silva, L. H. P. Effect of pregnancy and feeding level on voluntary intake, digestion and microbial N production in Nellore cows. *Journal of Animal Science*, 92, 2014.

- Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Chizzotti, M. L.; Rodrigues, F. C.; Zanetti, D.; Gionbelli, T. R. S.; Machado, M. G. Achieving Body Weight Adjustments for Feeding Status and Pregnant or Non-Pregnant Condition in Beef Cows. *PLoS One*, 9, n.12, p.e115724, 2015a.
- Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Gionbelli, T. R. S.; Zanetti, D.; Silva, L. H. P. Energy requirements for pregnant and nonpregnant Nellore cows. *Journal of Animal Science*, 93:547, 2015b.
- Gionbelli, M. P.; Duarte, M. S.; Valadares Filho, S. C.; Ladeira, M. M.; Gionbelli, T. R. S. Recent advances in beef cows nutrition according to the physiological stage. In: Ladeira, M. M.; Gionbelli, M. P.; Teixeira, P. D., et al.(Ed). *IX SIMPEC - 4th International Symposium of Beef Cattle Production*.ed. Lavras, MG, Brazil: Suprema Gráfica e Editora, 15-36, 2015c.
- Gunter, S. A.; Judkins, M. B.; Krysl, L. J.; Broesder, J. T.; Barton, R. K.; Rueda, B. R.; Hallford, D. M.; Holcombe, D. W. Digesta kinetics, ruminal fermentation characteristics and serum metabolites of pregnant and lactating ewes fed chopped alfalfa hay. *Journal Animal Science*, 68: 3821-3831, 1990.
- Hammond, J. Animal breeding in relation to nutrition and environmental conditions. *Biological Reviews*, 22:195-213, 1947.
- Ingvarsten, K. L.; Andersen, B. B. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science*, 83:1573-1597, 2000.
- Ingvarsten, K. L.; Andersen, H. R.; Foldager, J. Effect of sex and pregnancy on feed intake capacity of growing cattle. *Acta Agriculture Scandinavia*, 42: 40-46, 1992.
- INRA. *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeurs des aliments*. Versailles, France:Editions Quae, 307p. 2007.
- Jank, L.; Barrios, S. C.; Do Valle, C. B.; Simeao, R. M.; Alves, G. F. The value of improved pastures to Brazilian beef production. *Crop & Pasture Science*, 65:1132-1137, 2014.
- Kaske, M.; Groth, A. Changes in factors affecting the rate of digesta passage during pregnancy and lactation in sheep fed on hay. *Reprod. Nutr. Dev.*, 37: 573- 588, 1997.
- Lamberth, J. The effect of pregnancy in heifers on voluntary intake, total rumen contents, digestibility and rate of passage. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 9: 493-496, 1969.
- Mamontov, E. Modelling homeorhesis by ordinary differential equations. *Mathematical and Computer Modelling*, 45:694-707, 2007.
- Meschia, G.; Battaglia, F. C.; Hay, W. W. et al. Utilization of substrates by the ovine placenta in vivo. *Federation Proceedings*, 39, 245–249, 1980.
- McNeill, D. M.; Slepetic, R.; Ehrhardt, R. A.; Smith, D. M.; Bell, A. W. Protein requirements of sheep in late pregnancy: partitioning of nitrogen between gravid uterus and maternal tissues. *Journal of Animal Science*, 75:809-816, 1997.
- Muhlhausler, B. S.; Duffield, J. A.; Mcmillen, I. C. Increased maternal nutrition stimulates peroxisome proliferator activated receptor-gamma, adiponectin, and leptin messenger ribonucleic acid expression in adipose tissue before birth. *Endocrinology*, 148:878-885, 2007.
- NRC. Nutrient Requirements of Beef Cattle. updated 7th.ed. Washington, DC, USA:National Academy Press, 242p. 2000.
- Prior, R. L.; Laster, D. B. Development of the bovine fetus. *Journal of Animal Science*, 48:1546-1553, 1979.
- Psiuk-Maksymowicz, K.; Mamontov, E. Homeorhesis-based modelling and fast numerical analysis for oncogenic hyperplasia under radiotherapy. *Mathematical and Computer Modelling*, 47:580-596, 2008.
- Ritchie, R. W. The optimum cow – what criteria must she meet? .In:Research symposium and annual meeting, 27, 1995, Kansas City. Anais. Kansas City:Beef Improvement Federation, p.126-145. 1995.
- Russell, R. G.; Oteruelo, F. T. An ultrastructural study of the differentiation of skeletal muscle in the bovine fetus. *Anat Embryol (Berl)*, 162:403-417, 1981.
- Wu, G.; Bazer, F. W.; Wallace, J. M.; Spencer, T. E. Board-invited review: Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. *Journal of Animal Science*, 84:2316, 2006.
- Zhu, M. J.; Ford, S. P.; Means, W. J.; Hess, B. W.; Nathanielsz, P. W.; Du, M. Maternal nutrient restriction affects properties of skeletal muscle in offspring. *The Journal of Physiology*, 575:241-250, 2006.
- Zhu, M. J.; Han, B.; Tong, J.; Ma, C.; Kimzey, J. M.; Underwood, K. R.; Xiao, Y.; Hess, B. W.; Ford, S. P.; Nathanielsz, P. W.; Du, M. AMP-activated protein kinase signalling pathways are down regulated and skeletal muscle development impaired in fetuses of obese, over-nourished sheep. *J Physiol*, 586:2651-2664, 2008.

Exigências nutricionais de vacas de corte lactantes e seus bezerros

Luiz Fernando Costa e Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Polyana Pizzi Rotta, Sidnei Antônio Lopes, Pedro Veiga Rodrigues Paulino, Mário Fonseca Paulino

INTRODUÇÃO

O Brasil possui um rebanho de aproximadamente 200 milhões de bovinos (ANUALPEC, 2015); dos quais, cerca de 65 milhões são vacas (fêmeas acima de três anos), sendo a grande maioria proveniente de raças zebuínas (*Bos taurus indicus*) e seus cruzamentos, responsáveis pelo fornecimento de animais para toda a cadeia produtiva da carne.

Na produção de bovinos de corte, a fase de cria é importante na cadeia produtiva da carne pelo fato de fornecer os futuros animais que serão utilizados nas demais fases do sistema de produção; adicionalmente, é caracterizada pela utilização de um grande número de animais, cerca de 31% do rebanho de produção são representados por vacas de corte (Calegare, 2004). Estima-se que cerca de 70% das exigências de energia requeridas para a produção de carne são utilizadas para funções envolvidas com a manutenção das vacas (Ferrell e Jenkins, 1985). Assim, cerca de 50% da energia requerida para produzir um animal até o abate é utilizada para manutenção das vacas.

Nesse sentido, a pecuária brasileira tem sido pressionada a desenvolver um programa de produção contínua de carne eficiente e competitivo com base nas áreas atualmente utilizadas, o que obrigatoriamente se baseia na redução do ciclo produtivo. Dessa forma, os sistemas de produção têm se intensificado a fim de reduzir a idade de abate dos animais, elevando a quantidade e a qualidade dos produtos ofertados. Sob essa ótica, torna-se essencial conhecer o consumo de matéria seca (CMS) potencial das vacas e dos bezerros, para um adequado planejamento e adoção de tecnologias, a fim de alcançar as metas produtivas estabelecidas no sistema.

Durante a fase de cria, a mensuração correta da produção de leite (PL) torna-se indispensável uma vez que essa retrata a quantidade de nutrientes que a vaca está secretando no leite. Além disso, essa estimativa será considerada para calcular a quantidade de nutrientes que o bezerro está ingerindo pelo leite, o que será levado em consideração para o atendimento das exigências nutricionais desses animais. A PL pode ser medida diretamente ou indiretamente, sendo que os métodos mais comuns são: a ordenha manual (Gifford, 1953), a pesagem do bezerro antes e após a mamada (Knapp e Black, 1941), a ordenha mecânica após aplicação de ocitocina (Anthony et al., 1959) e a avaliação da concentração de monóxido de deutério no leite (Freetly et al., 2006). Assim, percebe-se que além do entendimento do CMS dos animais, a PL é um fator que irá influenciar no desempenho dos bezerros e conseqüentemente no peso corporal (PC) à desmama. Nesse sentido, a segunda edição do BR-CORTE, em 2010, utilizou a recomendação de Henriques et al. (2011) que avaliaram diferentes modelos para estimar a PL de vacas Nelore lactantes. Porém, a equação sugerida não foi validada.

O consumo de energia metabolizável (CEM) para que não ocorram mudanças na energia presente no corpo irá influenciar as exigências dietéticas de energia para manutenção, sendo essa considerada uma característica de moderada a alta herdabilidade (Carstens et al., 1988). Com isso, a ineficiência energética, de 60 a 70% do total de energia exigida para manutenção dos animais (Bottje e Carstens, 2009) tem sido atribuída ao *turnover* proteico, bomba de íons (Na^+ e K^+) e ao desacoplamento da fosforilação oxidativa na mitocôndria. Assim, a seleção de animais que possuem exigências

para manutença mais baixas poderia ser adotada objetivando obter animais mais eficientes.

As exigências de energia do animal correspondem ao somatório das necessidades de manutença e produção que por sua vez, podem ser divididas em: exigências de energia para crescimento, lactação e gestação (Webster, 1979). Todavia, poucos estudos (Fonseca, 2012a; b) foram conduzidos no Brasil para estimar as exigências nutricionais dos animais na fase de cria, ou seja, das vacas lactantes e dos bezerros lactentes. Com isso, a partir do conhecimento da PL e das exigências nutricionais dos bezerros, a quantidade de energia e proteína secretada pelo leite pode ser conhecida, o que permitiria estimar o momento em que o leite não fornece quantidades suficientes de nutrientes e, assim, obter o momento correto para que haja a suplementação dos bezerros.

Nesse capítulo, serão apresentadas discussões sobre equações desenvolvidas para estimar o CMS e a produção e composição de leite de vacas Nelore lactantes, bem como o CMS de bezerros Nelore lactentes. Ainda,

serão apresentadas as exigências de energia, proteína e minerais para vacas Nelore lactantes e seus bezerros.

CONSUMO DE MATÉRIA SECA DE VACAS DE CORTE LACTANTES

A última edição do BR-CORTE (2010) utilizou o valor constante de 2,39% do PC para o CMS de vacas Nelore lactantes durante os seis primeiros meses de lactação a partir do estudo de Fonseca (2009). No entanto, o uso de valores constantes parece não ser o melhor método para estimar o CMS de vacas Nelore lactantes, visto que as exigências nutricionais desses animais reduzem à medida que a lactação avança. Com isso, Costa e Silva (2015) avaliou cinco modelos para estimar o CMS (g/kg PC) de vacas Nelore durante sete meses de lactação e observaram que a equação ajustada, usando o modelo proposto por Wilmink (1987) acrescido da variável ganho médio diário (GMD) proporcionou as melhores estimativas (Figura 11.1).

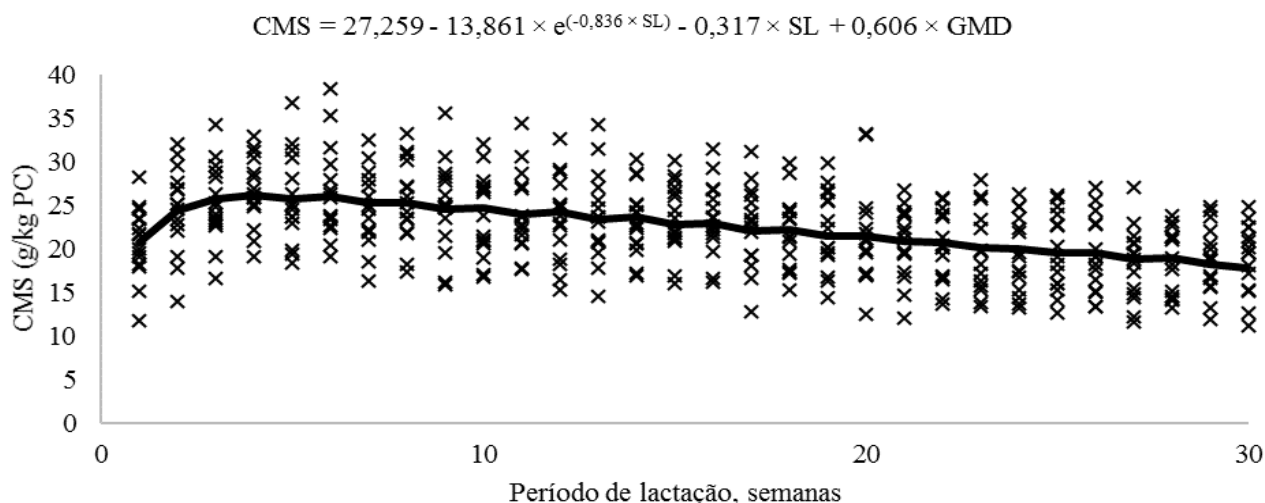


Figura 11.1 - Consumo de matéria seca (g/kg PC) de vacas Nelore durante o período de lactação.

Dessa forma, a equação proposta por Costa e Silva (2015) foi:

$$\text{CMS (g/kg PC)} = 27,259 - 13,861 \times \exp^{(-0,836 \times \text{SL})} - 0,317 \times \text{SL} + 0,606 \times \text{GMD},$$

em que: CMS = consumo de matéria seca, SL = semana de lactação, GMD = ganho médio diário.

Considerando a recomendação do BR-CORTE (2010), percebe-se que apenas os valores preditos no início da lactação

provenientes da equação de Costa e Silva (2015) estão próximos à média recomendada pelo último BR-CORTE. Todavia, ao considerar as últimas 4 semanas de lactação, a diferença entre a recomendação do BR-CORTE (2010) e os valores preditos pela equação de Costa e Silva (2015) foi de 1,5 kg/dia (6,0 vs. 7,5 kg/dia).

Além disso, esse autor verificou se a equação ajustada usando o modelo proposto por Wilmink (1987) adicionada de GMD estima corretamente o CMS de vacas Nelore em lactação mantidas em pastejo a partir de um banco de dados independente que continha um total de 120 observações (Tabela 11.1).

Tabela 11.1 - Estatística descritiva do banco de dados independente utilizado para avaliar as equações de predição do consumo de matéria seca (CMS) e produção de leite de vacas de corte

Estudo	Item	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
Lopes (2012)	Semana de lactação	-	26,5	5,45	37,0	12,0
	Produção de leite	143	6,97	1,58	9,99	4,24
	CMS total	32	11,8	2,35	17,0	7,95
	Peso corporal	32	481	50,6	558	359
	Ganho médio diário	32	-0,34	0,35	0,22	-1,38
Cardenas (2012)	Semana de lactação	-	28,1	6,38	40,0	12,0
	Produção de leite	170	7,00	1,36	9,87	4,21
	CMS total	60	12,9	1,45	16,7	9,94
	Peso corporal	60	450	51,6	567	362
	Ganho médio diário	60	0,20	0,09	0,40	-0,04
Márquez (2013)	Semana de lactação	-	27,3	8,63	41	10
	Produção de leite	61	6,49	1,64	9,4	3,37
	CMS total	28	15,5	3,04	22,9	8,49
	Peso corporal	28	499	44,6	595	428
	Ganho médio diário	28	0,05	0,11	0,28	-0,17
Lopes (2015)	Semana de lactação	-	8,05	2,65	12,0	3,00
	Produção de leite	37	8,47	1,46	10,8	5,79

Adaptada de Costa e Silva (2015).

A partir das avaliações, Costa e Silva (2015) observou que o intercepto e a inclinação da equação não foram diferentes de 0,0 e 1,0, respectivamente. Além disso, o erro

médio de predição foi próximo a zero, estando esse associado ao erro aleatório (92,1%; Tabela 11.2).

Tabela 11.2 - Média (kg) e estatística descritiva para a relação entre os valores observados e preditos para o consumo de matéria seca (CMS) e produção de leite de vacas de corte lactantes e CMS de volumoso e concentrado (CMSvc) de bezerros de corte lactentes

Item	CMS total de vacas		Produção de leite				CMS de volumoso e concentrado	
	OBS ₁	Wilmlink (1987) com GMD ²	OBS ₁	Cobby e Le Du (1978) ³	BR-CORTE (2010) ⁴	NRC (1996) ⁵	OBS ¹	BR-CORTE (2016) ⁶
Média	12,1	11,7	7,04	7,05	6,5	3,49	2,51	2,34
DP	2,28	1,36	1,57	0,58	0,32	1,98	0,64	0,34
Máximo	17,0	14,0	10,8	8,57	7,25	8,00	3,99	3,37
Mínimo	7,95	8,94	3,37	5,98	6,08	0,83	0,99	1,35
R	-	0,38	-	0,39	0,15	0,15	-	0,44
CCC ⁸	-	0,33	-	0,65	0,14	0,13	-	0,33
Regressão								
Intercepto								
Estimativa	-	4,49	-	-0,42	-5,29	5,97	-	0,55
EP	-	2,88	-	0,88	1,45	0,15	-	0,29
P-valor ⁹	-	0,13	-	0,64	< 0,001	< 0,001	-	0,054
Inclinação								
Estimativa	-	0,65	-	1,06	1,9	0,31	-	0,85
EP	-	0,25	-	0,12	0,22	0,04	-	0,12
P-valor ¹⁰	-	0,16	-	0,63	< 0,001	< 0,001	-	0,24
QMEP ¹¹	-	4,68	-	2,09	2,47	16,6	-	0,40
Vício	-	0,15	-	0,00	0,30	12,6	-	0,04
Erro sistemático	-	0,22	-	0,01	0,08	1,86	-	0,002
Erro aleatório	-	4,31	-	2,08	2,09	3,79	-	0,35

¹OBS = valores observados; ²Wilmlink (1987) com GMD = valores preditos da equação gerada a partir do modelo proposto por Wilmlink (1987) adicionado do ganho médio diário (GMD); ³Cobby and Le Du (1978) = valores preditos pela equação gerada a partir do modelo proposto por Cobby e Le Du (1978); ⁴BR-CORTE (2010) = valores preditos pela equação sugerida por Valadares Filho et al. (2010); ⁵NRC (1996): produção de leite = semana/(0,3911 × e^(0,1176 × semana)); ⁶BR-CORTE (2016) = valores preditos pela equação proposta por Costa e Silva (2015); ⁸CCC = coeficiente de correlação e concordância; ⁹H₀: β₀ = 0; ¹⁰H₀: β₁ = 1; ¹¹QMEP = quadrado médio do erro de predição.

Assim, sugere-se que o CMS de vacas Nelore possa ser estimado a partir da seguinte equação:

$$\text{CMS (g/kg PC)} = 27,259 - 13,861 \times \exp^{(-0,836 \times \text{SL})} - 0,317 \times \text{SL} + 0,606 \times \text{GMD}.$$

PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LEITE DE VACAS NELORE

A última edição do BR-CORTE (2010) se baseou no trabalho desenvolvido por Henriques et al. (2011) para a sugestão de uma equação para estimar a produção de leite de vacas Nelore. Esses autores avaliaram cinco modelos e recomendaram que o modelo descrito por Jenkins e Ferrell (1984)

modificado por Detmann (comunicação pessoal) foi o que melhor se ajustou aos dados. No entanto, devido à falta de um modelo desenvolvido para animais zebuínos, a equação sugerida por Henriques et al. (2011) foi adotada:

$$\text{PL} = 5,9579 + 0,4230 \times \text{SL} \times e^{(0,1204 \times \text{SL})},$$

em que PL = produção de leite; SL = semana de lactação. Contudo, Costa e Silva (2015) avaliou cinco modelos disponíveis na literatura para estimar PL de vacas Nelore durante sete meses de lactação. Nesse estudo, as vacas receberam uma dieta com alta quantidade de volumoso (85%) no intuito de simular uma dieta a pasto com

suplementação. Com isso, a equação que apresentou as melhores estimativas foi aquela

ajustada usando o modelo proposto por Cobby e Le Du (1978; Figura 11.2):

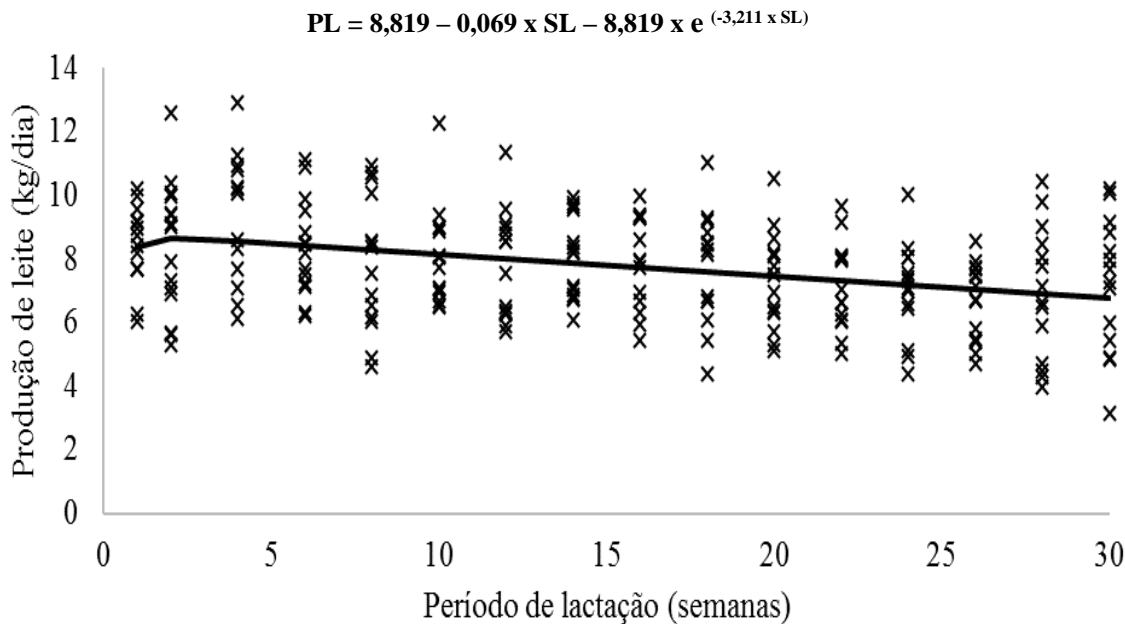


Figura 11.2 - Relação entre produção de leite e semana de lactação de vacas Nelore lactantes.

