

EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE CAPRINOS E OVINOS

BR-CAPRINOS & OVINOS



INCT - CIÊNCIA ANIMAL

Exigências Nutricionais de Caprinos e Ovinos

BR-CAPRINOS & OVINOS

INCT – CIÊNCIA ANIMAL



2024



Esta obra é licenciada por uma Licença Creative Commons: Atribuição Não Comercial Sem Derivações 4.0 Internacional – CC BY-NC (CC BY-NC-ND).

Copyright © Todos os direitos reservados. Lei nº 9.610/1998 dos Direitos Autorais do Brasil. Esta obra não pode ser plagiada, mas pode ser divulgada e reproduzida com a citação clara das fontes e autorias.

Todas as imagens e fotos deste livro são do arquivo pessoal dos autores, com prévia autorização para sua publicação.

Arte da capa: Ingrid Rodrigues Sousa Brito

Conselho Editorial

Profa. Elzania Sales Pereira (<http://lattes.cnpq.br/4011686548866427>)

Profa. Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira (<http://lattes.cnpq.br/6293663565260182>)

Prof. José Augusto Gomes Azevêdo (<http://lattes.cnpq.br/9391454312997091>)

Profa. Stefanie Alvarenga Santos (<http://lattes.cnpq.br/6751268658250102>)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Ex52 Exigências Nutricionais de Caprinos e Ovinos – BR-Caprinos & Ovinos – São Carlos: Editora Scienza, 2024.

270 p.

ISBN (impresso) – 978-65-5668-183-2

ISBN (digital) – 978-65-5668-184-9

DOI – <http://dx.doi.org/10.26626/9786556681849.2024B0001>

1. Caprinos. 2. Ovinos. 3. Nutrição animal. 4. Zootecnia. 5. Ciência animal.
I. Título.

CDD 630

636089

agricultura e tecnologias aplicadas – veterinária

Elaborado por Natalia Gallo Cerrao – CRB 8/10169

Índice para catálogo sistemático:

1. Agricultura e tecnologias aplicadas, 630; Veterinária, 636089



Rua Juca Sabino, 21 – São Carlos, SP

(16) 9 9285-3689



www.editorascienza.com.br | gustavo@editorascienza.com

Biografia dos Editores

Elzania Sales Pereira

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Lavras (1994), Mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Lavras (1996) e Doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2000). Atualmente, é professora Titular da Universidade Federal do Ceará. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em nutrição e produção de ruminantes. Atua principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: avaliação de alimentos para ruminantes e exigências nutricionais de ruminantes com ênfase em ovinos deslanados. Participa do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFC (Rede UFC/UFPB) como docente permanente, orientando alunos de mestrado e doutorado. Foi coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFC de julho de 2019 a julho 2023. É membro do Comitê Assessor do CNPq na área de Zootecnia (CA-ZT) desde julho de 2022. Integra o INCT de Ciência Animal desde 2016 e o INCT Carne desde 2023. Filiação e contato: Professora do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil – E-mail: elzania@hotmail.com; elzaniapereira@ufc.br

Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira

Graduada em Zootecnia pela Universidade Federal de Lavras no ano de 1997. Desde a graduação tem interesse na área de nutrição de ruminantes, sendo que toda a sua pós-graduação foi dedicada ao estudo das exigências nutricionais de pequenos ruminantes. Concluiu o Mestrado e Doutorado em Zootecnia, ambos na Universidade Estadual Paulista, UNESP/Jaboticabal, entre os anos de 2000 e 2004, respectivamente. Durante o Doutorado, participou do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (2002-2003) na University of Queensland, Gatton College, Queensland, Austrália. Após a conclusão do Doutorado, ingressou no Departamento de Zootecnia da UNESP como pós-doutoranda. Em 2010, foi contratada como docente na UNESP/Jaboticabal, onde trabalhou até 2022, antes de ingressar na University of Idaho. Toda a sua carreira junto à UNESP/Jaboticabal foi dedicada à melhoria da eficiência de pequenos ruminantes, de modo que desenvolveu inúmeras pesquisas nas áreas de exigências nutricionais, taxa de passagem e aproveitamento dos alimentos por ruminantes, com maior ênfase em caprinos. Participa do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da UNESP/Jaboticabal desde 2006, tendo orientado, até o início de 2024, 8 mestres e 10 doutores. Foi coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da UNESP/Jaboticabal por 6 anos (2012-2017, 2021-2022). Foi membro do Comitê Assessor do CNPq na área de Zootecnia (CA-ZT) de 2018 a 2021, sendo coordenadora deste no último ano. Foi bolsista de produtividade PQ de 2011 a 2022 e integra o INCT de Ciência Animal desde 2016. Atualmente, é docente na University of Idaho. Atua na área de nutrição e sustentabilidade de bovinos leiteiros. Seus programas de pesquisa e extensão concentram-se em aprimorar a compreensão da utilização de nutrientes por ruminantes

e eficiência animal. Visa-se reduzir o impacto da produção de ruminantes no meio ambiente e melhorar a sustentabilidade dos sistemas de produção de bovinos leiteiros. Filiação e contato: Professora no Department of Animal, Veterinary and Food Sciences da University of Idaho, Twin Falls, ID, Estados Unidos – e-mail: izabelle@uidaho.edu

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 (desde 2012) e Professor Pleno do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz (desde 1996); é docente permanente dos programas de pós-graduação em Ciência Animal da UESC (desde 2009) e programas de pós-graduação em Zootecnia da UESB (2010); É membro do INCT em Ciência Animal; É Coordenador Adjunto de Programas Profissionais da Área de Zootecnia/Recursos Pesqueiros da Capes no quadriênio 2021-2024. Tem experiência administrativa na vice-direção de departamento (2015-2017) coordenação de colegiado de graduação (2009) e pós-graduação (2010-2011). É revisor de periódicos nacionais e internacionais e consultor ad hoc do CNPq, CAPES, FACEPE e FAPEMA. Orienta estudantes de IC, mestrado, doutorado e pós-doutorado. Tem experiência na captação de recursos de projeto de pesquisa financiado pelo CNPq, FAPESB, CAPES e BNB. Já publicou diversos artigos em periódicos internacionais e capítulos de livros. 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 e produção de cordeiros confinados. Filiação e contato: Professor no Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil – e-mail: augustog@uesc.br

Stefanie Alvarenga Santos

Nasceu em Vitória – ES e concluiu a graduação em Zootecnia na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) no ano de 2005. Concluiu Mestrado e Doutorado em Zootecnia nos anos de 2007 e 2011, respectivamente, ambos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Atualmente, é Docente Associada da Universidade Federal da Bahia (UFBA), em Salvador – BA. Coordena o Laboratório de Nutrição Animal da UFBA e leciona as disciplinas Fisiologia da Digestão e Métodos de Pesquisa em Nutrição de Ruminantes no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da mesma instituição. Para a graduação, ministra a disciplina de Nutrição Animal para o curso de Medicina Veterinária da mesma instituição. Foi membro do Comitê de Produção do BR-CORTE 2016, assumindo, novamente, em 2023, no qual é responsável pelas recomendações referentes à produção de proteína microbiana ruminal e degradabilidade da proteína dos alimentos. Atua profissionalmente com os seguintes temas: aprimoramento de métodos de pesquisa em nutrição de ruminantes, avaliação de alimentos e produção de pequenos ruminantes. Professora na Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brasil – e-mail: stefanie.alvarenga@ufba.br

Agradecimentos

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão aos órgãos financiadores CNPq, FAPESP, FAPEMIG, FUNCAP, FAPESB, CAPES, FINEP e INCT – Ciência Animal, cujo apoio foi fundamental para a realização deste projeto ao longo das últimas três décadas. Sem o suporte desses financiadores, não teria sido possível concretizar este projeto.

Agradecemos ao Professor Sebastião de Campos Valadares Filho, coordenador do INC-T-CA, por seus valiosos ensinamentos e contribuições para o avanço na área de exigências nutricionais de ruminantes.

Agradecemos imensamente aos professores, pesquisadores e, especialmente, a todos os estudantes de pós-graduação, estudantes de graduação, bolsistas de iniciação científica e estagiários que contribuíram para o desenvolvimento das pesquisas e para a geração dos dados presentes nesta publicação. Reconhecemos e valorizamos sua dedicação ao longo dos anos, fundamental para a concretização deste projeto.

Estendemos nossos agradecimentos às universidades que disponibilizaram suas instalações para realização dos experimentos, assim como os dados dos estudos para a composição dos bancos de dados do Br-Caprinos & Ovinos, especialmente à Unesp – campus de Jaboticabal, Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal de Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal de Viçosa, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, Universidade Federal de Lavras, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Santa Cruz, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Universidade Federal de Alagoas, Universidade Federal Do Rio Grande do Norte, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Universidade Federal de Uberlândia, Universidade Federal de Minas Gerais e Embrapa Semiárido. Um agradecimento especial à empresa Fortaleza de Santa Teresinha Agricultura e Pecuária S/A. por fornecer dados do confinamento comercial de ovinos.

Por fim, agradecemos a todos os membros do comitê e coautores dos capítulos, que dedicaram diligentemente seu tempo, conhecimento e sabedoria a este projeto.

Prefácio

O Agro brasileiro desenvolveu-se muito nas últimas décadas e se tornou um grande produtor mundial de alimentos, tanto de origem vegetal quanto animal. O Brasil já é um dos maiores produtores / exportadores mundiais em vários alimentos. O setor relacionado aos pequenos ruminantes, caprinos e ovinos, apresenta potencial para, também, desempenhar importante papel em relação ao mundo.