Além disso, Costa e Silva (2015) avaliou se as equações propostas pelo BR-CORTE (2010), NRC (1996) e a equação estimada a partir do modelo proposto por Cobby e Le Du (1978) estimam corretamente a produção de leite (PL) de vacas Nelore mantidas em pastagem de *Brachiaria spp*, usando um banco de dados independente que continha 411 observações provenientes de 4 experimentos conduzidos no setor de Bovinocultura de Corte do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (Tabela 11.1).

A partir das avaliações, Costa e Silva (2015) verificou que a equação sugerida a partir do modelo proposto por Cobby e Le Du (1978) apresentou as melhores estimativas uma vez que foi a única equação que estimou corretamente a PL de vacas Nelore, apresentando maior CCC (0,65) e menor quadrado médio do erro de predição (2,09), estando 99,5% desse erro associado ao erro aleatório (Tabela 11.2). Assim, sugere-se o uso da seguinte equação para estimar a produção de leite de vacas Nelore:

$$PL = 8,819 - 0,069 \times SL - 8,819 \times e^{(-3,211 \times SL)}$$

Em relação à composição do leite de vacas Nelore, o BR-CORTE (2010) utilizou os dados provenientes do estudo de Fonseca (2009). Todavia, essa recomendação desconsiderou a variação que ocorre durante a lactação quanto à concentração dos componentes do leite, sendo considerado apenas uma média para cada componente durante todo o período de lactação. Além disso, a composição mineral do leite de vacas Nelore em lactação não foi apresentada na última edição do BR-CORTE.

Dessa forma, Costa e Silva et al. (2015a) avaliaram a composição do leite de vacas Nelore multíparas e verificaram que as percentagens de sólidos totais, lactose e gordura não variaram, enquanto que a proteína aumentou durante a lactação. Assim, esses autores sugeriram que a composição do leite de vacas Nelore teria uma percentagem média de 15,0% de sólidos totais, 4,59% de lactose e 5,61% de gordura, enquanto que a proteína aumentaria de 3,6% - do início até 112 dias de lactação - para 3,9% aos 7 meses de lactação. Os valores foram próximos aos recomendados pela edição do BR-CORTE (2010), com exceção para a percentagem de gordura (5,61 vs. 3,88%). Esse maior valor encontrado por Costa e Silva et al. (2015a)

pode ser atribuído ao maior aporte de forragem fornecido na dieta, o que possivelmente estimulou a produção de acetato e assim, proporcionou uma maior quantidade de substrato para a síntese de gordura *de novo* na glândula mamária. Além disso, Costa e Silva et al. (2015a) também

avaliaram a composição mineral do leite de vacas Nelore e consideraram que a concentração média seria 1,11% Ca, 0,76% P, 0,20% Na, 0,25% S, 2,29 ppm Co, 3,20 ppm Cr, 29,9 ppm Fe, e 1,40 ppm Mn (Tabela 11.3).

Tabela 11.3 - Composição do leite de vacas Nelore durante a lactação

Componentes	Dias de lactação							EPM	Valor P
	28	56	84	112	140	168	196		
Sólidos totais (%)	14,5	14,7	14,8	14,9	15,1	15,4	15,6	0,40	0,13
Proteína (%)	3,57 ^c	3,50 ^c	3,54 ^c	3,62 ^c	3,75 ^b	3,87 ^a	3,94 ^a	0,10	<0,001
Lactose (%)	4,58	4,66	4,63	4,62	4,60	4,52	4,48	0,10	0,05
Gordura (%)	5,20	5,44	5,58	5,53	5,65	5,90	5,98	0,40	0,44
Ca (g/kg)	1,13	1,10	1,10	1,10	1,12	1,11	1,10	0,03	0,46
P (g/kg)	0,81 ^a	0,74 ^b	0,73 ^b	0,76 ^{ab}	0,77 ^{ab}	0,77 ^{ab}	0,76 ^{ab}	0,02	0,01
Mg (g/kg)	0,06 ^c	0,07 ^c	0,07 ^c	0,07 ^{bc}	0,08 ^{ab}	0,08 ^a	0,08 ^a	0,01	<0,001
K (g/kg)	0,71 ^{ab}	0,70 ^{ab}	0,71 ^{ab}	0,73 ^a	0,73 ^{ab}	0,69 ^{ab}	0,65 ^b	0,03	0,04
Na (g/kg)	0,22 ^a	0,20 ^b	0,19 ^b	0,19 ^b	0,19 ^b	0,19 ^b	0,20 ^{ab}	0,01	<0,001
S (g/kg)	0,26	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,01	0,08
Co (ppm)	2,32 ^{ab}	2,58 ^a	1,99 ^b	2,20 ^{ab}	2,48 ^{ab}	2,16 ^{ab}	2,28 ^{ab}	0,20	0,03
Cr (ppm)	3,19	3,33	3,24	3,03	3,28	3,27	3,05	0,20	0,12
Cu (ppm)	3,01 ^a	2,28 ^b	1,98 ^b	1,78 ^b	1,73 ^b	1,55 ^b	1,54 ^b	0,20	<0,001
Fe (ppm)	27,9	29,9	27,4	29,3	30,1	32,5	32,0	3,1	0,58
Mn (ppm)	1,47	1,26	1,24	1,36	1,47	1,53	1,47	0,2	0,21
Zn (ppm)	41,1 ^a	35,5 ^b	34,1 ^b	33,9 ^b	34,6 ^b	34,7 ^b	33,8 ^b	1,8	<0,001

Adaptado de Costa e Silva et al. (2015a).

CONSUMO DE MATÉRIA SECA DE BEZERROS NELORE LACTENTES

A edição do BR-CORTE em 2010 recomendou o valor constante de 2,35% PC para o CMS total de bezerros Nelore lactentes durante os seis primeiros meses de lactação; essa recomendação foi oriunda do estudo conduzido por Fonseca (2009). No entanto, Costa e Silva (2015) avaliou cinco modelos disponíveis na literatura para estimar o CMS de volumoso e concentrado para bezerros Nelore durante a fase de amamentação. Assim, conhecendo o consumo de leite através da PL das vacas e o multiplicando pelo seu teor de MS obtêm-se o CMS de leite. Dessa forma, fazendo-se a soma do CMS de leite e dos alimentos sólidos pode-se obter o CMS total dos bezerros no período de amamentação. Com isso, nessa edição do BR-CORTE, a seguinte equação proposta por Costa

Silva (2015) foi adotada para estimar o consumo de matéria seca de volumoso e concentrado:

$$\text{CMSvc} = 0,353 - 0,532 \times \text{CMSleite} + 0,01065 \times \text{PC} + 0,3497 \times \text{GMD},$$

em que CMSvc = consumo de matéria seca de volumoso e concentrado (kg/dia), CMSleite = consumo de matéria seca do leite (kg/dia), PC = peso corporal (kg), GMD = ganho médio diário (kg/dia). Adicionalmente, a partir de um banco de dados independente que continha 232 observações provenientes de 5 experimentos conduzidos em condições de pastagem (Tabela 11.4), essa equação foi avaliada, resultando na correta estimativa do CMS de volumoso e concentrado de bezerros de corte lactentes (Tabela 11.2), sendo então essa equação sugerida pelo BR-CORTE.

Tabela 11.4 - Estatística descritiva do banco de dados independente utilizado para avaliar a predição do consumo de matéria seca de volumoso e concentrado de bezerros de corte lactentes

Estudo	Item	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
Lopes (2012)	Idade (dias)		170	-	-	-
	CMS de concentrado	53	0,63	0,32	0,80	0,00
	CMS de volumoso	53	2,02	0,59	3,34	0,79
	Peso corporal	53	188	31,0	256	123
	Ganho médio diário	53	0,85	0,12	1,14	0,64
Cardenas (2012)	Idade (dias)		192	33,2	245	120
	CMS de concentrado	62	0,46	0,2	0,97	0,04
	CMS de volumoso	62	1,86	0,47	3,04	0,88
	Peso corporal	62	217	30,2	285	154
	Ganho médio diário	62	0,67	0,09	0,92	0,42
Márquez (2013)	Idade (dias)		150	-	-	-
	CMS de concentrado	28	1,08	0,56	2,63	0,28
	CMS de volumoso	28	2,17	1,15	6,31	0,77
	Peso corporal	28	202	21,6	255	151
	Ganho médio diário	28	0,94	0,09	1,13	0,74
Lopes (2015)	Idade (dias)		190	-	-	-
	CMS de concentrado	42	0,84	0,61	1,62	0
	CMS de volumoso	42	2,01	0,41	3,21	1,38
	Peso corporal	42	203	29,0	264	148
	Ganho médio diário	42	0,84	0,12	1,14	0,56
Martins (2016)	Idade (dias)		182	-	-	-
	CMS de concentrado	47	0,75	0,63	2,79	0,00
	CMS de volumoso	47	2,32	1,05	5,63	1,00
	Peso corporal	47	212	28,1	296	161
	Ganho médio diário	47	0,81	0,17	1,08	0,43

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA VACAS DE CORTE LACTANTES

Os cálculos utilizados para as exigências nutricionais de vacas Nelore em lactação e bezerros lactentes seguiram as mesmas recomendações sugeridas nos capítulos anteriores. Devido à falta de experimentos com vacas Nelore em lactação e bezerros lactentes desde a última edição do BR-CORTE (2010), as exigências nutricionais desses animais foram baseadas no experimento conduzido por Fonseca (2009).

Dessa forma, a relação entre o peso de corpo vazio (PCVZ) e PCJ das vacas foi calculada seguindo as recomendações do capítulo 1:

$$PCVZ = 0,8507 \times PCJ^{1,0002},$$

enquanto que a relação entre o ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) e GMD foi considerada 0,936. Conforme explicado no capítulo de exigências de energia para bovinos de corte, a produção de calor foi obtida indiretamente pela diferença entre consumo de energia metabolizável (CEM) e a energia retida (ER), que foram determinados pela técnica de abate comparativo, e a energia secretada no leite. Com isso, as exigências de energia líquida para manutenção das vacas (ELm) foram obtidas pela equação:

$$PCalor = 97,8 \times \exp^{(0,0024 \times CEM)}, S_{XY} = 0,5578,$$

em que $PCalor =$ produção de calor (kcal/PCVZ^{0,75}/dia) e $CEM =$ consumo de energia metabolizável (kcal/PCVZ^{0,75}/dia). Assim, a partir da equação anterior, quando o CEM é igual a zero se obtém o valor de 97,8 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, ou seja, as exigências de energia líquida para manutenção de vacas Nelore em lactação.

O NRC (1996) estabeleceu as exigências de ELM para bovinos de corte como sendo 77 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, obtidas a partir dos dados de Lofgreen e Garret (1968). Ainda, esse sistema recomenda descontos de 10% para animais zebuínos e um acréscimo de 20% para vacas em lactação. Portanto, adotando-se essas recomendações, as ELM de vacas Nelore em lactação, segundo o NRC (1996), seriam de 83,2 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. Buskirk et al. (1992) estimaram a ELM de 72,5 kcal/PCJ^{0,75}/dia para vacas Angus.

Utilizando as recomendações da última edição do BR-CORTE (2010), a exigência de energia líquida para manutenção em animais zebuínos de diferentes classes sexuais foi estimada em 74,2 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. Considerando-se o acréscimo de 20% para vacas em lactação (NRC, 1996), o valor obtido para essa categoria animal deveria ser de 89,0 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, resultado esse que está abaixo do obtido pelo experimento de Fonseca (2009) que foi de 97,8 kcal/PCVZ^{0,75}/dia.

Assim, mesmo considerando os dados de apenas um experimento, por falta de outras informações para essa categoria animal, recomenda-se a utilização do valor de 97,8 kcal/PCVZ^{0,75}/dia como a exigência de energia líquida para manutenção de vacas Nelore em lactação.

A exigência de energia metabolizável para manutenção (EMm) de vacas Nelore em lactação foi obtida quando o CEM se igualou à produção de calor utilizando o método iterativo na equação anteriormente proposta, que resultou no valor de EMm de 135,4 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. A partir desses valores, a eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para manutenção (*km*) foi estimada em 72% (97,8/135,4). Em um estudo de Freetly et al. (2006) com vacas de corte (Hereford × Angus × Redpoll × Pinzgauer) primíparas lactantes, a EMm foi estimada em 146 kcal/PCJ^{0,75}/dia e a eficiência de utilização da EM para manutenção foi estimada em 72%. Por outro lado, Calegare et al. (2007) estimaram a EMm de 141,3 kcal/PC^{0,75}/dia para vacas Nelore lactantes, sendo esse valor próximo ao observado por Fonseca (2009).

A perda de energia relacionada à mobilização de reservas corporais foi obtida a partir da composição corporal das vacas referência abatidas logo após o parto, e daquelas que foram alimentadas ao nível de manutenção durante os primeiros 90 dias, ou seja, aquelas que perderam peso. Assim, a energia retida negativa foi 2,1 Mcal/dia, que dividida pela perda de peso corporal de 0,48 kg/dia, resultou no valor médio de 4,3 Mcal/kg de perda de PC. Esse valor está abaixo do recomendado por outros sistemas de exigências nutricionais que utilizaram animais taurinos como base para os cálculos, o que poderia explicar a diferença entre eles (Tabela 11.5). A eficiência de utilização da energia proveniente da mobilização das reservas corporais para a PL obtida por Freetly et al. (2006) foi de 78%, enquanto que o AFRC (1993) e o CSIRO (2007) consideraram a eficiência de 84%.

Tabela 11.5 - Perda de energia relacionada à mobilização de reservas corporais (Mcal/kg de perda de PC) de acordo com diferentes sistemas de exigências nutricionais

Característica	Fonseca (2009)	NRC (1996)	CSIRO (2007)		INRA (1989)	AFRC (1993)
			Raças britânicas	Raças européias		
Mobilização de reservas corporais	4,3	5,8	6,4	5,5	6,0	4,5

Todavia, poucos trabalhos envolvendo a estimativa das exigências nutricionais de fêmeas zebuínas foram realizados no Brasil (Calegare et al., 2007; Fonseca, 2009; Marcondes et al., 2009; Costa e Silva et al., 2015b). Ainda, os poucos estudos foram realizados em confinamento, onde os animais são mantidos em baias, de forma a permitir um maior controle para a obtenção de variáveis importantes, como o consumo de energia metabolizável, que será utilizado para cálculo das estimativas.

Dessa forma, é provável que haja uma subestimação das exigências de energia para manutenção dos animais mantidos em confinamento, uma vez que não está sendo considerado o gasto extra de energia que se observaria caso os animais estivessem a pasto. Numa situação extensiva, a produção de calor dos animais é influenciada por uma série de fatores inter-relacionados, como disponibilidade e qualidade da forragem, condições ambientais e comportamento do animal em pastejo, como descrito detalhadamente no capítulo de exigências de energia para bovinos de corte.

De acordo com os trabalhos conduzidos com animais a pasto, em que a produção de calor foi estimada a partir da taxa de batimentos cardíacos, o gasto energético relacionado às atividades de pastejo e locomoção, tanto no plano horizontal quanto vertical em áreas de pastagem, correspondeu

entre 8,0 e 11,2% da produção total de energia (Brosh et al., 2010). Dessa forma, pesquisas avaliando o incremento nas exigências de manutenção que as atividades de pastejo podem acarretar no rebanho de cria devem ser conduzidas no Brasil para permitir um melhor entendimento das variações na eficiência energética dos animais (Kelly et al., 2010).

As exigências de energia líquida para ganho (ELg) de vacas Nelore lactantes foram calculadas a partir da equação descrita por Fonseca (2009) utilizando o modelo alométrico:

$$ELg = GPCVZ \times (1,0076 \times PCVZ^{0,2389}),$$

em que ELg = exigência de energia líquida para ganho (Mcal/dia) e PCVZ = peso de corpo vazio (kg/dia). A eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para ganho (kg) de vacas Nelore em lactação foi de 0,44, equivalente à inclinação da reta produzida a partir da relação entre a ER (kcal/PCVZ^{0,75}/dia) e o CEM (kcal/PCVZ^{0,75}/dia) descrita na Figura 11.3. Flatt et al. (1967), trabalhando com vacas holandesas em lactação, encontraram o valor de 0,64 para kg. Se considerar uma energia retida igual a zero nessa equação, pode-se estimar as exigências de EM para manutenção de vacas lactantes de 140,1 kcal/PCVZ^{0,75}, valor próximo ao obtido pelo processo iterativo.

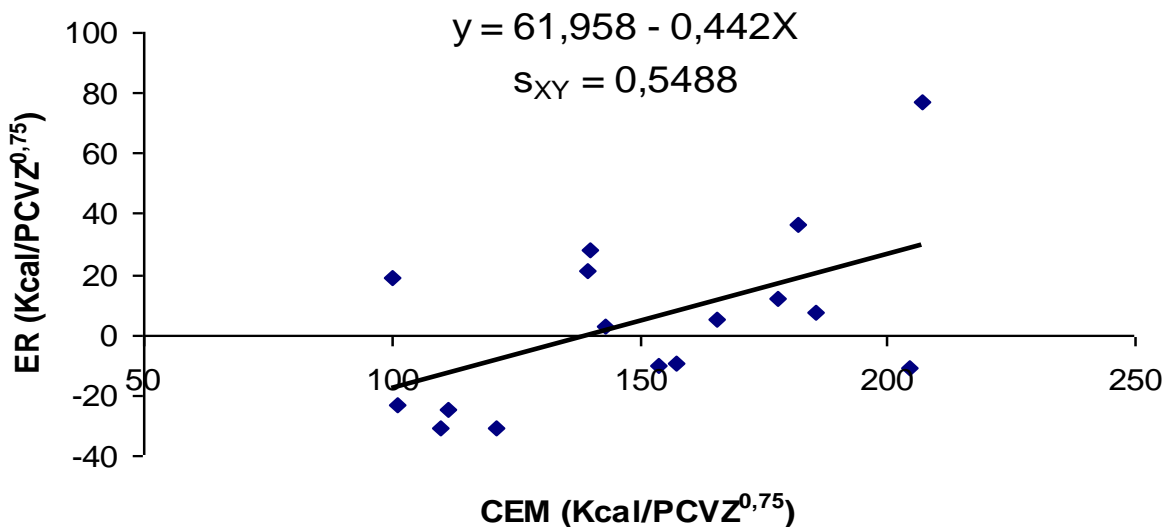


Figura 11.3 - Energia retida em função do consumo de energia metabolizável. Adaptada de Fonseca et al. (2012).

As exigências de energia líquida para lactação (EL_l) foram consideradas como a energia líquida do leite, que no estudo de Fonseca (2009), resultou em 0,75 Mcal/kg de leite. Considerando a eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação (k_l) igual ao km (BCNRM, 2016) de 0,72, pode-se inferir que a exigência de EM para lactação (EM_l) seja de 1,04 Mcal/kg de leite.

Além dessa forma, a EL por kg de leite pode ser obtida a partir dos componentes do leite, sendo cada componente multiplicado pelos seus respectivos valores energéticos. Assim, a partir da composição média do leite do trabalho de Costa e Silva et al. (2015a): 3,69% PB, 4,59% lactose e 5,61% gordura, têm-se que as exigências de EL para lactação, usando a equação do NRC (2001): EL_l (Mcal/kg) = $0,0929 \times \% \text{ gordura} + 0,0547 \times \% \text{ proteína} + 0,0395 \times \% \text{ lactose}$, seriam de 0,904 Mcal/kg de leite. Assim, a EM_l pode ser calculada como 1,26 Mcal/kg de leite ($0,904/0,72$), estando esse valor acima do encontrado por Fonseca (2009), possivelmente pelo maior teor médio de gordura do leite encontrado por Costa e Silva et al. (2015a). Alternativamente, caso não haja a composição completa do leite, ou ainda, quando se conhece apenas o teor de gordura do leite, pode-se usar a equação sugerida pelo NRC (2001): EL_l (Mcal/kg) = $0,36 + 0,0969 \times \% \text{ gordura}$.

Para converter EM para NDT, considera-se a equação sugerida nessa edição para converter EM em ED (para maiores detalhes, ver capítulo 6): $EM = 0,9455 \times ED - 0,3032$, enquanto que ED para NDT foi utilizado o fator de 4,4. Com isso, a EL_l resultaria nas exigências de NDT de 0,38 kg/kg leite, quando a EM_l for 1,26 Mcal/kg leite.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA BEZERROS DE CORTE LACTENTES

A conversão de PCJ para peso de corpo vazio (PCVZ) dos bezerros lactentes pode ser obtida pela relação $PCVZ/PCJ = 0,962$. Ainda, o GMD pode ser convertido em ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) pela relação $GPCVZ/GMD = 0,958$ para os bezerros lactentes. Devido à falta de ajuste dos dados provenientes do estudo de Fonseca

et al. (2012b), as exigências de EM para manutenção de bezerros lactentes não foram estimadas, sendo assim, Costa e Silva et al. (2015b) avaliaram as exigências de EL_m de bezerros Nelore com peso corporal variando de 121 a 300 kg e sugeriram a seguinte equação:

$$PCalor = 0,294 \times \exp^{(1,0530 \times CEM)},$$

em que $PCalor$ = produção de calor (MJ/PCVZ^{0,75}/dia) e CEM = consumo de energia metabolizável (MJ/PCVZ^{0,75}/dia).

Assim, a partir da equação anterior, obtêm-se o valor de 294 kJ/PCVZ^{0,75}/dia, ou seja, 70,3 kcal/PCVZ^{0,75}/dia como as exigências de energia líquida para manutenção de bezerros Nelore. Quanto às exigências de EM para manutenção, quando o CEM é equivalente à produção de calor em jejum, usando essa mesma equação, o valor obtido foi de 118,6 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. Assim, dividindo EL_m por EM_m , a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção foi de 59,3%. As exigências de energia líquida para ganho (EL_g) de bezerros Nelore lactentes (Fonseca et al., 2012b) foram estimadas pela seguinte equação:

$$EL_g = 0,0932 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,9157},$$

em que EL_g = exigência líquida de energia para ganho (Mcal/dia), $PCVZ^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico e $GPCVZ$ = ganho de peso de corpo vazio.

Para converter as exigências de energia líquida para ganho (EL_g) em exigências de energia metabolizável para ganho (EM_g) foram utilizados 2 fatores de eficiência de utilização da EM_g , sendo $kg = 0,69$ para consumo de leite e $kg = 0,57$ para consumo de alimentos sólidos conforme recomendado pelo NRC (2001). Assim, a kg no período de 0 a 90 dias foi considerada 0,66 ($77 \times 0,69 + 23 \times 0,57$) correspondente ao peso dos animais até 100 kg; e no período de 90 a 180 dias (>100 kg de peso corporal) foi considerada a kg de 0,62 ($43 \times 0,69 + 57 \times 0,57$), sendo 77 e 23% e, 43 e 57%, as relações entre consumo de leite e alimentos sólidos ingeridos pelos bezerros nos respectivos períodos (Fonseca, 2009).

As exigências de ED foram calculadas como: $EM/0,96$ (NRC, 2001; para bezerros lactentes) e as exigências de NDT foram calculadas como: $ED/4,4$.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA VACAS DE CORTE LACTANTES

As exigências de proteína metabolizável para manutenção (PMm) foram calculadas a partir da equação sugerida por essa edição do BR-CORTE (para maiores detalhes, ver capítulo 8) para animais criados a pasto:

$$PMm = 3,9 \times PCJ^{0,75},$$

em que $PCJ^{0,75}$ = peso corporal metabólico em jejum. As exigências líquidas de proteína para ganho de vacas Nelore primíparas foram calculadas a partir da equação proposta por Fonseca (2009):

$$PLg \text{ (g/dia)} = GPCVZ \times (376,4 \times PCVZ^{-0,1839}).$$

Para conversão das exigências líquidas de proteína para ganho em exigências de proteína metabolizável para ganho (PMg), a eficiência (k) foi calculada utilizando a recomendação sugerida pelo BR-CORTE (2016):

$$k = 47,4\%.$$

A proteína requerida para lactação é baseada na quantidade de proteína secretada no leite. A partir da equação apresentada para estimar a produção de leite, pode-se estimar a quantidade de proteína que é produzida no leite. O NRC (2001) sugere uma equação para calcular as exigências de proteína metabolizável para lactação (PM_l):

$$PM_l = \text{Pleite}/0,67 \times 1000,$$

em que Pleite = proteína no leite (kg/dia) e $0,67$ = eficiência de utilização da proteína metabolizável para lactação.

A produção de proteína bruta microbiana (PBmic) foi calculada considerando a recomendação apresentada no capítulo 3 em que a síntese microbiana foi calculada em função do consumo de proteína

bruta (CPB) e dos nutrientes digestíveis totais (CNDT) como apresentado a seguir:

$$PBmic \text{ (g/dia)} = -53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2,$$

em que CPB = consumo de proteína bruta (kg/dia) e CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia). Assim, as exigências de proteína degradada no rúmen (PDR) foram calculadas a partir das recomendações dessa edição em que a síntese de proteína microbiana iguala-se às exigências de PDR (para maiores detalhes, ver capítulo 8):

$$PDR = PBmic,$$

enquanto que as exigências de proteína não degradada no rúmen (PNDR) foram obtidas a partir da equação:

$$PNDR = (\text{Proteína metabolizável total} - (PBmic \times 0,64))/0,80.$$

Para se obter as exigências de proteína bruta, deve-se proceder à soma das exigências de PDR e PNDR.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA BEZERROS DE CORTE LACTENTES

As recomendações para as exigências de proteína metabolizável para manutenção (PMm) foram baseadas na equação sugerida nessa edição do BR-CORTE para animais criados a pasto (para maiores detalhes, ver capítulo 8): $PMm = 3,9 \times PCJ^{0,75}$. As exigências líquidas de proteína para ganho de bezerros Nelore lactentes foram calculadas a partir da equação desenvolvida por Fonseca (2009):

$$PLg \text{ (g/dia)} = GPCVZ \times (139,7 \times PCVZ^{0,0351}).$$

Para a conversão das exigências líquidas de proteína para ganho em exigências de proteína metabolizável para ganho (PMg), a eficiência (k) foi calculada usando a equação descrita pelo BR-CORTE (2010):

$$k = 84,665 - 0,1179 \times PCVZ_{eq}.$$

O teor médio de PB no leite de vacas Nelore obtido por Costa e Silva et al. (2015a) foi de 3,69%; esse teor multiplicado pelo percentual de proteína verdadeira no leite (AFRC, 1993), que é de 95%, resulta no valor de 3,50% ou 35,0 g de proteína verdadeira por quilograma de leite. Schroeder e Titgemeyer (2008) realizaram uma revisão sobre a eficiência de utilização da PM e afirmaram que as eficiências de utilização da proteína digestível para ganho de proteína corporal observadas em bezerros foram inferiores ao valor fixo de 67% adotado pelo NRC (2001).

Além disso, essa eficiência pode ser afetada por diversos fatores, tais como o nível de ingestão de proteína e energia, PC, idade, genótipo dos animais e frequência de alimentação (Schroeder e Titgemeyer, 2008). Devido à falta de um valor coerente, considerou-se a eficiência de utilização da proteína metabolizável para lactação de 0,67 (NRC, 2001), o que resultou no valor de 52,3 g de proteína metabolizável (PM) por quilograma de leite, correspondendo às exigências de PM para produção de leite. Esse valor é superior aos 44,8 g de PM por quilograma de leite apresentado para um leite com média de 3,15% de PB (AFRC, 1993; NRC, 2001). Dessa forma, sugere-se que as exigências de PM para lactação de vacas Nelore sejam de 52,3 g/kg de leite.

Da mesma forma que para as vacas, a produção de proteína bruta microbiana (PBmic) foi calculada considerando a recomendação apresentada no capítulo 3 em que a síntese microbiana foi calculada em função do consumo de proteína bruta (CPB) e dos nutrientes digestíveis totais (CNDT).

Contudo, sabe-se que bezerros, ao ingerir o leite, apresentam o reflexo para a formação da goteira esofágica, fazendo com que o leite passe diretamente para o abomaso sem, no entanto, sofrer ação dos microrganismos no rúmen. Nesse caso, considerar que a proteína e a energia do leite interferem na síntese de proteína microbiana (PBmic) não seria o mais correto. Assim, para bezerros lactentes, recomenda-se que os consumos de PB e NDT oriundos do leite devem ser retirados do cálculo de PBmic, pois, caso contrário, haverá superestimação da PDR e subestimação da PNDR. Portanto, para

calcular PBmic de bezerros lactentes, recomenda-se o uso da seguinte equação:

$$PBmic \text{ (g/dia)} = -53,07 + 304,9 \times (CPBtotal - CPBleite) + 90,8 \times (CNDTtotal - CNDTleite) - 3,13 \times (CNDTtotal - CNDTleite)^2,$$

em que CPBtotal = consumo de proteína bruta total da dieta (kg/dia), CPBleite = consumo de proteína bruta oriunda do leite (kg/dia), CNDTtotal = consumo de nutrientes digestíveis totais da dieta (kg/dia) e CNDTleite = consumo de nutrientes digestíveis totais proveniente do leite (kg/dia).

Para o cálculo de CPBleite, deve-se quantificar a produção de leite da vaca e multiplicar pelo teor de proteína bruta do leite. No caso do NDT, deve-se primeiramente quantificar os teores de proteína, lactose e gordura do leite. Depois, a partir da recomendação de Maynard et al. (1979) de que a digestibilidade dos constituintes do leite são: 0,98 (carboidratos), 0,95 (gorduras) e do NRBC (2016) de 0,95 (proteínas), considera-se a soma dos constituintes do leite digestíveis para contabilizar o consumo de NDT proveniente do leite, como mostrado na equação seguinte:

$$CNDTleite = PL \times ((\% PBleite \times 0,95 + \% lactose \times 0,98) + (2,25 \times \% gordura \times 0,95)).$$

Considerando a composição média do leite do trabalho de Costa e Silva et al. (2015a), que foi de 3,69% PB, 4,59% lactose e 5,61% gordura, o teor de NDT desse leite será de aproximadamente 20% na base da matéria natural ou de aproximadamente 138% na base da matéria seca do leite (20/0,145).

No entanto, devido aos bezerros com menos de 100 kg apresentarem baixa atividade microbiana no rúmen pelo consumo quase que exclusivamente de leite, além de dados com essa categoria animal nessa faixa de peso corporal serem escassos, essa edição do BR-CORTE adotou a mesma recomendação da última edição do BR-CORTE, em 2010, para estimar a síntese de proteína microbiana (PBmic) de 120 g PBmic/kg NDT. Porém, destaca-se a necessidade de descontar o NDT proveniente do leite; caso contrário, as estimativas de PBmic estariam superestimadas.

Adicionalmente, as exigências de proteína degradada no rúmen (PDR) foram calculadas a partir das recomendações dessa edição do BR-CORTE em que a síntese de proteína microbiana iguala-se às exigências de PDR (para maiores detalhes, ver capítulo 8):

$$\text{PDR} = \text{PBmic},$$

enquanto que as exigências de proteína não degradada no rúmen (PNDR) foram obtidas a partir da equação:

$$\text{PNDR} = (\text{Proteína metabolizável total} - (\text{PBmic} \times 0,64))/0,80.$$

Para se obter as exigências de proteína bruta, deve-se proceder à soma das exigências de PDR e PNDR.

EXIGÊNCIAS DE MINERAIS DE VACAS LACTANTES E BEZERROS LACTENTES

Devido à falta de dados relacionados às exigências de minerais para manutenção e coeficientes de retenção de vacas Nelore em lactação e bezerros Nelore lactentes, essas estimativas foram calculadas de acordo com as recomendações apresentadas no capítulo 9 sobre as exigências de minerais para bovinos de corte. No caso das exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) para ganho de peso, as quantidades de cada mineral presentes no corpo do animal foram

regredidas em função do PCVZ a partir do modelo a seguir:

$$M_i = a \times \text{PCVZ}^b,$$

em que M_i = a quantidade de cada macromineral (Ca, P, Mg, Na e K; g) presente no corpo do animal e PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

A partir da derivada da equação acima, as exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) para ganho de vacas Nelore lactantes e bezerros Nelore lactentes foram calculadas a partir do modelo:

$$Y = a \times b \times \text{PCVZ}^{b-1},$$

em que Y = exigências líquidas de cada mineral para ganho de peso (g/dia), PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

Assim, as equações geradas para estimar as exigências líquidas de cada mineral para ganho para cada categoria animal estão representadas na Tabela 11.6. Devido ao não ajustamento adequado dos dados para o Ca para as vacas lactantes (Fonseca, 2009), utilizou-se a equação para estimar as exigências líquidas para ganho de peso desse mineral descrita no capítulo 9. Além disso, devido à ausência de recomendações para enxofre e microminerais para ambas categorias animais (Fonseca, 2009), as equações descritas no capítulo 9 foram adotadas.

Tabela 11.6 - Exigências líquidas para ganho de macrominerais para vacas Nelore lactantes e bezerros Nelore lactentes

Item	Equações	
	Vacas ¹	Bezerros
Ca	PCVZ < 462 kg: $\text{GPCVZ} \times (147 \times \text{PCVZ}^{-0,50})$ PCVZ ≥ 462 kg: $\text{ELGCa (kg)} = 0$	$\text{GPCVZ} \times (54,8 \times \text{PCVZ}^{-0,3981})$
P	$\text{GPCVZ} \times (54,4 \times \text{PCVZ}^{-0,4484})$	$\text{GPCVZ} \times (8,6 \times \text{PCVZ}^{-0,0371})$
Mg	$\text{GPCVZ} \times (1,4 \times \text{PCVZ}^{-0,3227})$	$\text{GPCVZ} \times (0,4 \times \text{PCVZ}^{-0,0173})$
Na	$\text{GPCVZ} \times (1,4 \times \text{PCVZ}^{-0,0575})$	$\text{GPCVZ} \times (1,2 \times \text{PCVZ}^{-0,0209})$
K	$\text{GPCVZ} \times (3,1 \times \text{PCVZ}^{-0,2142})$	$\text{GPCVZ} \times (1,5 \times \text{PCVZ}^{-0,0636})$

¹Recomendação para cálcio proveniente do capítulo 9. Demais equações adaptadas de Fonseca (2009).

TABELAS DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE VACAS DE CORTE EM LACTAÇÃO E BEZERROS LACTENTES

A partir das estimativas das exigências de energia, proteína e macrominerais para ganho de peso de vacas de corte lactantes e bezerros lactentes, as exigências dietéticas dos nutrientes podem ser calculadas. As equações utilizadas para os cálculos das exigências

nutricionais de vacas de corte lactantes e bezerros lactentes podem ser visualizadas nas Tabelas 11.7, 11.8 e 11.9, sendo que a equação utilizada para calcular N microbiano está descrita no capítulo 3 enquanto que as exigências líquidas de macrominerais para manutenção, coeficientes de retenção e as exigências dietéticas de microminerais estão descritas no capítulo 9.

Tabela 11.7 - Resumo das equações para estimar as exigências de energia e proteína de vacas de corte lactantes e bezerros lactentes

Item	Equações		Unidade
	Vacas	Bezerros	
CMS	$27,259 - 13,861 \times \exp^{(-0,836 \times SL)} - 0,317 \times SL + 0,606 \times GMD$	$0,353 - 0,532 \times CMS_{leite} + 0,01065 \times PC + 0,3497 \times GMD$	kg/dia
PL	$8,819 - 0,069 \times SL - 8,819 \times e^{(-3,211 \times SL)}$	-	kg/dia
PCJ	$0,88 \times PC^{1,0175}$	-	kg
PCVZ	$0,8507 \times PCJ^{1,0002}$	$0,962 \times PCJ$	kg
GPCVZ	$0,936 \times GMD$	$0,958 \times GMD$	kg/dia
ELm	$97,8 \times PCVZ^{0,75}$	$70,3 \times PCVZ^{0,75}$	kcal/dia
EMm	$135,0 \times PCVZ^{0,75}$	$118,6 \times PCVZ^{0,75}$	kcal/dia
<i>km</i>	ELm/EMm		-
ELg	$GPCVZ \times (1,0076 \times PCVZ^{0,2389})$	$0,0932 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,9157}$	Mcal/dia
<i>kg</i>	0,44	Leite = 0,69 Sólidos = 0,57	-
EMg	ELg/kg		Mcal/dia
EL _l	0,75	-	Mcal/kg leite
<i>k_l</i>	<i>km</i>	-	-
EM _l	EL_l/k_l	-	Mcal/dia
EMt	$EMm + EMg + EM_l$	$EMm + EMg$	Mcal/dia
DE	$((EMt/CMS) + 0,3032)/0,9455 \times CMS$	$EMt/0,96$	
NDT	DE/4,4		kg/dia
PMm	$3,9 \times PCJ^{0,75}$		g/dia
PLg	$GPCVZ \times (376,4 \times PCVZ^{-0,1839})$	$GPCVZ \times (139,7 \times PCVZ^{0,0351})$	g/dia
<i>k</i>	47,4	$84,665 - 0,1179 \times PCVZ_{eq}$	%
PM _l	52,3	-	g/kg leite
PMt	$PMm + PMg + PM_l$	$PMm + PMg$	g/dia
CPB leite	-	$PL \times 0,0369$	g/dia
CNDT leite	-	$PL \times 0,20$	kg/dia
PBmic	$-53,07 + 304,9 \times CPB + 90,8 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2$	PCJ < 150 kg: 120 g/kg NDT PCJ > 150 kg: $-53,07 + 304,9 \times (CPB - CPB_{leite}) + 90,8 \times (CNDT - CNDT_{leite}) - 3,13 \times (CNDT - CNDT_{leite})^2$	g/dia
PDR	PBmic		g/dia
PNDR	$(PMt - (PBmic \times 0,64))/0,80$		g/dia
PB	PDR + PNDR		g/dia

Tabela 11.8 - Resumo das equações para estimar das exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na, K e S) para ganho de peso (g/dia) de vacas de corte lactantes e bezerros lactentes

Item	Equações	
	Vacas	Bezerros
Ca	PCVZ < 462 kg: $GPCVZ \times (147 \times PCVZ^{-0,50})$ PCVZ \geq 462 kg: $ELG_{Ca} \text{ (kg)} = 0$	$GPCVZ \times (54,8 \times PCVZ^{-0,3981})$
P	$GPCVZ \times (54,4 \times PCVZ^{-0,4484})$	$GPCVZ \times (8,6 \times PCVZ^{-0,0371})$
Mg	$GPCVZ \times (1,4 \times PCVZ^{-0,3227})$	$GPCVZ \times (0,4 \times PCVZ^{-0,0173})$
Na	$GPCVZ \times (1,4 \times PCVZ^{-0,0575})$	$GPCVZ \times (1,2 \times PCVZ^{-0,0209})$
K	$GPCVZ \times (3,1 \times PCVZ^{-0,2142})$	$GPCVZ \times (1,5 \times PCVZ^{-0,0636})$
S	$GPCVZ \times (0,03 \times PCVZ^{0,8900})$	

¹PCVZ = peso de corpo vazio (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia), ELG_{Ca} = exigências líquidas de Ca para ganho.