Imbuídos deste pensamento, pesquisadores brasileiros, a alguns anos, uniram forças para desenvolverem pesquisas com o propósito de conhecer melhor, gerar tecnologias, desenvolver a atividade e tornar a caprino e ovinocultura brasileira competitiva mundialmente.

Os autores, que também fazem parte deste grande número de pesquisadores, sintetizaram e sistematizaram as informações e os conhecimentos gerados nestas pesquisas. O resultado deste trabalho foi a edição da primeira versão do BR – Caprinos & Ovinos.

O BR – Caprinos & Ovinos é um marco e um divisor de águas no Brasil, em relação a nutrição destas espécies, e, com certeza, um importante instrumento para o desenvolvimento da atividade.

A abordagem do assunto em capítulos, bem redigidos e distribuídos em tópicos relevantes, levam o leitor ao conhecimento do estado da arte em nutrição de pequenos ruminantes, além de ser importante para o balizamento de futuras pesquisas. Os capítulos abordam os temas: ajuste de peso corporal; predição do consumo de matéria seca; predição do valor energético de alimentos; predição da síntese de proteína microbiana ruminal e exigências de energia, de proteína e de minerais.

Por se tratar da primeira versão, traz o conhecimento gerado até o momento, e será de suma importância para instigar pesquisadores a continuarem a elucidar dúvidas e gerar novos conhecimentos que, com certeza, serão agregados em futuras versões.

O BR – Caprinos & Ovinos é um instrumento essencial para quem atua na cadeia produtiva e na pesquisa, sendo indispensável para quem trabalha com nutrição de pequenos ruminantes.

Assim como eu, espero que gostem e possam se aproveitar deste importante instrumento para a nutrição de pequenos ruminantes.

Kleber Tomás de Resende

Professor aposentado do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual Paulista/
Unesp, campus de Jaboticabal, Jaboticabal, SP, Brasil

E-mail: kleber.resende@unesp.br

Sumário

1

Ajuste de peso corporal para caprinos e ovinos_ _ _ _ _ 11

Caio Julio Lima Herbster, Paola Rezende Ribeiro, Luciano Pinheiro da Silva, Marcos Inácio Marcondes, Iraides Ferreira Furusho Garcia, Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira e Elzania Sales Pereira

2

Predição do consumo de matéria seca para caprinos e ovinos_ _ _ _ _ 33

José Augusto Gomes Azevêdo, Maria Izabel Batista Pereira, Lígia Lins Souza, Guilherme Lobato Menezes, Gleidson Giordano Pinto de Carvalho, Elzania Sales Pereira, Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira, Stefanie Alvarenga Santos, Mara Lúcia Albuquerque Pereira, Gherman Garcia Leal de Araújo, Magno José Duarte Cândido, Leilson Rocha Bezerra, José Morais Pereira Filho, Dorgival Morais de Lima Júnior, Stela Antas Urbano, Marcelo de Andrade Ferreira e Henry Daniel Ruiz Alba

3

Predição do valor energético de alimentos e dietas para ovinos e caprinos _ _ _ _ 65

Stefanie Alvarenga Santos, Gleidson Giordano Pinto de Carvalho, José Augusto Gomes Azevedo, Elzania Sales Pereira, Manuela Silva Libânia Tosto, Henry Ruiz Daniel Alba e Cláudia Horne da Cruz

4

Predição da síntese de proteína microbiana ruminal a partir de dietas para ovinos e caprinos_ _ _ _ _ 91

Stefanie Alvarenga Santos, Gleidson Giordano Pinto de Carvalho, José Augusto Gomes Azevedo, Elzania Sales Pereira, Manuela Silva Libânia Tosto, Gisele Rocha dos Santos, Lays Débora Silva Mariz, Henry Daniel Ruiz Alba, Antônio Carneiro Santana dos Santos e Márcia Pereira da Silva

5

Exigências de energia em caprinos _ _ _ _ _ 111

Marcia Helena Machado da Rocha Fernandes, Carla Joice Härter, Anaiane Pereira Souza, Julián Andrés Castillo Vargas, Kleber Tomás de Resende e Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira

6

Exigências de proteína em caprinos _ _ _ _ _ **143**

*Anaiane Pereira Souza, Carla Joice Härter, Marcia Helena Machado da Rocha Fernandes,
Julián Andrés Castillo Vargas, Kleber Tomás de Resende e Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira*

7

Exigências de minerais em caprinos _ _ _ _ _ **169**

*Carla Joice Härter, Julián Andrés Castillo Vargas, Anaiane Pereir Souza, Kleber Tomás de Resende e
Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira*