Tabela 11.9 - Resumo das equações utilizadas para o cálculo das exigências dietéticas de microminerais (Cu, Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Se e Zn) para bovinos de corte (Adaptada do Capítulo 9)

Mineral	Exigências líquidas para manutenção	Coeficiente de retenção	Exigências líquidas para ganho (ELG) ¹
	$\mu\text{g/kg}$ peso corporal		mg/dia
Cu	95,6	73,5	$ELG_{Cu} = GPCVZ \times (1,25 \times PCVZ^{0,33})$
Co	13,5	86,8	$ELG_{Co} = GPCVZ \times (0,045 \times PCVZ^{-0,023})$
Cr	22,9	78,4	$ELG_{Cr} = GPCVZ \times (0,23 \times PCVZ^{0,61})$
Fe	2.942	73,4	$ELG_{Fe} = GPCVZ \times (14,0 \times PCVZ^{0,24})$
Mn	184,9	43,9	$ELG_{Mn} = GPCVZ \times (0,07 \times PCVZ^{0,80})$
Mo	3,27	49,7	$ELG_{Mo} = GPCVZ \times (0,0035 \times PCVZ^{0,41})$
Se	3,72	48,7	$ELG_{Se} = GPCVZ \times (1,07 \times PCVZ^{-0,07})$
Zn	334,4	66,8	$ELG_{Zn} = GPCVZ \times (1,16 \times PCVZ^{0,86})$

¹GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

Dessa forma, considerando uma vaca de corte lactante de 450 kg de PC na 10ª semana de lactação com ganho médio diário de 0,2 kg/dia, tem-se:

- $CMS = 27,259 - 13,861 \times \exp^{(-0,836 \times 10)} - 0,317 \times 10 + 0,606 \times 0,20 = 24,21 \text{ g/kg PCJ}$
- $CMS = 24,21 \text{ g/kg PCJ} \times 441 \text{ kg} = 10,68 \text{ kg/dia}$
- $PL = 8,819 - 0,069 \times SL - 8,819 \times e^{(-3,211 \times SL)} = 8,819 - 0,069 \times 10 - 8,819 \times \exp^{(-3,211 \times 10)} = 8,13 \text{ kg/dia}$
- $PCJ = 0,88 \times PC^{1,0175} = 0,88 \times 450^{1,0175} = 441 \text{ kg}$
- $PCVZ = 0,8507 \times PCJ^{1,0002} = 0,8507 \times 441^{1,0002} = 375,3 \text{ kg}$
- $GPCVZ = 0,936 \times GMD = 0,936 \times 0,2 = 0,187 \text{ kg/dia}$

- **Exigências de energia** (Tabela 11.10):

- $EL_m = 97,8 \times PCVZ^{0,75} = 97,8 \times 375,3^{0,75} = 8344 \text{ kcal/dia} = 8,34 \text{ Mcal/dia}$
- $EM_m = 135,0 \times PCVZ^{0,75} = 135,0 \times 375,3^{0,75} = 11511 \text{ kcal/dia} = 11,5 \text{ Mcal/dia}$
- $EL_g = 1,0076 \times PCVZ^{0,2389} \times GPCVZ = 1,0076 \times 375,3^{0,2389} \times 0,187 = 0,78 \text{ Mcal/dia}$
- $EM_g = EL_g/kg = 0,78/0,44 = 1,77 \text{ Mcal/dia}$
- $EL_l = 0,75 \text{ Mcal/kg de leite} = 0,75 \times 8,13 = 6,10 \text{ Mcal/dia}$
- $EM_l = EL_l/k_l = 6,10/0,72 = 8,47 \text{ Mcal/dia}$
- $EM_t = EM_m + EM_g + EM_l = 11,5 + 1,77 + 8,47 = 21,74 \text{ Mcal/dia}$
- $ED = (((EM_t/CMS) + 0,3032)/0,9455) \times CMS = (((21,74/10,68) + 0,3032)/0,9455) \times 10,68 = 26,42 \text{ Mcal/dia}$
- $NDT = ED/4,4 = 26,42/4,4 = 6,00 \text{ kg/dia}$

- **Exigências de proteína** (Tabela 11.10):

- $PM_m = 3,9 \times PCJ^{0,75} = 3,9 \times 441^{0,75} = 375,1 \text{ g/dia}$
- $PL_g = 0,3764 \times PCVZ^{-0,1839} \times GPCVZ = 0,3764 \times 375,3^{-0,1839} \times 0,187 = 0,0237 \text{ kg/dia} = 23,70 \text{ g/dia}$
- $PM_g = PL_g/k = 23,70/0,474 = 50,0 \text{ g/dia}$
- $PM_l = 52,3 \text{ g/kg leite} = 52,3 \times 8,13 = 425,2 \text{ g/dia}$
- $PM_t = PM_m + PM_g + PM_l = 375,1 + 50,0 + 425,2 = 850,3 \text{ g/dia}$
- $PB_{mic} = -53,07 + 304,89 \times CPB + 90,79 \times CNDT - 3,13 \times CNDT^2 = -53,07 + 304,89 \times 1,213 + 90,79 \times 6,00 - 3,13 \times (6,00)^2 = 749 \text{ g/dia}$
- $PDR = PB_{mic} = 749 \text{ g/dia}$
- $PNDR = (PM_t - (PB_{mic} \times 0,64))/0,80 = (850,3 - (749 \times 0,64))/0,80 = 463,7 \text{ g/dia}$
- $PB = PDR + PNDR = 749 + 463,7 = 1212,7 \text{ g/dia}$

Para se obter a concentração requerida de NDT e PB (% MS da dieta), as exigências de NDT (6,00 kg/dia) e PB (1212,7 g/dia) devem ser divididas pelo CMS do animal.

- $NDT (\% \text{ MS da dieta}) = NDT/CMS = 6,00/10,68 = 56,2\%$
- $PB (\% \text{ MS da dieta}) = PB/CMS = 1,2127/10,68 = 11,4\%$

- **Exigências de minerais** (Tabela 11.10):

• **Cálcio:**

- Exigências líquidas para manutenção = $11,7 \times 450/1000 = 5,27 \text{ g/dia}$
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (147 \times PCVZ^{-0,50}) = 0,187 \times (147 \times 375,3^{-0,50}) = 1,42 \text{ g/dia}$
- Exigências líquidas para lactação = $1,1 \text{ g/kg leite} = 1,1 \times 8,13 = 8,94 \text{ g/dia}$
- Exigências dietéticas = $(\text{Exigências líquidas para manutenção} + \text{ganho} + \text{lactação})/\text{coeficiente de retenção} = (5,27 + 1,42 + 8,94)/0,568 = 27,52 \text{ g/dia}$

• **Fósforo:**

- Exigências líquidas para manutenção = $13,5 \times 450/1000 = 6,08 \text{ g/dia}$
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (54,4 \times PCVZ^{-0,4484}) = 0,187 \times (54,4 \times 375,3^{-0,4484}) = 0,71 \text{ g/dia}$
- Exigências líquidas para lactação = $0,77 \text{ g/kg leite} = 0,77 \times 8,13 = 6,26 \text{ g/dia}$

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(6,08 + 0,71 + 6,26)/0,678 = 19,25$ g/dia

Relação Ca:P = $27,52/19,25 = 1,43$

• **Magnésio:**

- Exigências líquidas para manutenção = $5,9 \times 450/1000 = 2,66$ g/dia

- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (1,4 \times PCVZ^{-0,3227}) = 0,187 \times (1,4 \times 375,3^{-0,3227}) = 0,039$ g/dia

- Exigências líquidas para lactação = $0,07$ g/kg leite = $0,07 \times 8,13 = 0,57$ g/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(2,66 + 0,039 + 0,57)/0,355 = 9,21$ g/dia

• **Sódio:**

- Exigências líquidas para manutenção = $6,3 \times 450/1000 = 2,84$ g/dia

- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (1,4 \times PCVZ^{-0,0575}) = 0,187 \times (1,4 \times 375,3^{-0,0575}) = 0,186$ g/dia

- Exigências líquidas para lactação = $0,2$ g/kg leite = $0,2 \times 8,13 = 1,63$ g/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(2,84 + 0,186 + 1,63)/0,371 = 12,55$ g/dia

• **Potássio:**

- Exigências líquidas para manutenção = $23,5 \times 450/1000 = 10,58$ g/dia

- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (3,1 \times PCVZ^{-0,2142}) = 0,187 \times (3,1 \times 375,3^{-0,2142}) = 0,163$ g/dia

- Exigências líquidas para lactação = $0,7$ g/kg leite = $0,7 \times 8,13 = 5,69$ g/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(10,58 + 0,163 + 5,69)/0,484 = 33,95$ g/dia

• **Enxofre:**

- Exigências líquidas para manutenção = $10,4 \times 450/1000 = 4,68$ g/dia

- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (0,03 \times PCVZ^{0,89}) = 0,187 \times (0,03 \times 375,3^{0,89}) = 1,10$ g/dia

- Exigências líquidas para lactação = $0,3$ g/kg leite = $0,3 \times 8,13 = 2,44$ g/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(4,68 + 1,10 + 2,44)/0,773 = 10,63$ g/dia

• **Cobalto:**

- Exigências líquidas para manutenção = $13,5 \times 450/1000 = 6,08$ mg/dia

- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (0,045 \times PCVZ^{-0,023}) = 0,187 \times (0,045 \times 375,3^{-0,023}) = 0,007$ mg/dia

- Exigências líquidas para lactação = $2,3$ mg/kg leite = $2,3 \times 8,13 = 18,70$ mg/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(6,08 + 0,007 + 18,70)/0,868 = 28,56$ mg/dia

• Cobre:

- Exigências líquidas para manutenção = $95,6 \times 450/1000 = 43,02$ mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (1,25 \times PCVZ^{0,33}) = 0,187 \times (1,25 \times 375,3^{0,33}) = 1,65$ g/dia
- Exigências líquidas para lactação = $1,99$ mg/kg leite = $1,99 \times 8,13 = 16,18$ g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(43,02 + 1,65 + 16,18)/0,735 = 82,79$ mg/dia

• Cromo:

- Exigências líquidas para manutenção = $22,9 \times 450/1000 = 10,31$ mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (0,23 \times PCVZ^{0,61}) = 0,187 \times (0,23 \times 375,3^{0,61}) = 1,60$ mg/dia
- Exigências líquidas para lactação = $3,2$ mg/kg leite = $3,2 \times 8,13 = 26,0$ g/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(10,31 + 1,60 + 26,0)/0,784 = 48,35$ g/dia

• Ferro:

- Exigências líquidas para manutenção = $2942 \times 450/1000 = 1324$ mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (14,0 \times PCVZ^{0,24}) = 0,187 \times (14,0 \times 375,3^{0,24}) = 10,86$ mg/dia
- Exigências líquidas para lactação = $29,9$ mg/kg leite = $29,9 \times 8,13 = 243,1$ mg/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(1324 + 10,86 + 243,1)/0,734 = 2150$ mg/dia

• Manganês:

- Exigências líquidas para manutenção = $184,9 \times 450/1000 = 83,21$ mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (0,07 \times PCVZ^{0,80}) = 0,187 \times (0,07 \times 375,3^{0,80}) = 1,50$ mg/dia
- Exigências líquidas para lactação = $1,41$ mg/kg leite = $1,41 \times 8,13 = 11,46$ mg/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(83,21 + 1,50 + 11,46)/0,439 = 219,1$ mg/dia

• Zinco:

- Exigências líquidas para manutenção = $334,4 \times 450/1000 = 150,5$ mg/dia
- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (1,07 \times PCVZ^{0,07}) = 0,187 \times (1,07 \times 375,3^{-0,07}) = 0,13$ mg/dia
- Exigências líquidas para lactação = $35,4$ mg/kg leite = $35,4 \times 8,13 = 287,8$ mg/dia
- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho + lactação)/coeficiente de retenção = $(150,5 + 0,13 + 287,8)/0,668 = 656,3$ mg/dia

Tabela 11.10 - Exigências de energia e proteína e exigências dietéticas de macro e microminerais para vacas de corte lactantes

Exigências	Peso Corporal (kg)								
	400			450			500		
GMD (kg/dia)	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30
CMS (kg/dia)	9,44	9,46	9,49	10,6	10,7	10,7	11,8	11,9	11,9
Energia (Mcal/dia)									
ELm		7,62			8,34			9,04	
EMm		10,5			11,5			12,5	
ELg	0,38	0,76	1,13	0,39	0,78	1,17	0,40	0,80	1,20
EMg	0,86	1,72	2,58	0,88	1,77	2,65	0,91	1,81	2,72
EL _l		6,10			6,10			6,10	
EM _l		8,47			8,47			8,47	
EMt	19,8	20,7	21,6	20,9	21,7	22,6	21,9	22,8	23,7
NDT (kg/dia)	5,46	5,67	5,88	5,79	6,01	6,22	6,12	6,34	6,56
Proteína bruta (g/dia)									
PMm		343			375			407	
PLg	12,1	24,2	36,3	11,8	23,7	35,5	11,6	23,2	34,8
PMg	25,5	51,1	76,6	25,0	50,0	75,0	24,5	49,0	73,5
PM _l		425			425			425	
PMt	794	819	845	825	850	875	856	881	905
PDR	694	717	739	727	749	771	758	780	802
PNDR	437	450	464	450	464	477	464	477	490
PB	1131	1167	1204	1177	1213	1248	1222	1257	1292
Macrominerais (g/dia)									
Ca	25,3	26,6	28,0	26,3	27,5	28,8	27,2	28,4	29,6
P	17,8	18,3	18,9	18,7	19,2	19,8	19,7	20,2	20,7
Mg	8,31	8,36	8,42	9,14	9,19	9,25	9,97	10,0	10,1
Na	11,4	11,7	11,9	12,3	12,5	12,8	13,1	13,4	13,6
K	31,4	31,5	31,7	33,8	33,9	34,1	36,2	36,4	36,5
S	9,18	9,81	10,5	9,92	10,6	11,3	10,7	11,4	12,2
Microminerais (mg/dia)									
Co	27,8	27,8	27,8	28,5	28,5	28,6	29,3	29,3	29,3
Cu	75,1	76,2	77,3	81,7	82,8	83,9	88,2	89,4	90,5
Cr	45,8	46,8	47,7	47,3	48,4	49,4	48,9	50,0	51,1
Fe	1942	1949	1956	2142	2150	2157	2343	2350	2358
Mn	196	198	199	217	219	221	239	240	242
Zn	631	631	631	656	656	656	681	681	681

*Considerando uma vaca na 10ª semana de lactação e produção de leite de 8,13kg/dia.

Para exemplificar as exigências nutricionais de bezerros de corte lactentes, considerou-se um bezerro com 150 kg de PCJ, filho da vaca utilizada no exemplo anterior, com GMD de 0,80 kg/dia e consumindo uma dieta constituída por 55% de leite e 45% de foragem + concentrado com base na matéria seca

- $CMS_{leite} = PL \times \% MS_{leite} = 8,13 \times 0,145 = 1,18 \text{ kg/dia}$
- $CMS_{vc} = 0,353 - 0,532 \times 1,18 + 0,01065 \times 150 + 0,3497 \times 0,80 = 1,60 \text{ kg/dia}$
- $CMS_{total} = CMS_{sólido} + CMS_{leite} = 1,60 + 1,18 = 2,78 \text{ kg/dia}$
- $PCVZ = 0,962 \times PCJ = 0,962 \times 150 = 144 \text{ kg}$
- $GPCVZ = 0,958 \times GMD = 0,958 \times 0,80 = 0,77 \text{ kg/dia}$

- **Exigências de energia** (Tabela 11.11):

- $EL_m = 70,3 \times PCVZ^{0,75} = 70,3 \times 144^{0,75} = 2,93 \text{ Mcal/dia}$
- $EM_m = 118,6 \times PCVZ^{0,75} = 118,6 \times 144^{0,75} = 4,94 \text{ Mcal/dia}$
- $EL_g = 0,0932 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,9157} = 0,0932 \times 144^{0,75} \times 0,77^{0,9157} = 3,04 \text{ Mcal/dia}$
- $kg = 55 \times 0,69 + 45 \times 0,57 = 0,64$
- $EM_g = EL_g/kg = 3,04/0,64 = 4,75 \text{ Mcal/dia}$
- $EM_t = EM_m + EM_g = 4,94 + 4,75 = 9,69 \text{ Mcal/dia}$
- $ED = EM_t/0,96 = 9,69/0,96 = 10,1 \text{ Mcal/dia}$
- $NDT = ED/4,4 = 10,1/4,4 = 2,29 \text{ kg/dia}$

- **Exigências de proteína** (Tabela 11.11):

- $PM_m = 3,9 \times PCJ^{0,75} = 3,9 \times 150^{0,75} = 167 \text{ g/dia}$
- $PL_g = 0,1397 \times PCVZ^{0,0351} \times GPCVZ = 0,1397 \times 144^{0,0351} \times 0,77 = 0,1275 \text{ kg/dia} = 127,5 \text{ g/dia}$
- $k = 84,665 - 0,1179 \times PCVZ_{eq} = 84,665 - 0,1179 \times 144 = 67,7\%$
- $PM_g = PL_g/k = 127,5/0,677 = 188,4 \text{ g/dia}$
- $PM_t = PM_m + PM_g = 167 + 188,4 = 356,4 \text{ g/dia}$
- $CPB_{leite} = PL \times 0,0369 = 8,13 \times 0,0369 = 0,30 \text{ kg}$
- $CNDT_{leite} = PL \times 0,20 = 8,13 \times 0,20 = 1,626 \text{ kg}$
- $PB_{mic} = -53,07 + 304,9 \times (CPB - CPB_{leite}) + 90,8 \times (CNDT - CNDT_{leite}) - 3,13 \times (CNDT - CNDT_{leite})^2 = -53,07 + 304,9 \times (0,46 - 0,30) + 90,8 \times (2,29 - 1,63) - 3,13 \times (2,29 - 1,63)^2 = 73,8 \text{ g/dia}$
- $PDR = PB_{mic} = 73,8 \text{ g/dia}$
- $PNDR = (PM_t - (PB_{mic} \times 0,64))/0,80 = (356,4 - (73,8 \times 0,64))/0,80 = 385 \text{ g/dia}$
- $PB = PDR + PNDR = 73,8 + 385 = 459 \text{ g/dia}$

Do mesmo modo que para as vacas, para se obter a concentração requerida de NDT e PB (% MS da dieta), as exigências de NDT (2,29 kg/dia) e PB (459 g/dia) deve ser dividida pelo CMS do animal.

- $NDT (\% MS \text{ da dieta}) = NDT/CMS = 2,29/2,78 = 82,4\%$
- $PB (\% MS \text{ da dieta}) = PB/CMS = 0,459/2,78 = 16,5\%$

- Exigências de minerais (Tabela 11.11):**• Cálcio:**

- Exigências líquidas para manutenção: $11,7 \times 150/1000 = 1,755$ g/dia

- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (54,8 \times PCVZ^{-0,3981}) = 0,77 \times (54,8 \times 144^{-0,3981}) = 5,835$ g/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho)/coeficiente de retenção = $(1,755 + 5,835)/0,568 = 13,36$ g/dia

• Fósforo:

- Exigências líquidas para manutenção: $13,5 \times 150/1000 = 2,025$ g/dia

- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (8,6 \times PCVZ^{-0,0371}) = 0,77 \times (8,6 \times 144^{-0,0371}) = 5,507$ g/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho)/coeficiente de retenção = $(2,025 + 5,507)/0,678 = 11,11$ g/dia

Relação Ca:P = $13,36/11,1 = 1,20$

• Magnésio:

- Exigências líquidas para manutenção: $5,9 \times 150/1000 = 0,885$ g/dia

- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (0,4 \times PCVZ^{-0,0173}) = 0,77 \times (0,4 \times 144^{-0,0173}) = 0,282$ g/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho)/coeficiente de retenção = $(0,885 + 0,282)/0,355 = 3,29$ g/dia

• Sódio:

- Exigências líquidas para manutenção: $6,3 \times 150/1000 = 0,945$ g/dia

- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (1,2 \times PCVZ^{-0,0209}) = 0,77 \times (1,2 \times 144^{-0,0209}) = 0,833$ g/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho)/coeficiente de retenção = $(0,945 + 0,833)/0,371 = 4,79$ g/dia

• Potássio:

- Exigências líquidas para manutenção: $23,5 \times 150/1000 = 3,525$ g/dia

- Exigências líquidas para ganho = $GPCVZ \times (1,5 \times PCVZ^{-0,0636}) = 0,77 \times (1,5 \times 144^{-0,0636}) = 0,842$ g/dia

- Exigências dietéticas = (Exigências líquidas para manutenção + ganho)/coeficiente de retenção = $(3,525 + 0,842)/0,484 = 9,02$ g/dia

Ressalta-se que não existem trabalhos que visaram avaliar as exigências dietéticas de S e microminerais para essa categoria animal sendo sugerido o uso das mesmas recomendações do capítulo 9

Tabela 11.11 - Exigências de energia, proteína e dietética dos macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) para bezerros de corte lactentes

Exigências	Peso Corporal (kg)											
	100			150			200			250		
GMD (kg/dia)	0,60	0,80	1,00	0,60	0,80	1,00	0,60	0,80	1,00	0,60	0,80	1,00
CMS (kg/dia)	2,18	2,25	2,32	2,71	2,78	2,85	3,24	3,31	3,38	3,78	3,85	3,92
Energia (Mcal/dia)												
ELm	2,16			2,93			3,63			4,29		
EMm	3,64			4,94			6,13			7,24		
ELg	1,72	2,24	2,75	2,34	3,04	3,73	2,90	3,77	4,63	3,43	4,46	5,47
EMg	2,61	3,40	4,17	3,65	4,75	5,83	4,60	5,99	7,35	5,55	7,22	8,86
EMt	6,26	7,04	7,81	8,59	9,69	10,8	10,7	12,1	13,5	12,8	14,5	16,1
NDT (kg/dia)	1,48	1,67	1,85	2,03	2,29	2,55	2,54	2,87	3,19	3,03	3,42	3,81
Proteína bruta (g/dia)												
PMm	123			167			207			245		
PLg	94,3	126	157	95,6	127	159	96,6	129	161	97,3	130	162
PMg	129	171	214	141	188	236	156	208	260	173	230	288
PMt	252	295	338	308	356	403	363	415	467	418	476	533
PDR	0,00	5,00	27,0	30,7	73,8	116	117	167	216	200	257	311
PNDR	315	364	400	361	385	411	360	385	411	362	389	418
PB	315	369	427	392	459	527	478	552	627	563	646	729
Macrominerais (g/dia)												
Ca	11,1	14,1	17,1	10,8	13,36	15,9	11,0	13,2	15,5	11,4	13,5	15,6
P	8,15	10,2	12,2	9,05	11,11	13,1	9,98	12,0	14,0	10,9	12,9	14,9
Mg	2,26	2,46	2,66	3,09	3,29	3,48	3,92	4,11	4,31	4,74	4,94	5,14
Na	3,39	3,95	4,51	4,22	4,79	5,34	5,06	5,62	6,17	5,90	6,46	7,01
K	6,19	6,63	7,08	8,58	9,02	9,45	11,0	11,4	11,8	13,4	13,8	14,2

¹Para converter ELg em EMg, foram utilizados os seguintes kg em função do peso corporal dos animais: 100 kg – 0,66; 150 kg – 0,64; 200 kg – 0,63; e 250 kg – 0,618; ²Considerando a produção de leite nas seguintes semanas: 10^a – 8,13 kg/dia (100 kg PC); 19^a – 7,51 kg/dia (150 kg PC); 28^a – 6,89 kg/dia (200 kg PC); e 37^a – 6,27 kg/dia (250 kg PC).