8

Exigências de energia para ovinos deslanados em crescimento _ _ _ _ _ **193**

*Elzania Sales Pereira, Caio Julio Lima Herbster, Marcos Inácio Marcondes, Luciana Castro Geraseev,
Antonio de Sousa Brito Neto, Marcilio de Sousa Mendes, João Paulo Pacheco Rodrigues,
José Augusto Gomes Azevêdo, Leilson Rocha Bezerra, Ronaldo Lopes Oliveira, Alessandra Pinto de Oliveira e
Aderbal Marcos de Azevedo Silva*

9

Exigências de proteína para ovinos deslanados em crescimento _ _ _ _ _ **219**

*Elzania Sales Pereira, Caio Julio Lima Herbster, Marcos Inácio Marcondes, Alessandra Pinto de Oliveira,
Antonio de Sousa Brito Neto, Evandra da Silva Justino, Amanda Cardoso Rocha, João Paulo Pacheco Rodrigues,
Stefanie Alvarenga Santos, Leilson Rocha Bezerra, Ronaldo Lopes Oliveira e Aderbal Marcos de Azevedo Silva*

10

Exigências de minerais para ovinos deslanados em crescimento _ _ _ _ _ **237**

*Elzania Sales Pereira, Caio Julio Lima Herbster, Matheus Lima Correa Abreu, Marcos Inácio Marcondes,
Luciano Pinheiro da Silva, Amanda Cardoso Rocha, Luciano da Silva Cabral, Evandra da Silva Justino,
Leilson Rocha Bezerra, Ronaldo Lopes Oliveira e Antonio de Sousa Brito Neto*

1

Ajuste de peso corporal para caprinos e ovinos

*Caio Julio Lima Herbster, Paola Rezende Ribeiro, Luciano Pinheiro da Silva,
Marcos Inácio Marcondes, Iraides Ferreira Furusho Garcia,
Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira e Elzania Sales Pereira*

INTRODUÇÃO

Este capítulo foi desenvolvido para estabelecer equações de ajuste de pesos corporais em caprinos e ovinos deslanados criados em condições brasileiras. Os ajustes de peso corporal representam uma ferramenta indispensável para estimar o desempenho de animais em situações de testes de alimentação, bem como para a realização de estudos de exigências nutricionais e para a aplicação em sistemas de produção.

Considerando que a principal medida do crescimento dos animais consiste na mensuração da sua massa ou peso corporal, há a necessidade de padronizar as medidas de peso, especialmente para corrigir as diferenças entre as pesagens realizadas no campo e aquelas em condições experimentais, notadamente no que se refere à contribuição do conteúdo do trato gastrointestinal (TGI) para o peso dos animais, o qual pode conduzir a imprecisões relacionadas à determinação do ganho de peso ou das estimativas das exigências nutricionais.

O desenvolvimento de equações para ajuste de peso para pequenos ruminantes é importante, porém ainda é pouco explorado em condições tropicais. Com respeito aos ovinos deslanados, os modelos matemáticos existentes são aqueles atribuídos ainda aos animais lanados. Na ovinocultura nacional não existia uma padronização de pesagem, a qual ocorria com os animais alimentados e/ou após um período de jejum. Assim, essas medidas não representavam a massa real do animal, visto que uma porcentagem significativa do peso aferido na balança corresponde à digesta presente no TGI, proporção essa que pode variar em função da dieta fornecida, do tempo de jejum e da idade do animal.

O objetivo deste capítulo é apresentar modelos empíricos para estimativa do peso corporal em jejum, do peso de corpo vazio e do ganho de peso de corpo vazio para caprinos e ovinos criados em condições brasileiras. Esses modelos auxiliarão na compreensão da eficiência da produção animal, bem como permitirão estimar a massa corporal real do animal.

CRESCIMENTO ANIMAL

O crescimento animal é definido como o aumento de massa corporal por meio da produção de novas células e pelo aumento do tamanho delas, eventos esses conhecidos como hiperplasia (multiplicação celular) e hipertrofia (aumento do tamanho das células).

A proporção dos componentes químicos (água, proteína, gordura e elementos minerais) no corpo do animal variam durante o crescimento em paralelo a composição física (tecido muscular, tecido ósseo e adiposo), sendo ambos influenciados pela idade, peso corporal, classe sexual, genótipo, tamanho à maturidade e nível nutricional dos animais (Coleman *et al.*, 1993). Dessa maneira, quando o animal é jovem, a composição do ganho tem maiores proporções de proteína e água, mas, à medida que o animal cresce e seu peso se aproxima do peso à maturidade, uma mudança no acréscimo de tecido acontece: a concentração de gordura no corpo vazio é aumentada e a proteína e minerais estabilizam-se no corpo vazio do animal.