SUPLEMENTAÇÃO DE BEZERROS NO PERÍODO DE AMAMENTAÇÃO

A partir das informações geradas nos estudos de Fonseca (2009) e Costa e Silva et al, (2015a), ou seja, considerando-se a curva de lactação de vacas Nelore, a composição média do leite e de acordo com as exigências nutricionais obtidas para os bezerros na fase pré-desmama, torna-se possível estimar o momento em que o leite não é mais suficiente para suprir os nutrientes demandados para o crescimento do bezerro. Considerando a energia e a proteína como os nutrientes mais limitantes, evidencia-se que, a partir da 12^a semana de vida, ou seja, por volta dos 84 dias

de idade, o leite não fornece toda a energia necessária para que o bezerro tenha um GMD próximo de 1000 g/dia. Por outro lado, a proteína torna-se o limitante apenas a partir da 20^a semana, ou seja, em torno de 140 dias de vida do bezerro, o que seria em torno de 70 a 100 dias antes da desmama. Portanto, para que bezerros Nelore consigam manter um ganho de peso da ordem de 900 g/dia até a desmama, é necessário a utilização de suplementos múltiplos via *creep feeding*, a partir do terceiro mês de vida, ou então, utilizar vacas de maior potencial para produção de leite (Tabela 11.12).

Tabela 11.12 - Produção de leite de vacas Nelore, disponibilidade de energia metabolizável (EM) e proteína metabolizável (PM) via leite, exigências totais de EM e PM de bezerros Nelore lactentes e a necessidade de leite para atender as exigências de EM dos bezerros, de acordo com a semana de lactação e o peso dos animais

SL ¹	PC ²	PL ³	EM leite ⁴	PM leite ⁵	EMt ⁶	PMt ⁷	NL ⁸
1	35,6	8,39	6,38	197	2,82	58,5	3,70
2	41,2	8,67	6,59	204	3,14	65,3	4,13
3	46,8	8,61	6,54	202	3,46	71,8	4,55
4	52,4	8,54	6,49	201	3,76	78,1	4,95
5	58,0	8,47	6,44	199	4,06	84,3	5,34
6	63,6	8,40	6,39	197	4,35	90,3	5,73
7	69,2	8,34	6,34	196	4,64	96,2	6,10
8	74,8	8,27	6,28	194	4,91	102	6,47
9	80,4	8,20	6,23	193	5,19	108	6,83
10	86,0	8,13	6,18	191	5,46	113	7,18
11	91,6	8,06	6,13	189	5,72	119	7,53
12	97,2	7,99	6,07	188	5,98	124	7,87
13	103	7,92	6,02	186	6,24	129	8,21
14	108	7,85	5,97	184	6,49	135	8,54
15	114	7,78	5,92	183	6,74	140	8,87
20	142	7,44	5,65	175	7,95	165	10,5

¹SL = semana de lactação; ²PB = peso do bezerro, kg: considerou-se o peso ao nascimento de 30 kg e GMD de 0,8 kg/dia; ³PL = produção de leite; ⁴EM via leite: quantidade de energia metabolizável disponibilizada ao bezerro via leite (Mcal/dia); ⁵PM via leite: quantidade de proteína metabolizável disponibilizada ao bezerro via leite (g/dia); ⁶EMt = exigências totais (manutenção + ganho) de energia metabolizável do bezerro; ⁷PMt: exigências totais (manutenção + ganho) de proteína metabolizável do bezerro; ⁸NL: necessidade de leite (kg/dia) para atender as exigências totais de EM do bezerro. Adaptada da última versão do BR-CORTE (2010).

Contudo, mesmo que o aumento na produção de leite devido à maior capacidade genética das vacas permita aumentar o ganho de peso à desmama dos bezerros, não se pode negligenciar que, o nível nutricional na maior parte dos sistemas baseados em pastagens é limitante para dar suporte a níveis elevados de produção de leite (Paulino et al., 2012). Adicionalmente, entre o 3º e 4º mês de idade, ocorrem mudanças consideráveis no trato digestório do bezerro, época em que esse animal se transforma efetivamente em animal ruminante (Porto et al., 2009), o que o torna cada vez mais dependente do pasto. Entretanto, na maioria dos sistemas brasileiros de produção, esses processos acontecem durante o período de transição águas-seca, período em que ocorre a diminuição na qualidade e quantidade de forragem disponível para o pastejo. Consequentemente, a diferença entre as exigências nutricionais do bezerro e a

quantidade de nutrientes supridos pelo leite e pelo pasto tende a aumentar, colocando o bezerro em situação desfavorável no tocante ao equilíbrio nutricional. Assim, para os sistemas intensivos de produção de bovinos, que exigem maior aporte nutricional, visualiza-se a suplementação dos animais lactentes sob sistema de *creep feeding*. O *creep feeding* refere-se ao fornecimento do alimento adicional para animais em fase de aleitamento, em local cujo acesso é restrito aos bezerros (Paulino et al., 2012).

Estudos sobre o *creep feeding* em condições tropicais têm consistentemente demonstrado aumento no PC dos bezerros à desmama (Tabela 11.13), evidenciando a importância do *creep feeding* para antecipar a idade ao abate e o início da atividade reprodutiva de animais criados em condições de pastejo (Paulino et al., 2010). Contudo, o ganho de peso adicional com a utilização do *creep feeding*, é variável. Fatores como a

quantidade e a qualidade do pasto, a produção de leite das vacas, o potencial de crescimento dos bezerros, raça, o sexo, a idade dos bezerros ao desmame, e mesmo o tipo de

suplemento e o tempo de utilização do *creep feeding* influenciam o desempenho dos animais.

Tabela 11.13 - Resumo dos dados de estudos sobre creep feeding

Estudo ¹	Período experimental (d)	Sexo do Bezerro	Consumo de suplemento (g) ²	Teor de PB no suplemento (g/kg)	GMD ³	
					MM	SUP
De Paula et al. (2012)	112	Macho	583	300	662	728
Valente et al. (2013)	112	Macho	530	150-550	608	804
Barros et al. (2014)	112	Fêmea	500	250	687	769
Lopes et al. (2014)	140	Macho	900	80-410	727	880
Cardenas et al. (2015)	140	Fêmea	500	80-400	619	677
Barros et al. (2015)	140	Macho	850	250	731	843
Marquez et al. (2014)	150	Fêmea	450	250	628	677
Lopes (2015)	140	Macho	1200	250	720	873
Almeida (2016) ⁴	140	Fêmea	800	250	642	732
Martins (2016) ⁴	140	Macho	1600	250	500	900

¹ Dados processados; para acessar dados individuais consultar as referências.

² Consumo médio de suplemento dos animais suplementados.

³ GMD = ganho médio diário (g), MM = bezerros receberam apenas mistura mineral; ou SUP = bezerros receberam suplementos múltiplos em sistema de *creep feeding*.

⁴ Dados não publicados.

Desta forma, obedecido o limite imposto pela genética, quanto menor for a capacidade do pasto e/ou leite em suprir a demanda nutricional dos bezerros, maior será a resposta relativa com a utilização do *creep feeding*, refletindo positivamente na eficiência e na rentabilidade dessa técnica.

No entanto, é difícil recomendar o melhor nível de suplementação (% PC) e o melhor teor de PB no concentrado uma vez que essa combinação é inversamente proporcional, ou seja, quando objetiva-se fornecer menores quantidades de suplemento, deve-se fornecer um teor maior de PB, sendo a recíproca verdadeira. Portanto, a quantidade de suplemento e o teor de PB no suplemento vão depender diretamente do objetivo do produtor e do ganho almejado.

REFERÊNCIAS

Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants*. Wallingford: Commonwealth Agricultural Bureaux International, 159p. 1993.

Almeida, D. M. *Efeitos dos níveis de suplementação sobre o desempenho e características metabólicas e nutricionais das matrizes, bezerras lactentes e novilhas em pastejo*. Viçosa, MG: UFV. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2016.

Anthony, W. B.; Parks, P. F.; Mayton, E. L.; Brown, L. V.; Sterling, J. G.; Patterson, T. B. A new technique for securing milk production data for beef cows nursing calves in nutrition studies. *Journal of Animal Science*, 18:1541-1541, 1959.

ANUALPEC - Anuário da Pecuária Brasileira. Instituto iFNP: São Paulo. 280p. 2015.

Barros, L. V.; Paulino, M. F.; Chizzotti, M. L.; Rennó, L. N.; Cardenas, J. E. G.; Valente, E. E. L.; Lopes, S. A.; Cabral, C. H. A.; Paula, N. F.; Silva, F. G. Supplementation of female calves in creep feeding system and productive and nutritional parameters of beef cows on tropical pasture, *Semina: Ciências Agrárias*, 35:2723-2738, 2014.

- Barros, L. V.; Paulino, M. F.; Marquez, D. E. C.; Cabral, C. H. A.; Silva, F. G.; Caldeira, D. S. A.; Lopes, S. A.; Moura, F. H. Supplementation of suckling beef calves on a creep-feeding system and nutritional evaluation of lactating beef dams. *Semina: Ciências Agrárias*, 36: 3431-3444.
- Beef Cattle Nutrient Requirement Model – BCNRM. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th edition. Washington, DC: The National Academies Press, 475p, 2016.
- Bottje, W. G.; Carstens, G. E. Association of mitochondrial function and feed efficiency in poultry and livestock species. *Journal of Animal Science*, 87:48-63, 2009.
- BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhães, K. A. *Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos – BR-CORTE*. 1. ed. – Viçosa: UFV, DZO. 142p. 2006.
- BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE*, 2 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 193 p. 2010.
- Brosh, A.; Henkin, Z.; Ungar, E. D.; Dolev, A.; Shabtay, A.; Orlov, A.; Yehuda, Y.; Aharoni, Y. Energy cost of activities and locomotion of grazing cows: a repeated study in larger plots. *Journal of Animal Science*, 88:315-323, 2010.
- Buskirk, D. D., R. P. Lemenager, L. A. Horstman. 1992. Estimation of net energy requirements (Nem and NE delta) of lactating beef cows. *Journal of Animal Science*, 70:3867-3876.
- Calegare, L. N. P. *Exigências e eficiência energética de vacas de corte Nelore e de cruzamentos Bos taurus × Nelore*. Piracicaba, SP: ESALQ, 2004, 79p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz. 2004.
- Calegare, L.; Alencar, M. M.; Packer, I. U.; Lanna, D. P. Energy requirements and cow/calf efficiency of Nelore and Continental and British *Bos taurus* × Nelore crosses. *Journal of Animal Science*, 85:2413-2422. 2007.
- Cardenas, J. E. G. *Suplementação de bezerras de corte lactentes com diferentes níveis de proteína e características nutricionais e produtivas de vacas de corte*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 2012.
- Cardenas, J. E. G.; Paulino, M. F.; Lopes, S. A.; Silva, A. G.; Barros, L. V.; Valente, E. E. L. Desempeño productivo, consumo y digestibilidad de terneras lactantes criadas en pastoreo suplementadas con diferentes niveles de proteína bruta. *Archivos de Zootecnia*, 64: 167-174. 2015.
- Carstens, G. E.; Jhonson, D. E.; Jhonson, K. A.; Hotovoy, S. K.; Szymanski, T. J. Genetic variation in energy expenditures of monozygous twin beef cattle at 9 and 20 months of age. In: *Energy Metabolism of Farm Animals*, Proc. 11th Symposium. EAAP Publ. 43:72. 1988.
- Cobby, J. M.; Le Du, Y. L. P. On fitting curves to lactation data. *Animal Production*, 26:127-133, 1978.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO. *Nutrients requirements for Domestic Ruminants*. Victoria: 270p. 2007.
- Costa e Silva, L. F. Mineral requirements for Nelore cattle and equations to predict milk yield and dry matter intake for lactating Nelore cows and suckling Nelore calves. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 125 p, 2015.
- Costa e Silva, L. F.; Engle, T. E.; Valadares Filho, S. C.; Rotta, P. P.; Villadiego, F. A. C.; Silva, F. A. S.; Martins, E. C.; Silva, L. H. R.; Paulino, M. F. Nelore cows and their calves during the lactation period. Performance, intake, milk composition, and total apparent nutrient digestibility. *Tropical Animal Health and Production*, 47:735-741, 2015a.
- Costa e Silva, L. F.; Engle, T. E.; Valadares Filho, S. C.; Rotta, P. P.; Valadares, R. F. D.; Silva, B. C.; Pacheco, M. V. C. Intake, apparent digestibility, and nutrient requirements for growing Nelore heifers and steers fed two levels of calcium and phosphorus. *Livestock Science*, 181: 17-24, 2015b.
- De Paula, N. F. *Crescimento de bovinos de corte no sistema pasto/suplemento submetidos a diferentes planos nutricionais*. Viçosa, MG: UFV. 129p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2012.
- Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science*, 61:725-741, 1985.

- Flatt, W. P.; Moe, P. W.; Munson, A. W.; Cooper, T. Energy utilization by high producing dairy cows. II. Summary of energy balance experiments with lactating Holstein cows. Page 235 in *Energy Metabolism of Farm Animals*, EAAP Publ. 12, Warsaw, Poland. 1967.
- Fonseca, M. A. *Exigências Nutricionais de Vacas e Bezerros Nelore, do nascimento à desmama*. Viçosa, MG: UFV, 2009. 87p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2009.
- Fonseca, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Henriques, L. T.; Paulino, P. V. R.; Detmann, E.; Fonseca, E. A.; Benedeti, P. D. B.; Silva, L. D. Exigências nutricionais de bezerros Nelore lactentes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:1212-1221, 2012a.
- Fonseca, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Henriques, L. T.; Paulino, P. V. R.; Detmann, E.; Benedeti, P. D. B.; Silva, L. D.; Amaral, P. M. Exigências nutricionais de vacas Nelore primíparas lactantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:1222-1230, 2012b.
- Freetly, H. C.; Nienaber, J. A.; Brandl, T. B. Partitioning of energy during lactation of primiparous beef cows. *Journal of Animal Science*, 84:2157-2162, 2006.
- Gifford, W. Records performance tests for beef cattle in breeding herds. Milk production, milk production of dams and growth of calves. *Arkansas Agricultural Experiment Bulletin* 531. 1953.
- Henriques, L. T.; Valadares Filho, S. C.; Fonseca, M. A.; Paulino, P. V. R.; Detmann, E.; Valadares, R. F. D. Avaliação de modelos não-lineares e da relação do consumo voluntário de vacas primíparas e de bezerros com a curva de lactação de vacas Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:1287-1295. 2011.
- Institut National de la Recherche Agronomique – INRA. *Alimentation des bovines, ovins, et caprins*. JARRIGE. R. (Ed.) Paris: INRA. 1989.
- Jenkins, T. G.; Ferrell, C. L. A note on lactation curves of crossbred cows. *Animal Production*, 39:479-482, 1984.
- Kelly, A. K.; Mcgee, M.; Crews Jr, D. H.; Fahey, A. G.; Wylie, A. R.; Kenny, D. A. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *Journal of Animal Science*, 88:109-123, 2010.
- Knapp, B.; Black, W. H. Factors influencing the rate of gain in beef calves during the suckled period. *Journal of Agricultural Research*, 63:249-249, 1941.
- Lima, J. A. C. *Suplementação de bezerros de corte lactentes em pastejo com diferentes fontes energéticas*. Viçosa, MG: UFV. 16p. Dissertação (Mestrado em zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2015.
- Lofgreen, G. P.; Garret, W. N. A. System for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 27:793-806, 1968.
- Lopes S. A. *Estratégias de suplementação para vacas de corte gestantes no período seca e suplementação de bezerros de corte lactentes com diferentes níveis de proteína*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 2012.
- Lopes, S. A.; Paulino, M. F.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Valente, E. E. L.; Barros, L. V.; Cardenas, J. E. G.; Almeida, D. M.; Martins, L. S.; Silva, A. G. Supplementation of suckling beef calves with different levels of crude protein on tropical pasture. *Tropical Animal Health and Production*, 46: 379-384, 2014.
- Lopes S. A. *Estratégias para otimização da performance de bovinos em pastagem tropical*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 2015.
- Marcondes, M. I.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Nascimento, F. B.; Fonseca, M. A. Exigências nutricionais de proteína, energia e macrominerais de bovinos Nelore de três classes sexuais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1587-1596, 2009.
- Márquez, D. E. C. *Parâmetros nutricionais e produtivos de bezerras suplementadas e vacas de corte lactentes em pastejo*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 2013.
- Marquez, D. C.; Paulino, M. F.; Marcondes, M. I.; Rennó, L. N.; Barros, L. V.; Martins, L. S.; Ortega, R. M.; Silva, A. G.; Almeida, D. M.; Sotello, D. P.; Moura, F. H. Parâmetros nutricionais e produtivos de bezerras suplementadas a pasto com diferentes fontes de alimentos protéicos. *Semina: Ciências Agrárias*, 35:2709-2722, 2014.

- Martins, L. S. *Efeitos da suplementação sobre desempenho e características nutricionais e metabólicas de vacas e bezerros de corte a pasto*. Viçosa, MG: UFV. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2016.
- Maynard, L. A.; Loosli, J. K.; Hintz, H. F.; Warner, R. K. *Animal Nutrition*. McGraw-Hill Book Co., New York, USA, 602 p, 1979.
- National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7 ed. National Academic Press. Washington, D.C. 248p. 1996.
- National Research Council - NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7 ed. National Academic Press. Washington, D.C. 381p. 2001.
- Paulino, M. F.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Silva, A. G.; Cabral, C. H. A.; Valente, E. E. L.; Barros, L. V.; De Paula, N. F.; Lopes, S. A.; Couto, V. R. M. Bovinocultura programada. In: VII Simpósio de Produção de Gado de Corte, Viçosa. *Anais...Viçosa: DZO-UFV*, 267-297, 2010.
- Paulino, M. F.; Detmann, E.; Silva, A. G.; Almeida, D. M.; Valente, E. E. L.; Maciel, I. F. S.; Nascimento, J. L. M.; Bittencourt, J. A.; Martins, L. S.; Barros, L. V.; De Paula, N. F.; Mendes, R. K. V.; Lopes, S. A.; Carvalho, V. V. Bovinocultura de alto desempenho com sustentabilidade. In: VIII Simpósio de Produção de Gado de Corte, Viçosa. *Anais...Viçosa: DZO-UFV*, 183-196. 2012.
- Petrie, L.; Acres, S. D.; McCartney, D. H. The Yield of colostrum and colostral gammaglobulins in beef cows and the absorption of colostral gammaglobulins by beef calves. *Canadian Veterinary Journal*, 25:273–279, 1984.
- Porto, M. O.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Sales, M. F. L.; Couto, V. R. M. Fontes de energia em suplementos múltiplos para bezerros Nelore em creep feeding: desempenho produtivo, consumo e digestibilidade dos nutrientes. *Revista brasileira de Zootecnia*, 38:1329-1339, 2009.
- Schroeder, G. F.; Titgemeyer, E. C. Interaction between protein and energy supply on protein utilization in growing cattle: a review. *Livestock Science*, 114:1-10, 2008.
- Valente, E. E. L.; Paulino, M. F.; Barros, L. V.; Almeida, D. M.; Martins, L. S.; Cabral, C. H. A. Effect of calves' supplementation on performance, nutritional and behavioral characteristics of their dams. *Tropical Animal Health and Production*, 45:487-495, 2013.
- Von Bertalanffy, L. Quantitative laws in metabolism and growth. *The Quarterly Review of Biology*, 32:217. 1957.
- Webster, A. J. F. Energy metabolism and requirements. In: Curch, D.C. (Ed.). *Digestive physiology and nutrition of ruminants*. 2 ed. Oregon: Book Stores, p. 210-229. 1979.
- Wilmink, J. B. M. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livestock Production Science*, 16:335-348, 1987.