O crescimento do animal pode ser definido em dois aspectos principais: o primeiro é o acúmulo de massa real (peso) por unidade de tempo e o segundo é relacionado às mudanças que ocorrem na forma e na composição das partes que compõem o corpo do animal pelo crescimentos dos tecidos (Berg & Butterfield, 1976). Assim, o desenvolvimento dos tecidos ocorre de maneira alométrica, ou seja, as taxas de crescimento dos diversos componentes do corpo são diferentes nas diversas fases da vida do animal (Owens *et al.*, 1995).

O crescimento do animal pode ser representado por uma curva sigmoide, a qual descreve o tempo de vida em uma sequência de medidas de tamanho, frequentemente peso

corporal. Consiste em um seguimento de aceleração e desaceleração do crescimento. Portanto, a primeira fase da curva sigmoide após o nascimento é aquela em que o crescimento é acelerado devido ao ganho de peso resultante do aumento dos órgãos, esqueleto, pele e músculos. No ponto de inflexão da curva, considera-se a desaceleração do crescimento, pois, nessa fase, a taxa de deposição de tecido muscular começa a ser reduzida enquanto a de deposição de gordura é aumentada. Anteriormente ao platô, os órgãos corporais atingem tamanho adulto; o crescimento ósseo é finalizado; e a deposição de tecido muscular continua ocorrendo, mas a uma taxa relativamente reduzida.

Usualmente, o crescimento animal é quantificado por mensurações do peso corporal (na verdade massa corporal) em idades padrão ou por ganhos de peso em intervalos de tempo definidos (Hammond, 1966). Entretanto, a mensuração do crescimento tendo como base o peso vivo não é tão precisa, uma vez que essa medida é influenciada pelas variações que ocorrem, principalmente em decorrência de oscilações relacionadas ao conteúdo do TGI (CTGI), devido ao consumo de alimentos e/ou água, (Zinn, 1990; Owens *et al.*, 1995), como anteriormente comentado.

Embora o peso corporal (PC) ou em jejum (PCJ) sejam as formas mais comuns de expressar o peso dos animais e, assim, avaliar seu desempenho (crescimento), essas medidas são menos acuradas para representarem o real peso dos animais, composto apenas pelos seus tecidos corporais. No PC e no PCJ há significativa contribuição de resíduos alimentares, portanto, o peso de corpo vazio (PCVZ) no BR-CAPRINOS & OVINOS é considerado a medida adequada para ser utilizada nas estimativas das exigências nutricionais para manutenção e crescimento.

O PCVZ, o qual é obtido após o abate do animal, sendo calculado como a diferença entre o peso corporal ao abate e os conteúdos do TGI, vesícula biliar e da bexiga (Oliveira *et al.*, 2014; Rodrigues *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2018). Considerando que a obtenção do PCVZ é laboriosa, torna-se necessário o desenvolvimento de modelos para estimá-lo a partir de medidas mais práticas, como o PC ou o PCJ.

MENSURAÇÕES E PREDIÇÕES DE MASSA CORPORAL

No BR-CAPRINOS & OVINOS são utilizados modelos matemáticos para predizer o valor proteico e energético de alimentos e as exigências nutricionais, bem como são utilizadas equações empíricas para estimativa dos pesos e ganhos de pesos corporais.

Nas estimativas de pesos, a medida usual nos sistemas de produção para mensuração do crescimento e avaliação de desempenho é a medida do peso vivo dos animais. O peso vivo também é referenciado como peso corporal ou peso cheio, que é a mensuração do peso corporal do animal em estado alimentado, ou seja, inclui o peso dos componentes do corpo do animal juntamente com o conteúdo do trato gastrointestinal. No BR-CAPRINOS & OVINOS o peso vivo é referido como PC.

O CTGI pode ser influenciado por diversos fatores, como genótipo, nível de alimentação, estado fisiológico do animal, ingestão de água e o tempo de jejum (ARC, 1980). Essa variação é a responsável pela maioria dos erros associados à determinação do ganho de peso de animais de produção (Lofgreen *et al.*, 1962). Para diminuir a influência que a digesta exerce sobre a mensuração do peso corporal a alternativa seria realizar a pesagem após um período específico de jejum.

O jejum aplicado aos animais em condições experimentais pode envolver o jejum de sólidos e/ou de líquidos (hídrico). A medida do PC tomada após o jejum é conhecida como PCJ, sendo mais utilizada no âmbito experimental que o PC, pois representa a massa do animal com menor variação. Na literatura, são encontradas informações de pesagens realizadas após períodos de jejum de sólidos de 16 horas (Rodrigues *et al.*, 2015) e jejuns de sólidos e hídrico de 18 horas de intervalo até a pesagem (Costa *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2014).

Nos estudos que se destinam a mensurar o desempenho dos animais, as pesagens em jejum são realizadas, de modo geral, no início e final do período experimental. Posteriormente, a diferença entre as pesagens final e inicial é dividida pelo número de dias experimentais para a obtenção do ganho médio diário em jejum (GMDJ). Embora o PCJ represente de maneira mais adequada o peso do animal, é sabido que esta medida ainda representa uma fração de peso correspondente aos estoques temporários do TGI. Considerando essas influências, há um consenso no meio científico de que o PCVZ seja a medida que melhor represente a massa corporal do animal. Além disso, é no PCVZ que estão contidos os tecidos que formam o corpo e, portanto, onde os nutrientes são depositados (retidos) (Owens *et al.*, 1995). Portanto, as estimativas das exigências nutricionais do BR-CAPRINOS & OVINOS utiliza como base de expressão o PVCZ.

Além do PCVZ, outra medida importante é o ganho de peso de corpo vazio (GP-CVZ), pois esse representa o ganho de massa real do animal. Assim, elimina-se os erros relacionados a influência do CTGI na mensuração do ganho (Marcondes *et al.*, 2010).

Outro conceito utilizado no BR-CAPRINOS & OVINOS é a unidade de tamanho

metabólico (UTM) ou peso em unidade de tamanho metabólico (PC^{0,75}). O uso da UTM é eficaz para expressar o metabolismo energético do animal e estimar com maior precisão as exigências de energia para manutenção do animal. Além disso, a UTM permite comparar a produção de calor corporal em animais de diferentes tamanhos corporais baseando-se na comparação entre corpos que possuem formas e densidades semelhantes, mas que detêm uma massa distinta, sendo que as taxas metabólicas desses corpos distintos são proporcionais a $\frac{3}{4}$ da sua massa corporal, ou seja, o peso metabólico é o peso corporal elevado à potência de 0,75 (Kleiber, 1947).

DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS

Nessa edição do BR-CAPRINOS & OVINOS diferentes bancos de dados foram desenvolvidos. O primeiro refere-se aos ovinos, sendo este composto por 32 estudos independentes, realizados em condições brasileiras. O banco contém informações de ovinos deslanados e mestiços de três classes sexuais (machos não castrados, machos

castrados e fêmeas), em sistema de pastejo ou confinamento. Os estudos independentes continham as informações quantitativas de PC, PCJ, GMD, GMDJ, PCVZ e GPCVZ.

Na Tabela 1.1 está apresentado o sumário dos estudos utilizados e na Tabela 1.2 está apresentada a estatística descritiva das variáveis utilizadas para estabelecer os parâmetros das equações para predição dos pesos e ganhos de peso.

Os genótipos com maior representatividade no banco de dados foram dos animais deslanados puros, com 525 da raça Santa Inês, 70 ovinos Morada Nova e 47 ovinos da raça Somalis Brasileira. Os demais dados presentes no banco de dados são oriundos do cruzamento entre animais deslanados puros com ovinos lanados e animais sem padrão racial definido (SRD), dentre os quais: 51 são mestiços Santa Inês × Texel, 155 Santa Inês × Dorper, 5 Santa Inês × Lacaune, 18 Santa Inês × Ile de France, 31 Santa Inês × Bergámacia, 57 Santa Inês × SRD, 8 SRD × Dorper e 261 animais SRD, totalizando 1228 observações.

Tabela 1.1 – Sumário de estudos utilizados na meta-análise para desenvolver as equações de predição de pesos e ganhos de peso de ovinos.

Estudos	n	Classe sexual	Genótipo	Sistema de criação
Garcia <i>et al.</i> (2009)	103	Não Castrado/Fêmea	SI×TX; SI×BERG; SI×IF	Confinamento
Garcia <i>et al.</i> (2010)	36	Não Castrado	SI; SI×DP; SI ×TX	Confinamento
Silva <i>et al.</i> (2010)	32	Castrado	SI	Pasto
Pereira (2011)	30	Não Castrado	SI	Confinamento
Pinto <i>et al.</i> (2011)	16	Não Castrado	SI	Confinamento

n = Número de observações por estudo; SI = Santa Inês; DP = Dorper; MN = Morada Nova; SB = Somalis Brasileira; TX = Texel; BERG = Bergamácia; LC = Lacaune; IF = Ilé de France; SRD = Sem raça definida.

Tabela 1.1 – Sumário de estudos utilizados na meta-análise para desenvolver as equações de predição de pesos e ganhos de peso de ovinos. (*Continuação*).