Manejo ambiental e predição da excreção de nitrogênio e fósforo por bovinos de corte

Laura Franco Prados, Mario Luiz Chizzotti, Sebastião de Campos Valadares Filho, Fernanda Helena Martins Chizzotti, Polyana Pizzi Rotta e Luiz Fernando Costa e Silva

INTRODUÇÃO

Bovinos de corte retém apenas uma porção dos nutrientes consumidos, sendo o remanescente perdido nas fezes, urina, eructação ou flatulências (BCNRM, 2016). As excreções distribuídas em pastagens bem manejadas representam pouco ou nenhum impacto pois o sistema solo-planta é capaz de utilizar a maioria dos nutrientes presentes nos dejetos, porém em áreas de aguadas, áreas de descanso ou próximos a cochos de suplementação, onde há aglomeração de animais e compactação do solo, os dejetos acumulados podem representar passivos ambientais. Em confinamentos, devido à grande concentração de animais, o grande volume de fezes e urina acumulado no piso das baias pode ocasionar contaminações por carreamento superficial, lixiviação no solo ou volatilização de gases como metano, amônia, óxido nitroso e em algumas situações sulfeto de hidrogênio.

A formulação de precisão representa grande oportunidade para redução das excreções destes compostos. A gestão de nutrientes representa uma nova demanda para nutricionistas de bovinos frente às questões ambientais enfrentadas pela cadeia produtiva da carne (Klopfenstein e Erickson, 2002). Regulações ambientais em países desenvolvidos norteiam a necessidade da redução de excreção de alguns compostos, principalmente compostos nitrogenados (N) e fósforo (P), devido ao potencial de poluição desses no solo e água, e na atmosfera para o N.

A proteína verdadeira é o nutriente de mais alto custo unitário nas dietas de bovinos de corte, sendo que sua inclusão de forma desequilibrada resulta em elevação nos custos de produção e aumento na excreção de compostos nitrogenados nas fezes e principalmente na urina (Cavalcante et al., 2005). O fósforo é o mineral que mais contribui

com a contaminação ambiental, sendo considerado relevante poluidor de águas em vários países do mundo (Tamminga, 1992; Valk et al., 2000). Sendo assim, a redução das perdas de N e P é uma preocupação ambiental, social e econômica.

Os sistemas de produção de ruminantes são considerados um dos principais contribuintes de perdas de N e P para o meio ambiente (Neeteson, 2000; Schroder et al., 2003). A intensificação da produção acarreta em aumento na excreção de poluentes nos dejetos. De acordo com Tamminga (1992), o manejo da dieta era realizado com mínima ou nenhuma preocupação com a excreção de N nas fezes e urina. Atualmente, o impacto ambiental de animais alimentados em confinamento é uma preocupação crescente (Cole et al., 2006; Staerfl et al., 2012; Patra e Lalhriatipuii, 2016).

O controle racional do nitrogênio e fósforo (e.g. resíduos de fertilizantes e dejetos de animais) é um dos principais fatores a ser manejado para reduzir problemas no ambiente relacionados a agropecuária. Cole (2003) propôs o uso da “alimentação de precisão” (*precision feeding*), definida como o manejo alimentar do gado de forma que não prejudique seu desempenho, mas diminua a concentração dos nutrientes na dieta e desta forma diminua também a excreção destes no ambiente. Uma ferramenta para o uso desse manejo seria o balanceamento adequado das dietas conforme as exigências nutricionais dos bovinos, reduzindo assim a excreção de compostos poluentes sem prejudicar o desempenho dos animais.

A diminuição da excreção do nitrogênio e fósforo pode resultar em menor impacto ambiental e maior retorno econômico no sistema de produção por diminuir o uso de insumos nitrogenados/fosfatados.

O desenvolvimento de medidas de controle é uma questão complicada, mas que se

faz necessária atualmente. A adequação topográfica de instalações animais, evitando o carreamento superficial ou infiltração de dejetos até corpos d'água é essencial. Adicionalmente, o manejo e compostagem de resíduos acumulados em sistemas intensivos representa enorme oportunidade de geração de biofertilizantes e/ou bioenergia que minimizam o impacto ambiental da atividade e podem gerar receita adicional ao sistema de produção.

Dessa forma, objetivou-se apresentar equações de predição da excreção de compostos nitrogenados e fósforo via fezes e urina por bovinos de corte em condições tropicais.

ADEQUABILIDADE DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS PELO BCNRM (2016)

O sistema BCNRM (2016) incorporou informações referentes ao impacto ambiental da atividade pecuária. Antes de gerar novos modelos para excreção de compostos nitrogenados e fósforo no ambiente, as equações de predição do N e P excretado (Geisert et al., 2010; Waldrip et al., 2013; Dong et al., 2014), propostas pelo BCNRM (2016), foram testadas para verificar a adequabilidade dessas para o banco de dados do BR-CORTE (2016). As equações testadas são apresentadas abaixo.

As equações propostas pelo BCNRM (2016) foram testadas utilizando o banco de dados do BR-CORTE (2016). Para excreção de N foram utilizados 751 dados individuais (Tabela 12.3) e para a excreção de fósforo total foram utilizados 178 dados individuais (Tabela 12.8 e 12.10).

As equações propostas para excreção de N (Waldrip et al., 2013; Dong et al., 2014) apresentam o consumo de nitrogênio como variável independente. O BCNRM (2016) propõe uma equação para predição do N urinário excretado em função do consumo de nitrogênio e do consumo de matéria seca. As equações utilizadas pelo sistema americano BCNRM (2016) não estimaram corretamente a excreção de N ($P < 0,05$; Tabela 12.1), apresentaram de baixo a alto vício sistemático (4 a 38%). A falta de acurácia para estimar a excreção de N pode ser explicada pela falta de animais mais jovens, conseqüentemente com menor ingestão de nitrogênio, no banco de

dados utilizado para geração das equações e também, devido a fatores genéticos.

A equação proposta para excreção de P total (Geisert et al., 2010) não estima corretamente a excreção de P no banco de dados do BR-CORTE ($P < 0,05$; Tabela 12.1), entretanto, apresentou elevado valor para o CCC. A falta de acurácia para estimar a excreção de P pode ser explicada por fatores genéticos, os animais utilizados por Geisert et al. (2010) diferem dos animais Zebuínos e cruzados utilizados no Brasil.

Diante disso, existe a necessidade de gerar equações condizentes com a realidade do Brasil, condições ambientais e grupos genéticos. Dessa forma, foram geradas novas equações, baseadas em um banco de dados mais robusto e com um maior número de observações, para estimativas das excreções de N e P por bovinos de corte em condições tropicais. Essas estimativas são de suma importância para os sistemas de produção de gado de corte em tais condições, pois auxilia na questão ambiental e pode identificar práticas de manejo para redução destas excreções.

$$\text{N Urina (g/dia)} = - 21,18 + 0,56 \times \text{CN} \\ \text{[Waldrip et al., 2013]}$$

$$\text{N Fezes (g/dia)} = 24,28 + 0,15 \times \text{CN} \\ \text{[Waldrip et al., 2013]}$$

$$\text{N Urina (g/dia)} = - 14,12 + 0,51 \times \text{CN} \\ \text{[Dong et al., 2014]}$$

$$\text{N Fezes (g/dia)} = 15,82 + 0,20 \times \text{CN} \\ \text{[Dong et al., 2014]}$$

$$\text{N Urina (g/dia)} = 2,39 + 0,55 \times \text{CN} - 3,36 \times \text{CMS} \\ \text{[BCNRM, 2016]}$$

$$\text{P Total (g/dia)} = 0,82 + 0,57 \times \text{Consumo P} \\ \text{[Geisert et al., 2010]}$$

em que: CN = consumo de nitrogênio (g/dia); CMS = consumo de matéria seca (kg/dia); consumo P = consumo de fósforo (g/dia).

Tabela 12.1 - Análise de regressão, coeficiente de correlação e concordância (CCC) e decomposição do quadrado médio de predição (QMEP) entre os valores preditos e observados da excreção de nitrogênio e fósforo

Item	Waldrip et al. (2013)		Dong et al. (2014)		BCNRM (2016)	Geisert et al. (2010)
	N fezes	N urina	N fezes	N urina	N urina	P total
Análise de regressão ¹	-	-	-	-	-	-
r ²	0,71	0,53	0,71	0,53	0,50	0,60
H ₀ : a = 0 e b = 1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CCC	0,59	0,72	0,71	0,72	0,69	0,76
Cb	0,70	0,98	0,84	0,99	0,97	0,99
QMEP	274	654	219	576	521	3,63
Vício médio (%)	0,28 (0,11)	6,40 (0,98)	1,39 (0,64)	10,3 (1,80)	24,0 (4,60)	0,07 (2,04)
Vício sistemático (%)	106 (38,5)	199 (30,5)	48,9 (22,4)	118 (20,4)	19,4 (3,71)	0,13 (3,68)
Erro aleatório (%)	168 (61,4)	448 (68,5)	168 (77,0)	448 (77,8)	478 (91,7)	3,43 (94,3)

¹Regressão linear entre valores preditos e observados por intermédio das equações de excreção de nitrogênio via urina e fezes.

NITROGÊNIO

Metabolismo dos compostos nitrogenados no animal e no ambiente

A maioria das fontes proteicas possui alta digestibilidade em ruminantes, tendo, frequentemente, acima de 90% de digestibilidade verdadeira. Já volumosos e fontes energéticas apresentam menor digestibilidade. A proteína indigestível é excretada nas fezes, enquanto a proteína digerida é convertida em aminoácidos que podem ser utilizados para síntese de tecido animal ou oxidados para produção de ATP com consequente geração de ureia no fígado, sendo parcialmente filtrada nos rins e excretada na urina. Uma parte da ureia pode ser reciclada de volta ao trato gastrointestinal e assimilada pelos microrganismos. Entretanto, uma parte do nitrogênio incorporado nos microrganismos é excretada nas fezes como proteína bruta microbiana indigestível (Satter et al., 2002).

A maioria do nitrogênio consumido por bovinos de corte confinados é excretado nas fezes e urina, sendo a perda de N por descamação pouco relevante. Nos dejetos, os compostos nitrogenados estão presentes principalmente na forma de amônia ou de nitrogênio orgânico. Esses compostos são oriundos de alimentos não digeridos no trato gastrointestinal, proteína

microbiana indigestível, nitrogênio endógeno, ureia e também nitrogênio amoniacal.

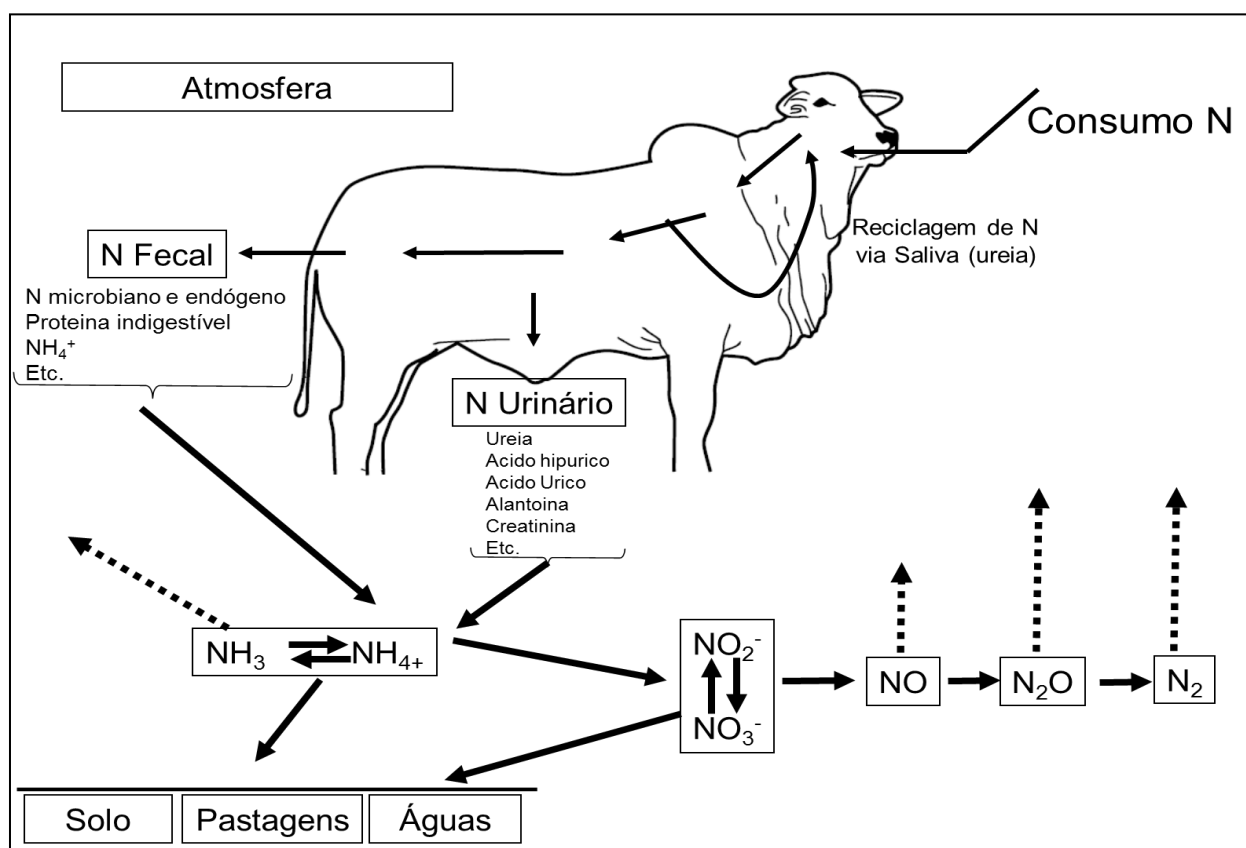
Sabe-se que a eficiência de assimilação do nitrogênio pelos animais domésticos é baixa, com isso ocorre elevada excreção de resíduos nitrogenados (Steinfeld et al., 2006). A retenção de nitrogênio nos produtos de origem animal varia de 5 a 20% do total ingerido. De acordo com Hutchings et al. (1996), a eficiência de uso do nitrogênio em bovinos de corte é de aproximadamente 10%. Detmann et al. (2014) utilizando um banco de dados de animais em pastejo em clima tropical, encontraram uma média de 11,6% para a eficiência aparente de utilização do N. No banco de dados avaliado, a média de excreção de nitrogênio foi de 70%, analisando 466 dados individuais, sendo apenas, em média, 30% retido, superior à média de retenção de N encontrada na literatura. Algumas causas dessa baixa retenção podem ser explicadas de formas diferente como por exemplo, em sistema de pastejo pela baixa qualidade da forragem (baixo suprimento de N) e em sistemas de confinamento pelas dietas excessivas em nitrogênio, devido a cálculos de exigências superestimados ou uso de sistemas de exigências não condizentes com os animais e condições climáticas, entre outras.

De acordo com Menezes et al. (2016), o metabolismo do nitrogênio é afetado pelos níveis de proteína bruta na dieta e a excreção urinária e fecal de N aumenta linearmente com o consumo de proteína bruta. Níveis de proteína bruta na dieta acima das exigências nutricionais dos animais resultam em aumento na excreção de N, principalmente via urina. Assim, a redução na excreção de nitrogênio com base no atendimento das exigências nutricionais dos animais sem prejudicar o desempenho tem grande potencial de diminuir o impacto ambiental dos bovinos de corte e, conseqüentemente, aumentar o retorno econômico de produtores.

A preocupação ambiental com o nitrogênio se deve a três principais rotas desse nutriente no ambiente: perdas como amônia por volatilização na atmosfera, poluição por nitrato no solo e lençóis freáticos ou por desnitrificação e emissão de óxido nítrico na atmosfera (Esquema 12.1). Segundo De Klein e Eckard (2008), a nitrificação e a desnitrificação são os dois principais processos microbiológicos do solo que resultam em perdas de N na forma de óxido nítrico (NO) e óxido nitroso (N₂O).

A nitrificação é um processo aeróbico no qual o amônio (NH₄) é oxidado a nitrito (NO₂) e este a nitrato (NO₃-), com o N₂O como um subproduto. Este processo é favorecido em solos bem drenados (adequada aeração), com altos níveis de NH₄⁺ e temperatura elevada. Contudo, a proporção do N perdido como N₂O através da nitrificação é pequena. Já a desnitrificação é um processo anaeróbico onde o NO₃⁻ é reduzido a N₂, sendo o N₂O produzido como intermediário obrigatório da reação. A desnitrificação é incrementada em solos úmidos, solos compactados, altas temperaturas, elevada concentração de NO₃⁻ e fontes redutoras (C-lábil) no solo. Assim, em condições tropicais, maiores emissões de N₂O oriundas da desnitrificação são observadas no período chuvoso, sendo as mesmas insignificantes no período seco do ano.

Além disso, as perdas de N por volatilização de NH₃ oriundas da deposição de urina podem ser elevadas e são favorecidas nas condições onde predominam altas temperaturas, menor umidade relativa do ar, pH do solo elevado, textura arenosa e umidade do solo não limitante.



Esquema 12.1 - Resumo do ciclo do nitrogênio.

De acordo com o IPCC (2006), as emissões diretas de N_2O de excretas (sem distinção entre fezes e urina) bovinas equivalem a 2% do total de N presente nas excretas. Em emissões indiretas, para cada kg de N na excreta depositada no solo, 20% são volatilizados e 30% lixiviados. Dos 20% volatilizados, 1% é emitido na forma de N_2O , e dos 30% lixiviados, 0,75% serão emitidos como N_2O . Contudo, esses fatores foram gerados em condições de clima temperado e podem ser inadequados para as condições edafoclimáticas do Brasil. Além disso, trabalhos conduzidos no Brasil (Sordi et al., 2014; Lessa et al., 2014; Cardoso et al., 2016) sugerem que os fatores de emissão de N_2O das excretas devam ser considerados separadamente, ou seja, pelo tipo de excreta (fezes ou urina) para estimativas mais precisas do impacto ambiental da atividade pecuária. Esses trabalhos demonstraram que o fator de emissão de N_2O para fezes é menor do que o da urina e que essas emissões são mínimas (ou inexistentes) no período seco do ano.

Lessa et al. (2014), utilizando a técnica isotópica do nitrogênio marcado na urina, avaliaram as perdas de N oriundas da deposição de urina em pastagens de capim-braquiária na região do cerrado e observaram que 65% do N permaneceu no sistema, cerca de 30% foi perdido como amônia e os outros 5% foram emitidos como N_2O ou lixiviados. Além disso, a emissão direta de N_2O considerando as excretas (fezes e urina) encontrada pelos autores (0,7% do N na excreta) foi inferior aos 2% adotados pelo IPCC (2006).

Sordi et al. (2014) avaliaram as emissões de N_2O nas fezes e urina de bovinos aplicadas em pastagens da região sul do Brasil e observaram fatores médios de emissão direta de N_2O de 0,26% para urina e 0,15% para fezes, concluindo que o valor adotado pelo IPCC (2006) é superestimado para as condições subtropicais do Brasil. Porém, segundo os autores, esses resultados podem ser diferentes em função da dieta animal, volume de urina excretada e condições microclimáticas.

Ao avaliarem o efeito de quantidades crescentes de urina e fezes depositadas em pastagens de capim Pangola no sudeste do

Brasil sobre as emissões de N_2O , Cardoso et al. (2016) observaram que o fator de emissão médio para fezes foi de 0,18% independentemente da quantidade de fezes aplicada (1,2, 1,8 ou 2,4 kg). Contudo, as emissões de N_2O diminuíram linearmente com o aumento do volume de urina aplicado (1, 1,5 e 2 litros). Os autores atribuíram essa diminuição dos fatores de emissão com o aumento do volume de urina devido a maior percolação da urina no perfil do solo resultando em menor proporção de N disponível nas camadas superficiais do solo sujeitas a perdas por N_2O .

O nitrogênio presente nas fezes (principalmente proteína alimentar, microbiana e endógena não digeridas) difere substancialmente do N presente na urina (principalmente ureia, ácido hipúrico, alantoína, creatinina, amônia e ácido úrico) sendo o último mais solúvel e rapidamente metabolizado por microrganismos, o que influencia diretamente os índices de emissão de cada fonte (N fecal ou urinário) e a dimensão de seu impacto ambiental (Chizzotti et al., 2016). Dessa forma, para uma estimativa mais precisa do impacto ambiental da atividade pecuária de corte, a estimativa da excreção de N na urina deve ser contabilizada separadamente da excreção do N fecal.

Dados para desenvolvimento das equações por meio da meta-análise e cross-validation

Os dados utilizados na estimação dos parâmetros das equações foram coletados a partir de experimentos com bovinos de corte, Nelore e cruzados, que incluíram informações sobre todas as variáveis consideradas relevantes para a excreção de nitrogênio (fezes e urina). As informações coletadas para cada observação incluíram: peso corporal (PC), peso corporal metabólico ($PC^{0,75}$), porcentagem de proteína bruta na dieta (%PB), consumo de matéria seca (CMS), consumo de nutrientes digestíveis totais (CNDT) e consumo de nitrogênio (CN).

Foram utilizadas 18 teses e/ou dissertações (Tabela 12.2) totalizando 751 observações utilizadas nos procedimentos de consumo e excreção de nitrogênio, consumo de nutrientes digestíveis totais e peso corporal. A

estatística descritiva (mínimo, máximo, média, e desvio padrão) dos dados, para todas as variáveis utilizadas no desenvolvimento das equações de predição da excreção de nitrogênio encontra-se listada na Tabela 12.3.