Estudos	n	Classe sexual	Genótipo	Sistema de criação
Lima (2012)	39	Não Castrado	SRD	Confinamento
Soares <i>et al.</i> (2012)	6	Não Castrado /Fêmea	SI×TX	Confinamento
Silva <i>et al.</i> (2012)	29	Não Castrado	SIxDP	Confinamento
Alvarenga (2013)	13	Não Castrado	SRD	Pasto
Costa <i>et al.</i> (2013)	47	Não Castrado	MN	Confinamento
Regadas Filho <i>et al.</i> (2013)	24	Não Castrado	SI	Confinamento
Caetano (2014)	40	Não Castrado	SRD	Confinamento
Oliveira <i>et al.</i> (2014)	35	Não Castrado	SI	Confinamento
Pereira <i>et al.</i> (2014)	47	Não Castrado	SB	Confinamento
Bastos <i>et al.</i> (2015)	25	Não Castrado	SI	Confinamento
Rodrigues <i>et al.</i> (2015)	14	Não Castrado / Castrado/Fêmea	SRD	Confinamento
Elias <i>et al.</i> (2016)	36	Não Castrado	SRD	Confinamento
Leopoldino Júnior (2016)	33	Não Castrado	SI; SIxDP; SIxTX;SIxLC	Confinamento
Luz <i>et al.</i> (2016)	45	Não Castrado	SRD	Confinamento
Santos <i>et al.</i> (2016a)	29	Não Castrado	SI	Confinamento
Santos <i>et al.</i> (2016b)	45	Castrado	SIxSRD	Confinamento
Silva <i>et al.</i> (2016)	39	Não Castrado	SIxDP	Confinamento
Campos <i>et al.</i> (2017)	26	Não Castrado	SRD	Confinamento
Pereira <i>et al.</i> (2017)	16	Não Castrado / Castrado	SI	Confinamento
Silva <i>et al.</i> (2017)	40	Não Castrado	SRD	Confinamento
Assis <i>et al.</i> (2018)	15	Não Castrado	SI	Pasto
Costa (2018)	8	Não Castrado	SI	Confinamento
Magalhães (2018)	80	Não Castrado	SI	Confinamento
Pereira <i>et al.</i> (2018)	23	Não Castrado / Castrado /Fêmea	MN	Confinamento
Santos (2018)	40	Não Castrado	SI	Confinamento
Queiroz (2019)	32	Não Castrado	SI	Confinamento
Castro (2020)	8	Não Castrado	SI	Confinamento
Mendes <i>et al.</i> (2021)	16	Não Castrado	SIxDP	Confinamento
Souza (2021)	8	Não Castrado	DP ×SRD	Confinamento
Fróes (2023)	8	Não Castrado	SI	Confinamento

n = Número de observações por estudo; SI = Santa Inês; DP = Dorper; MN = Morada Nova; SB = Somalis Brasileira; TX = Texel; BERG = Bergamácia; LC = Lacaune; IF = Ille de France; SRD = Sem raça definida.

Tabela 1.2 – Descrição do banco de dados utilizado para estabelecer a relação entre as diversas formas de expressar o peso corporal de ovinos.

Variáveis	PC	PCJ	PCVZ	GMD	GMDJ	GPCVZ
n	520	1217	619	209	882	293
Mínimo	10,12	8,4	6,58	-0,024	-0,028	-0,035
Máximo	54,4	62,2	42,31	0,465	0,387	0,242
Mediana	31,14	32,7	23,66	0,122	0,182	0,096
Média	30,40	32,40	23,93	0,142	0,170	0,100
DP	9,78	9,32	8,38	0,086	0,066	0,057
CV	0,32	0,29	0,35	0,60	0,38	0,57

PC = Peso corporal; PCJ = Peso corporal em jejum; PCVZ = Peso de corpo vazio; GMD = Ganho médio diário; GMDJ = Ganho médio diário em jejum; GPCVZ = Ganho médio diário de corpo vazio; n = Número de observações; CV = Coeficiente de variação; DP = Desvio padrão.

Foi também desenvolvido um banco de dados somente com caprinos em crescimento criados em condições brasileiras. Este banco de dados foi composto por 10 estudos que continham informações de diferentes genótipos (leite, corte e nativos), tipos de dietas (aleitamento ou desmamados) e de três classes sexuais (não-castrados, castrados e fêmeas), em sistema de confinamento.

Na Tabela 1.3, está apresentado o sumário dos estudos envolvidos nesse banco de dados e na Tabela 1.4 está apresentada a estatística descritiva das variáveis utilizadas para estabelecer os parâmetros das equações para predição dos pesos e ganhos de peso. Este banco de dados foi utilizado para estimativa empírica de PCVZ em função do PC e para a estimativa de GPCVZ em função do GMD.

Tabela 1.3 – Sumário de estudos utilizados na meta-análise para desenvolver as equações de predição de pesos e ganhos de peso de caprinos.

Estudos	n	Classe sexual	Genótipo	Tipo de dieta
Resende (1989)	12	Não Castrado	½ Saanen × Alpina SRD	Aleitamento/Dieta sólida
Ribeiro (1995)	14	Não Castrado	½ Saanen × Alpina SRD	Aleitamento/Dieta sólida
Fernandes <i>et al.</i> (2007)	20	Não Castrado	¾ Boer × ¼ Saanen	Dieta sólida
	19	Não Castrado	Saanen	Aleitamento/Dieta sólida
Bompadre <i>et al.</i> (2014)	16	Castrado	Saanen	Aleitamento/Dieta sólida
	18	Fêmea	Saanen	Aleitamento/Dieta sólida

Tabela adaptada de Campos *et al.* (2017). n = Número observações por estudo; SRD = Sem raça definida.