Procedeu-se o estudo da correlação entre as variáveis para determinar as variáveis que influenciaram na excreção de nitrogênio em bovinos de corte via urina e fezes. Após esse procedimento, foi feito o *stepwise* no SAS para seleção das variáveis do modelo. Em seguida, uma meta-análise (St-Pierre, 2001), considerando efeitos aleatórios de dados provenientes de diferentes estudos foi utilizada para gerar novos modelos de predição. A meta-

análise foi feita com a finalidade de examinar a significância dos parâmetros avaliados nas variáveis dependentes. Foram testados vários modelos e diferentes variáveis e a escolha dos melhores modelos foi realizada utilizando o critério de informação de Akaike (*Akaike's information criterion - AIC*).

A partir das variáveis citadas (Tabela 12.3), iniciou-se o processo de seleção das variáveis significativas que influenciaram a excreção de N nas fezes e na urina através da meta-análise. Os efeitos das variáveis independentes foram considerados significativos para nível de probabilidade menor que 0,05.

Tabela 12.2 - Características do banco de dados utilizado no desenvolvimento das equações de excreção de nitrogênio

Autor	Ano	n	Grupo genético	Classe sexual
Dias	1998	25	Cruzados	Macho não castrado
Ladeira	1998	20	Nelore	Macho não castrado
Cardoso	1999	25	Cruzados	Macho não castrado
Tibo	1999	25	Cruzados	Macho não castrado
Rennó	2003	64	Cruzados	Macho não castrado
Dias	2005	12	Nelore	Fêmea
Veras	2006	37	Nelore	Macho não castrado, castrado e fêmea
Chizzotti	2007	29	Cruzados	Macho não castrado
Marcondes	2007	18	Nelore	Macho não castrado, castrado e fêmea
Marcondes	2010	27	Nelore e Cruzados	Castrado
Campos	2011	25	Nelore	Macho não castrado
Cesario	2011	16	Cruzados	Macho não castrado
Costa e Silva	2011	53	Nelore	Macho não castrado
Rotta	2012	32	Cruzados	Macho não castrado
Rufino	2014	40	Nelore	Macho não castrado
Costa e Silva	2015	258	Nelore	Vacas, Macho não castrado, castrado e fêmea
Louzada	2015	29	Nelore	Macho não castrado e fêmea
Menezes	2015	16	Nelore	Macho não castrado

Observou-se influência do peso corporal, consumo de NDT e consumo de N com a excreção de compostos nitrogenados

nas fezes e influência do consumo de MS e consumo de nitrogênio com a excreção de compostos nitrogenados na urina.

Tabela 12.3 - Estatística descritiva dos dados utilizados para ajustar os modelos de regressão para estimação da excreção de nitrogênio via urina e fezes em bovinos de corte

Variáveis ¹	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	751	312,73	123,23	34,94	671,78
CMS, kg/dia	751	6,40	3,16	0,76	14,84
CNDT, kg/dia	751	4,40	2,08	0,83	9,89
CN, g/dia	751	134,84	65,70	24,53	328,00
N nas fezes, g/dia	751	43,97	23,96	6,36	167,35
N na urina, g/dia	466	47,68	30,93	4,83	178,61

¹CMS = consumo de matéria seca; CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais; CN = consumo de nitrogênio.

Após a definição dos melhores modelos, utilizou-se a validação-cruzada (*leave-one-out cross-validation*) usando o procedimento REG do SAS para gerar os parâmetros das equações de predição de excreção de nitrogênio (Tabela 12.4). Na Tabela 12.4 encontra-se a solução dos efeitos fixos das equações de predição para excreção de N via urina e fezes e seus respectivos coeficientes de regressão (R^2). Em ambas equações, observou-se relação positiva entre o consumo de nitrogênio e sua excreção, corroborando com outros estudos (Cole, 2003; Marini e Van Amburgh, 2003; Menezes et al., 2016).

Foram propostas duas equações para predição do N excretado na urina, uma baseada apenas no consumo de nitrogênio e outra baseada no consumo de nitrogênio e consumo de matéria seca. As predições de excreção de N propostas por Waldrip et al. (2013) e Dong et al. (2014), e utilizadas pelo BCNRM (2016), também apresentaram relação positiva entre o consumo de nitrogênio e sua excreção. Estes autores observaram melhor ajustamento das equações de predições utilizando o consumo de nitrogênio do que a porcentagem de proteína bruta na dieta, sendo o mesmo comportamento observado no presente banco de dados.

Tabela 12.4 - Solução dos efeitos fixos dos modelos de predição com base nas variáveis significativas para cada modelo e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para excreção de compostos nitrogenados fecais e urinários

	N fezes, g/dia	N urina, g/dia (Eq. 1)	N urina, g/dia (Eq. 2)
Intercepto	2,549 \pm 0,034	3,262 \pm 0,087	3,819 \pm 0,090
PC	0,048 \pm 0,0002	-	-
CMS	-	3,680 \pm 0,042	-
CNDT	-3,469 \pm 0,020	-	-
CN	0,296 \pm 0,0005	0,177 \pm 0,002	0,344 \pm 0,0008
R^2	0,585	0,545	0,530

¹CMS = consumo de matéria seca; CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais; CN = consumo de nitrogênio.

Adequabilidade das equações

Após obtenção das equações de excreção de nitrogênio nas fezes e urina, procedeu-se a validação das mesmas por intermédio do programa *Model Evaluation System* (MES; Tedeschi, 2006). Para validação foram utilizados 13 artigos independentes publicados entre 2006 e 2015 nos periódicos: Revista Brasileira de Zootecnia, Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia e Semina: Ciências

Agrárias. Os dados de média reportados nos artigos foram compilados para validação das equações de predição do nitrogênio nas fezes e na urina, totalizando 45 dados de médias para excreção de N nas fezes e 50 para N na urina (Tabela 12.5).

A eficiência de predição foi avaliada por intermédio da estimativa do coeficiente de correlação e concordância (CCC) e quadrado médio do erro de predição estimados de acordo com Tedeschi (2006).

Tabela 12.5 - Estatística descritiva das variáveis para validação das equações propostas

Variáveis	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	50	285,69	72,36	118,41	521,62
CMS, kg/dia	50	5,55	1,41	2,80	8,37
CNDT, kg/dia	50	3,59	0,85	1,20	5,14
CN, g/dia	50	115,19	34,40	23,05	193,67
N nas fezes, g/dia	45	40,31	11,99	15,82	65,92
N na urina, g/dia	50	43,38	22,21	4,79	102,74

¹CMS = consumo de matéria seca; CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais; CN = consumo de nitrogênio.

Na Tabela 12.6 encontra-se o resultado da validação das equações de predição da excreção de compostos nitrogenados via fezes e urina por bovinos de corte em condições tropicais. De acordo com *Mayer's test* o intercepto e a inclinação da regressão de valores preditos e observados não diferiram de zero e um ($P > 0,05$), respectivamente, recomendando que as estimativas pelas equações propostas foram precisas em prever a excreção de compostos nitrogenados em bovinos de corte.

A partir do CCC é possível se ter ideia da acurácia e da precisão do modelo. Quanto menor o quadrado médio do erro de predição (QMEP), melhor é o modelo e através dele se

faz uma decomposição do erro. As equações aqui propostas estimaram corretamente a excreção de compostos nitrogenados via fezes e urina por bovinos de corte. Na decomposição dos erros, pode-se observar que a maioria dos erros é de ordem aleatória, demonstrando que não existe uma tendência de super ou subestimação dos modelos propostos.

Comparando as duas equações propostas para a excreção de N urinário, a equação apenas com o consumo de nitrogênio (Eq. 2) como variável independente demonstrou maior acurácia e menor quadrado médio do erro de predição (QMEP).

Tabela 12.6 - Análise de regressão, coeficiente de correlação e concordância (CCC) e decomposição do quadrado médio de predição (QMEP) entre os valores preditos e observados da excreção de nitrogênio nas fezes e urina

	Equação de predição da excreção de nitrogênio		
	N fezes	N urina (Eq. 1)	N urina (Eq. 2)
Análise de regressão ¹	-	-	-
r^2	0,453	0,270	0,431
$H_0: a = 0$ e $b = 1$ (P -valor)	0,131	0,902	0,526
CCC	0,64	0,40	0,55
Cb	0,95	0,77	0,83
QMEP	86,37	354,47	282,15
Vício médio (%)	4,98 (5,77)	0,51 (0,14)	0,005 (0,002)
Vício sistemático (%)	2,80 (3,25)	0,99 (0,28)	7,44 (2,638)
Erro aleatório (%)	78,59 (90,98)	352,97 (99,58)	274,705 (97,36)

¹Regressão linear entre valores preditos e observados por intermédio das equações de excreção de nitrogênio via urina e fezes.

Na Figura 12.1 pode-se verificar a semelhança nas estimativas de excreção de nitrogênio obtidas pelas equações propostas

aqui e o valor observado. Os valores encontram-se igualmente dispostos em torno da linha de igualdade (linha pontilhada).

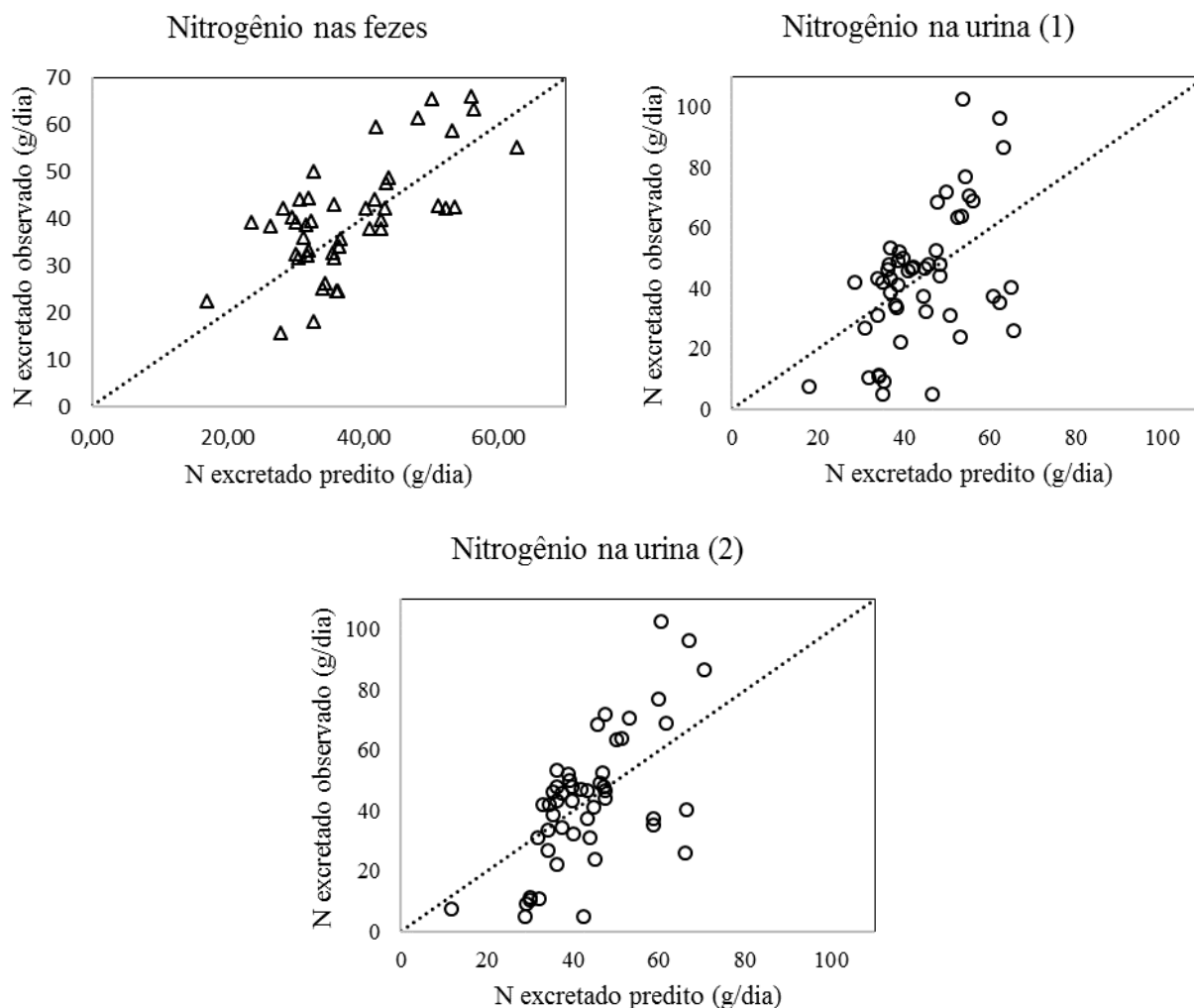


Figura 12.1 - Relação entre os valores observados de excreção de nitrogênio via fezes e urina e aqueles determinados pelas equações propostas. Valores preditos estão plotados no eixo X e os valores observados estão no eixo Y. A linha pontilhada representa a linha ideal ($Y = X$), intercepto = 0 e inclinação = 1.

Atendendo as exigências nutricionais dos animais, existe a possibilidade de reduzir os teores de PB na dieta da terminação, o que também resultaria em redução das quantidades de PB ingeridas e de compostos nitrogenados excretados no meio ambiente (Cole et al., 2006), mostrando que o teor de nitrogênio na dieta pode influenciar diretamente sua excreção e explicando o uso dessa variável nas equações propostas. O excesso de proteína na dieta resulta em aumento nas excreções de ureia na urina.

A otimização da síntese de proteína microbiana no rúmen pode aumentar a eficiência de uso dos compostos nitrogenados, que leva à diminuição das perdas (Reynal e Broderick, 2005). O crescimento eficiente dos microrganismos no rúmen e a consequente

otimização da proteína microbiana depende da sincronização da energia (NDT) e proteína (Dijkstra et al., 1998). A correta formulação das dietas, atendendo as exigências proteicas dos animais e a sincronização da energia e proteína são formas de se garantir que excessos de nitrogênio não sejam excretados para o ambiente, justificando o uso da variável NDT na equação de excreção de N nas fezes.

FÓSFORO

Metabolismo do fósforo no animal e no ambiente

O fósforo, além da função estrutural e presença nos ácidos nucleicos, está envolvido no desempenho animal. Até recentemente, as recomendações de exigências do P foram

conduzidas para evitar qualquer carência na ingestão desse mineral, visando o máximo desempenho (Klopfenstein et al., 2002). Mas, atualmente, iniciaram-se as preocupações com as questões ambientais relacionadas à excreção desse mineral. Com o aumento da demanda de sustentabilidade ambiental em todos os setores da agropecuária, considera-se que o excesso de P no solo pode ser tão perigoso para o meio ambiente quanto sua escassez (Pfeffer et al., 2005). Outro ponto relevante do P é o fato dele ser proveniente de fontes não renováveis sendo 90% da sua demanda para produção de alimentos (Gunther, 2005). Steen (1998) estimou que as reservas globais de P comercial irão se esgotar em 50 a 100 anos. Assim, o uso racional deste mineral é imprescindível.

O fósforo entra no rúmen de duas formas: via saliva (reciclagem) e via dieta (Esquema 12.2). A reciclagem do fósforo supre uma proporção da necessidade dos microrganismos do rúmen, chegando a ser responsável por 50% do fósforo que entra no rúmen (Kincaid e Rodehutschord, 2005). Sathler (2015), trabalhando com dois níveis de fósforo na dieta de bovinos Nelore, observou reciclagem líquida de P para o rúmen variando de 13,96 a 23,35 g/dia, em animais consumindo entre 5,51 a 13,73 g/dia.

A maioria dos minerais é absorvida no intestino delgado por transportadores específicos. O principal local de absorção do P é o intestino delgado, com média de 67,3% da quantidade que chega ao local, enquanto no intestino grosso também já foi observada absorção de P, mas em menor quantidade, de 25,5% (Pfeffer et al., 2005; Sathler, 2015). O excesso de fósforo na alimentação provoca maior excreção renal e aumento na concentração desse elemento na saliva o que provoca elevação da perda fecal de fósforo (Underwood e Suttle, 1999). A excreção fecal de P é uma função de seu consumo (Geisert et al., 2010), apresentando uma correlação positiva.

Animais excretam P nas fezes por três vias: fração do P contida nos alimentos que não foram solubilizadas; P oriundo dos microrganismos e perdas endógenas, e P consumido acima das exigências do animal (em ruminantes, a maioria excretada é nas fezes).

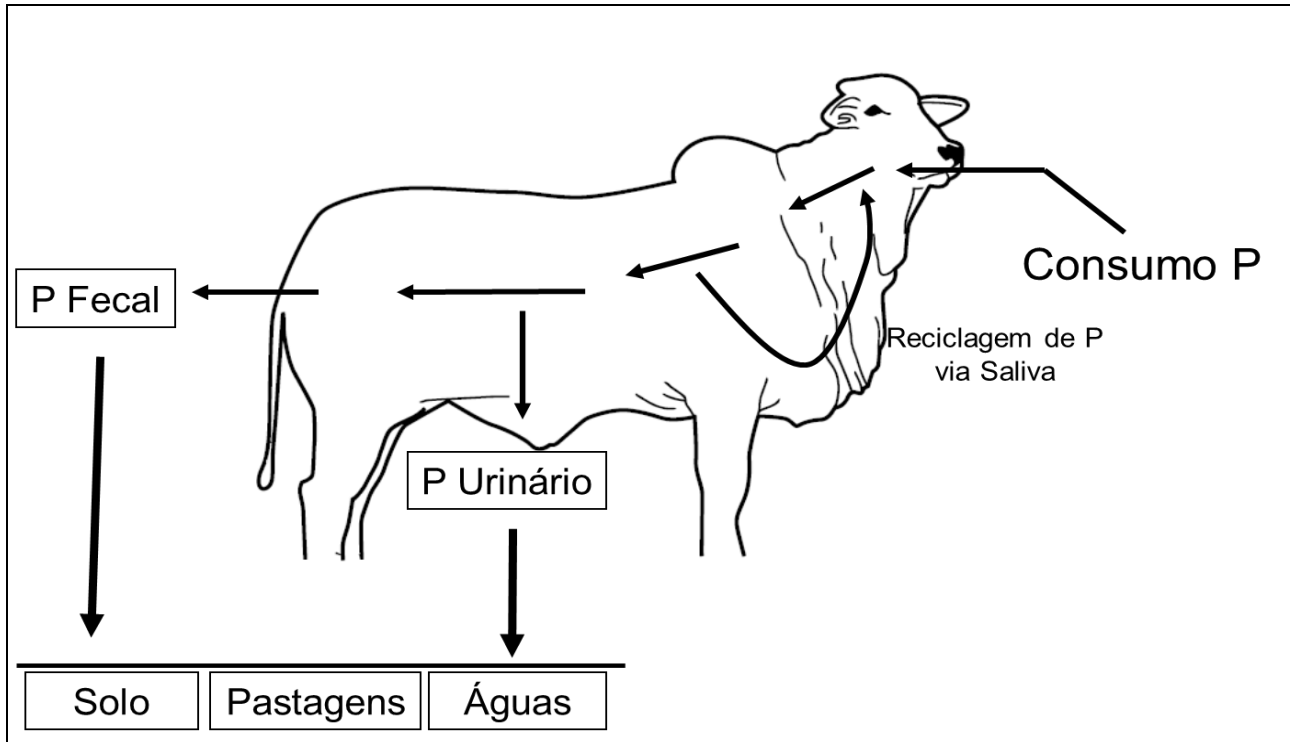
A combinação de P nas fezes oriundo dos microrganismos e do P endógeno é cerca de metade do total do P fecal (Conrad, 1999), mas essa proporção é variável dependendo do excesso do P na dieta. No banco de dados do presente estudo, o P na urina representou 9,6% do total excretado. De acordo com alguns estudos, 90% da excreção total de P é via fezes restando apenas uma quantidade marginal na excreção urinária (Braithwaite, 1985; Wylie et al., 1985; Martz et al., 1990; Khorasani e Armstrong, 1992; Bortolussi et al., 1996). Geisert et al. (2010), trabalhando com cinco diferentes níveis de P na dieta observaram média de apenas 2,1 g/dia de P na urina (10,8% do total de P excretado). O P é excretado na urina após as exigências de manutenção e produção serem atendidas (Vitti et al., 2000; Geisert et al., 2010).

A partir das recomendações do NRC (1996) como ponto de referência, pesquisas começaram a ser realizadas visando recomendações mais apuradas de P na dieta para bovinos de corte. Pesquisas feitas na Universidade de Nebraska - EUA por Erickson et al. (1999 e 2002), variando os níveis de P na dieta de 0,14 a 0,40 de bovinos confinados, demonstraram que as exigências do NRC (1996) estavam superestimadas em 30%. Essa diminuição do P na dieta possui implicações no custo das dietas e também implicações ambientais. Prados et al. (2015) concluíram que as estimativas do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2010) e NRC (2000) estavam superestimadas em, respectivamente, 14 e 43% para bovinos cruzados. De acordo com o BCNRM (2016), a maioria dos grãos e subprodutos utilizados em confinamentos apresenta pelo menos 0,25% de P e nessa situação não é necessária adição de fonte de fósforo suplementar. Porém, em sistemas extensivos baseados em pastagens tropicais a suplementação com fósforo é fundamental, mas deve ser realizada com critério para não desperdiçar esse nobre e oneroso elemento, através do uso de fontes com boa solubilidade de P.

O P excretado no meio estará sujeito a processos de mineralização-imobilização, que envolvem reações de sorção por argilas, óxidos e hidróxidos do solo e solubilização de fosfatos pela atividade de microrganismos e plantas. O fósforo dificilmente é lixiviado

pois os solos brasileiros apresentam elevados teores de óxidos de Ferro e Alumínio e argilas do grupo caulinita, capazes de imobilizar o fósforo por adsorção específica. Porém, em caso de solos compactados ou em alta concentração de dejetos, estes podem ser carregados durante a chuva, alcançando corpos d'água, e contribuindo para um processo

conhecido como eutrofização. A eutrofização é o acúmulo de nutrientes dissolvidos na água, que favorece o crescimento de algas e cianobactérias, dificultando a passagem de luz e causando morte de peixes por falta de oxigênio quando estas morrem e entram em decomposição.



Esquema 12.2 - Resumo do ciclo do fósforo.

Dados para desenvolvimento das equações por meio da meta-análise e cross-validation

Os dados utilizados na estimativa dos parâmetros das equações foram coletados a partir de experimentos com bovinos de corte, Nelore ou Cruzados, que incluíram informações sobre todas as variáveis consideradas relevantes para a excreção de fósforo. As informações coletadas para cada observação incluíram: peso corporal (PC), consumo de matéria seca (CMS), consumo de fósforo e excreção fecal e urinária de fósforo.

Foram utilizadas 8 teses e/ou dissertações (Tabela 12.7), totalizando 178 observações. Os dados foram aleatoriamente

separados em um banco para desenvolvimento das equações (142 observações) e um banco de dados para validação (36 observações, sendo 20% de cada estudo). A estatística descritiva (mínimo, máximo, média, e desvio padrão) dos dados para desenvolvimento das equações, para todas as variáveis utilizadas no desenvolvimento das equações de predição da excreção de fósforo, encontra-se listada na Tabela 12.8.

O procedimento para desenvolvimento das equações foi o mesmo utilizado para os compostos nitrogenados citado anteriormente.

Tabela 12.7 - Características do banco de dados utilizado no desenvolvimento das equações de excreção de fósforo

Autor	Ano	n	Grupo genético	Classe sexual
Souza	2009	20	Nelore e Cruzados	Fêmea
Marcondes	2010	8	Nelore e Cruzados	Castrado
Gionbelli	2010	7	Nelore	Fêmea
Prados	2012	17	Cruzados	Não castrado
Zanetti	2013	17	Cruzados	Castrado
Costa e Silva	2015	45	Nelore	Fêmea e castrado
Sathler	2015	25	Nelore	Não castrado
Prados	2016	39	Nelore	Não castrado

A partir das variáveis descritas na Tabela 12.8, iniciou-se o processo de seleção das variáveis significativas que influenciaram a excreção de P. Os efeitos das variáveis independentes foram considerados significativos para nível de probabilidade menor que 0,05. O

modelo utilizado para fósforo excretado nas fezes incluiu os termos: peso corporal e consumo de fósforo. Devido à baixa contribuição do P na urina, não foi gerada uma equação de excreção para P urinário, contudo foi gerada uma equação para a excreção total de P.

Tabela 12.8 - Estatística descritiva dos dados utilizados para ajustar os modelos de regressão para estimação da excreção de fósforo em bovinos de corte

Variáveis	Obs.	Media	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	142	265,80	70,69	125,00	423,00
Consumo de P, g/dia	142	11,69	4,66	3,34	22,60
P nas fezes, g/dia	142	6,59	2,78	1,71	17,55
P total, g/dia	142	7,30	2,97	1,92	18,77

¹Consumo de P = consumo de fosforo.

Após avaliação dos modelos e as variáveis que compuseram esses, utilizou-se o critério da validação-cruzada (leave-one-out cross-validation) usando o procedimento REG do SAS para gerar os parâmetros das

equações de predição de excreção de fósforo. Na Tabela 12.9 encontra-se a solução dos efeitos fixos das equações de predição para excreção de P e seus respectivos coeficientes de regressão (R^2).

Tabela 12.9 - Solução dos efeitos fixos das equações de predição com base nas variáveis significativas e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para excreção de fósforo

	P fezes	P total
Intercepto	1,473 \pm 0,043	1,895 \pm 0,044
Peso corporal	-0,0019 \pm 0,0002	-0,0030 \pm 0,0002
Consumo de fosforo	0,482 \pm 0,0035	0,530 \pm 0,0036
R^2	0,607	0,630

Adequabilidade das equações

Após obtenção das equações de excreção de fósforo, procedeu-se a validação das mesmas por intermédio do programa Model Evaluation System (MES; Tedeschi, 2006). Para validação foram utilizadas 36 observações do banco de dados total (Tabela 12.10), como citado anteriormente.

A eficiência de predição foi avaliada por intermédio da estimativa do coeficiente de correlação e concordância (CCC) e quadrado médio do erro de predição, estimados de acordo com Tedeschi (2006).

Na Tabela 12.11 encontra-se o resultado da validação das equações de predição da excreção de fósforo por bovinos de corte em

condições tropicais. Considerando o banco de dados para validação, a regressão de valores observados e preditos da excreção de P tiveram intercepto e inclinação que não diferiram de zero e um, respectivamente (*Mayer's test*; $P > 0,05$), isto significa que as equações são adequadas para estimar a excreção de fósforo fecal e total.

Na decomposição dos erros, pode-se observar que a maioria dos erros é de ordem aleatória, mostrando que não existe uma tendência de super ou subestimação das equações propostas.

Tabela 12.10 - Estatística descritiva das variáveis para validação dos modelos propostos

Variáveis	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Peso corporal, kg	36	271,29	82,98	125,00	416,50
Consumo de P, g/dia	36	13,16	4,20	3,43	20,97
P nas fezes, g/dia	36	7,13	2,64	1,80	13,43
P total, g/dia	36	7,72	2,75	2,04	14,51

¹Consumo de P = consumo de fósforo. n = número de observações

Tabela 12.11 - Análise de regressão, coeficiente de correlação e concordância (CCC) e decomposição do quadrado médio de predição (QMEP) entre os valores preditos e observados da excreção de fósforo

	Equação de predição da excreção de fósforo	
	P fezes	P total
Análise de regressão ¹	-	-
r^2	0,42	0,44
$H_0: a = 0$ e $b = 1$ (<i>P</i> -valor)	0,74	0,50
CCC	0,61	0,63
Cb	0,95	0,95
QMEP	4,010	4,272
Vício médio (%)	0,03 (0,65)	0,11 (2,68)
Vício sistemático (%)	0,04 (1,04)	0,06 (1,31)
Erro aleatório (%)	3,94 (98,31)	4,10 (96,01)

¹Regressão linear entre valores preditos e observados por intermédio das equações de excreção de fósforo.

Na Figura 12.2 pode-se verificar a semelhança nas estimativas de excreção de fósforo e o valor observado. Os valores

encontram-se igualmente dispostos em torno da linha de igualdade (linha pontilhada).

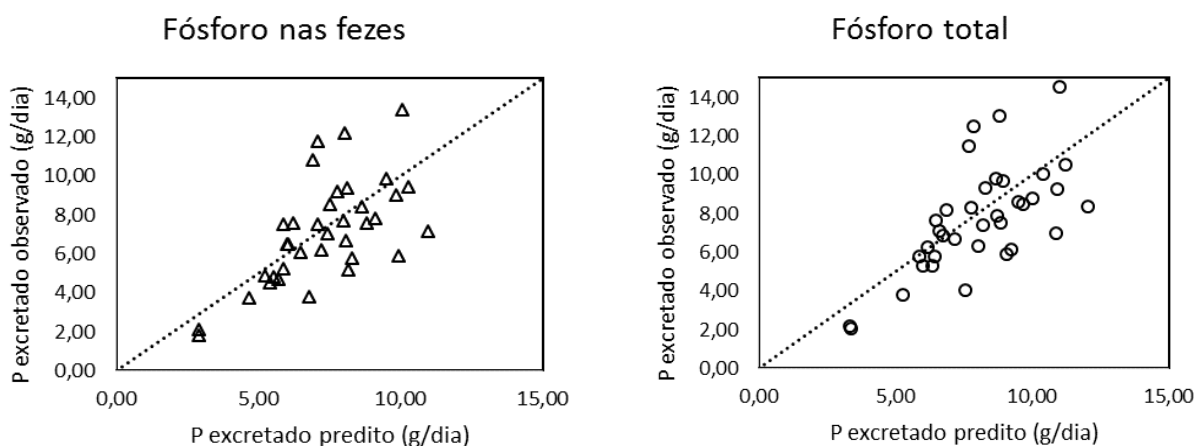


Figura 12.2 - Relação entre os valores observados e preditos para a excreção de fósforo via fezes e urina.

Em ambas equações se observou relação positiva entre o consumo de fósforo e a excreção desse nutriente, considerando isto, vale ressaltar que outros autores (Prados et al., 2015; Prados, 2016) observaram que aumentando a concentração de fósforo na dieta, aumentou-se a excreção desse nutriente nas fezes. Geisert et al. (2010) propuseram equação para excreção total de P, nessa foi observada relação positiva do consumo do P com sua excreção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As predições das excreções de N e P nas fezes e urina são importantes para modelagem da ciclagem de nutrientes no sistema de produção de bovinos, e para avaliação do impacto que mudanças na formulação de dietas podem ter sobre a excreção destes nutrientes ao meio ambiente. A redução do teor de fósforo e proteína bruta na dieta, desde que não afete negativamente o desempenho, representa importante ferramenta para diminuir o impacto ambiental da atividade pecuária.

São propostas as seguintes equações para estimar as excreções fecais e urinárias de compostos nitrogenados e de fósforo para bovinos de corte em condições tropicais:

$$\text{N Fezes (g/dia)} = 2,55 + 0,048 \times \text{PC} - 3,47 \times \text{CNDT} + 0,30 \times \text{CN}$$

$$\text{N Urina (g/dia)} = 3,26 + 3,68 \times \text{CMS} + 0,18 \times \text{CN}$$

$$\text{N Urina (g/dia)} = 3,82 + 0,34 \times \text{CN}$$

$$\text{P Fezes (g/dia)} = 1,47 - 0,0019 \times \text{PC} + 0,48 \times \text{CP}$$

$$\text{P Total (g/dia)} = 1,90 - 0,0030 \times \text{PC} + 0,53 \times \text{CP}$$

em que: PC = peso corporal (kg); CNDT = consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia); CN = consumo de nitrogênio (g/dia); CMS = consumo de matéria seca (kg/dia); CP = consumo de fosforo (g/dia).

REFERÊNCIAS

- Beef Cattle Nutrient Requirements Model – BCNRM. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th edition. Washington, DC: The National Academies Press, 475p, 2016.
- Bortolussi, G.; Ternouth, J. H.; McMenniman, N. P. Dietary nitrogen and phosphorus depletion in cattle and their effects on live weight gain, blood metabolite concentrations and phosphorus kinetics. *Journal of Agricultural Science*, 126:491-501, 1996.
- Braithwaite, G. D. Endogenous faecal loss of phosphorus in growing lambs and the calculation of phosphorus requirements. *Journal of Agricultural Science*, 105:67-72. 1985.
- Cardoso, A. S.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. Effect of volume of urine and mass of faeces on N₂O and CH₄ emissions of dairy-cow excreta in a tropical pasture. *Animal Production Science*. <http://dx.doi.org/10.1071/AN15392>. 2016.
- Cavalcante, M. A. B.; Pereira, O. G.; Valadares Filho, S. C.; Ribeiro, K. G. Níveis de proteína bruta em dietas para bovinos de corte: consumo, digestibilidade total e desempenho produtivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:711-719, 2005.
- Chizzotti, M. L.; Chizzotti, F. H. M.; Costa e Silva, L. F.; Rotta, P. P.; Prados, L. F.; Valadares Filho, S. C. Nutrição de precisão e manejo ambiental de bovinos de corte. In: *Produção Animal e Recursos Hídricos*. Palhares, J. C. P. 183p. 2016.
- Cole, A. Precision feeding: Opportunities and limitations. TAES publication AREC 03-13, 1-19 in *Proc. Plains Nutr. Council (PNC)*. Texas A&M Res. Ext. Center, Amarillo. 2003.
- Cole, N. A.; Defoor, P. J.; Galyean, M. L.; Duff, G. C.; Gleghorn, J. F. Effects of phase-feeding of crude protein on performance, carcass characteristics, serum urea nitrogen concentrations, and manure nitrogen of finishing beef steers. *Journal Animal Science*, 84:3421–3432, 2006.
- Conrad, H. R. Dietary phosphorus, excretory phosphorus and environmental concerns. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference*, Rochester, New York. 1999.

- De Klein, C. A. M.; Eckard, R. J. Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48:14-20.
- Detmann, E.; Valente, E. E. L.; Batista, E. D.; Huhtanen, P. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. *Livestock Science*, 162: 141-153, 2014.
- Dijkstra, J.; France, J.; Davies, D. R. Different mathematical approaches to estimating microbial protein supply in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 81:3370-3384. 1998.
- Dong, R. I.; Zhao, G. Y.; Chai, L. L.; Beauchemin, K. A. Prediction of urinary and fecal nitrogen excretion by beef cattle. *Journal Animal Science*, 92:4669-4681. 2014.
- Erickson, G. E.; Klopfenstein, T. J.; Milton, C. T.; Hanson, D.; Calkins, C. Effect of dietary phosphorus on finishing steer performance, bone status, and carcass maturity. *Journal Animal Science*, 77:2832-2836, 1999.
- Erickson, G. E.; Klopfenstein, T. J.; Milton, C. T.; Brink, D.; Orth, M. W.; Whittet, K. M. Phosphorus requirement of finishing feedlot calves. *Journal Animal Science*, 80:1690-1695, 2002.
- Geisert, B. G.; Erickson, G. E.; Klopfenstein, T.J.; Macken, C. N.; Luebke, M. K.; MacDonald, J. C. Phosphorus requirement and excretion of finishing beef cattle fed different concentrations of phosphorus. *Journal Animal Science*, 88:2393-2402, 2010.
- Giger-Reverdin, S.; Sauvant, D.; Hervieu, J.; Dorleans, M. Fecal and urinary nitrogen losses as influenced by the diet carbohydrate and protein fractions in goats. p. 358-360 in 6th Int. Symp. *Protein Metabolism and Nutrition*. Herning, Denmark. 1991.
- Gunther, F. A solution to the heap problem: the doubly balanced agriculture: integration with population. Online: <http://www.holon.se/folke/kurs/Distans/Ekofys/Recirk/Eng/balanced.shtml>.
- Hutchings, N. J.; Sommer, S. G.; Jarvis, S. C. A model of ammonia volatilization from a grazing livestock farm. *Atmospheric Environment*, 30:589-599. 1996.
- IPCC. Emissions from livestock and manure management. Guidelines for National Greenhouse Inventories, vol.4. *Agriculture, Forestry and Other Land Use* 10. 1-10.87 (Chapter 10). 2006.
- Khorasani, G. R.; Armstrong, D. G. Calcium, phosphorus, and magnesium absorption and secretion in the bovine digestive tract as influenced by dietary concentration of these elements. *Livestock Production Science*, 31:271-286. 1992.
- Kincaid, R. L.; Rodehutsord, M. Phosphorus metabolism in the rumen. In: *Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: reducing the environmental impact of cattle operations*. 288 pp. 2005.
- Klopfenstein, T. J.; Angel, R.; Cromwell, G. L.; Erickson, G. E.; Fox, D. G. Animal diet modification to decrease the potential for nitrogen and phosphorus pollution. *Council for agricultural science and technology*. 21. 2002.
- Klopfenstein, T. J.; Erickson G. E. Effects of manipulating protein and phosphorus nutrition of feedlot cattle on nutrient management and the environment. *Journal Animal Science*, 80:E106-E114. 2002.
- Lessa, A. C. R.; Madari, B. E.; Paredes, D. S.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S.; Jantalia, C. P.; Alves, B. J. R. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190:104-111, 2014.
- Marini, J. C.; Van Amburgh, M. E. Nitrogen metabolism and recycling in Holstein heifers. *Journal Animal Science*, 81: 545-552. 2003.
- Martz, F. A., Belo, A. T., Weiss, M. F., e Belylan, R. L. True absorption of calcium and phosphorus from alfalfa and corn silage when fed to lactating cows. *Journal Dairy Science*, 73:1288-1295. 1990.
- Menezes, A. C. B.; Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F.; Pacheco, M. V. C.; Pereira, J. M. V.; Rotta, P. P.; Zanetti, D.; Detmann, E.; Silva, F. A. S.; Godoi, L. A.; Renno, L. N. Does a reduction in dietary crude protein content affect performance, nutrient requirements, nitrogen losses, and methane emissions in finishing Nelore bulls? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 223:239-249, 2016.

- Neeteson, J. J. Nitrogen and phosphorus management on Dutch dairy farms: legislation and strategies employed to meet the regulations. *Biology and Fertility of soils*, 30:566-572. 2000.
- NRC. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC, 242 pp.
- Patra, A.K.; Lalhriatpuii, M., Development of statistical models for prediction of enteric methane emission from goats using nutrient composition and intake variables. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 215:89-99. 2016.
- Pfeffer, E.; Beede, D. K. e Valk, H. 2005. Phosphorus metabolism in ruminants and requirements of cattle. In: *Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: reducing the environmental impact of cattle operations*. 288 pp.
- Prados, L. F., S. C. Valadares Filho, S. A. Santos, D. Zanetti, A. N. Nunes, D. R. Costa, L. D. S. Mariz, E. Detmann, P. M. Amaral, F. C. Rodrigues, e R. F. D. Valadares. 2015. Reducing calcium and phosphorus in crossbred beef cattle diets: impacts on productive performance during the growing and finishing phase. *Animal production science* (online).
- Prados, L. F. *Reduction of minerals in feedlot diets of Nellore cattle: impacts on intake, performance, and liver and bone status and nutrient requirements; and prediction of chemical rib section composition by dual energy x-ray absorptiometry in Zebu cattle*. 95 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2016.
- Reynal, S. M.; Broderick, G. A. Effect of dietary level of rumen-degraded protein on production and nitrogen metabolism in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*, 88:4045-4064. 2005.
- Sathler, D. F. T. 2015. *Efeito da suplementação mineral sobre as digestibilidade total, ruminal e intestinal em zebuínos*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. 49p.
- Satter, L. D.; Klopfenstein, T. J.; Erickson, G. E. The role of nutrition in reducing nutrient output from ruminants. *Journal Animal Science*, (E. Suppl. 2): E143-E156, 2002.
- Schroder, J. J.; Aarts, H. F. M.; ten Berge, H. F. M.; van Keulen, H.; e Neeteson, J. J. An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *European Journal of Agronomy*, 20:33-44. 2003.
- Sordi, A.; Dieckow, J.; Bayer, C.; Albuquerque, M. A.; Piva, J. T.; Zanatta, J. A.; Tomazi, M.; da Rosa, C. M.; de Moraes, A. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 94-103, 2013.
- Staerfl, S.M.; Zeitz, J.O.; Kreuzer, M.; Soliva, C.R. Methane conversion rate of bulls fattened on grass or maize silage as compared with the IPCC default values, and the long-term methane mitigation efficiency of adding acacia tannin, garlic, maca and lupine. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148:111-120, 2012.
- Steen, I. Phosphorus availability in the 21st century: management of a nonrenewable resource. *Natural History Museum*, 25–31, 1998.
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; De Haan, C. *Livestock's long shadow* (p. 392). Rome: FAO. 2006.
- St-Pierre, N. R. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science*, 84:741-755. 2001.
- Tamminga, S. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science*, 75:345-357, 1992.
- Tedeschi, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems*, 89:225-247. 2006.
- Underwood, E. J.; Suttle, N. F. 1999. *The mineral nutrition of livestock*. 3ed. New York: CABI, 1999. 624p.
- Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Paulino, P. V. R. et al. *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados – BR CORTE*. 2 ed. Viçosa: UFV, Suprema Gráfica Ltda. 193p. 2010.
- Valk, H.; Metcalf, J. A.; Withers, P. J. A. Prospects for minimizing phosphorus excretion in ruminants by dietary manipulation. *Journal of Environmental Quality*, 29:28-36. 2000.

Vitti, D. M. S. S.; Kebreab, E.; Lopes, J. B.; Adballa, A. L.; De Carvalhos, F. F. R.; De Resende, K. T.; Crompton, L. A.; France, J. A kinetic model of phosphorus metabolism in growing goats. *Journal of Animal Science*, 78:2706-2712, 2000.

Waldrip, H. M.; Todd, R. W.; Cole, N. A. Prediction of nitrogen excretion by beef

cattle: A meta-analysis. *Journal of Animal Science*, 91:4290-4302, 2013.

Wylie, M. J.; Fontenot, J. P.; Greene, L. W. Absorption of magnesium and other macrominerals in sheep infused with potassium in different parts of the digestive tract. *Journal of Animal Science*, 61:1219-1229, 1985.