Tabela 1.3 – Sumário de estudos utilizados na meta-análise para desenvolver as equações de predição de pesos e ganhos de peso de caprinos. (*Continuação*).

Estudos	n	Classe sexual	Genótipo	Tipo de dieta
Medeiros <i>et al.</i> (2014)	23	Não Castrado	Saanen	Aleitamento/Dieta sólida
	14	Não Castrado	Saanen	Dieta sólida
Almeida <i>et al.</i> (2015)	16	Castrado	Saanen	Dieta sólida
	17	Fêmea	Saanen	Dieta sólida
Ferreira <i>et al.</i> (2015)	27	Castrado	Saanen	Dieta sólida
Teixeira <i>et al.</i> (2015)	19	Não Castrado	$\frac{1}{2}$ Boer \times $\frac{1}{2}$ Saanen	Aleitamento/Dieta sólida
	20	Não Castrado	$\frac{1}{2}$ Boer \times $\frac{1}{2}$ Saanen	Dieta sólida
Figueiredo <i>et al.</i> (2016a)	18	Fêmea	Saanen	Dieta sólida
	20	Não Castrado	Saanen	Dieta sólida
Figueiredo <i>et al.</i> (2016b)	20	Castrado	Saanen	Dieta sólida
	18	Fêmea	Saanen	Dieta sólida

Tabela adaptada de Campos *et al.* (2017). n = Número observações por estudo; SRD = Sem raça definida.

Tabela 1.4 – Estatística descritiva do banco de dados utilizado para desenvolver os modelos de predição do peso de corpo vazio (PCVZ) em função do peso corporal (PC) em caprinos.

Variáveis	n	Média	DP	Mínimo	Máximo
Peso corporal (kg)	226	24,1	12,2	4,6	47,4
Peso de corpo vazio (kg)	226	19,9	10,4	3,5	40,1
Idade (dias)	213	170	117	8	585
CTGI (% PC)	226	17,2	4,67	4,48	30,4

Tabela adaptada de Campos *et al.* (2017); n = Número de observações por estudo; DP = Desvio padrão; CTGI = Conteúdo do trato gastrintestinal; PC = Peso corporal.

Além disso, foi construído um outro banco de dados que englobou caprinos e ovinos, o qual foi adotado com intuito de desenvolver modelos mais mecanicistas para a estimativa do PCVZ. Nesta abordagem foi considerada a estimativa do CTGI.

O CTGI (g/kg PC) para caprinos e ovinos foi obtido por diferença entre o TGI cheio e o TGI vazio, após o abate dos animais. Ao todo foram utilizados dados individuais de 750

animais obtidos a partir de 21 estudos (Tabela 1.5). Destes, treze estudos foram conduzidos com caprinos de diferentes classes sexuais (não-castrados, n = 218; castrados, n = 116, e fêmeas, n = 110), raças (Saanen, n = 319; $\frac{1}{2}$ Boer \times $\frac{1}{2}$ Saanen, n = 45; $\frac{3}{4}$ Boer \times $\frac{1}{4}$ Saanen, n = 21; SRD, n = 38; e Alpina, n = 21), tipos de dieta (aleitamento, n = 36; e dieta sólida, n = 408), estágio fisiológico (gestantes, n = 42; e crescimento, n = 402), estágio da gestação em

dias (50, n = 6; 80, n = 12; 110, n = 12; e 140, n = 12), e tipo de gestação (simples, n = 18; gemelar, n = 24).

Os oito estudos restantes foram conduzidos com ovinos de diferentes sexos (não-castrados, n = 161; castrados, n = 26; e fêmeas, n = 119), raças (Santa Inês, n = 170; $\frac{1}{2}$ Dorper \times $\frac{1}{2}$ Santa Inês, n = 54; e Morada Nova, n = 82), estágio fisiológico (gestantes, n = 73; e crescimento, n = 233), estágio da gestação em dias (90, n = 14; 110, n = 15; 130, n = 16; e 140, n = 28), e tipo de gestação (simples, n = 28; gemelar, n = 45) (Tabela 1.5).

Tabela 1.5 – Sumário de estudos utilizados na meta-análise para desenvolver as equações de predição do CTGI em caprinos e ovinos.

Estudos	n	Espécie	Classe sexual	Genótipo	Tipo de dieta
Resende (1989)	18	Caprinos	Não Castrado	I; SRD	Aleitamento/ Dieta sólida
Ribeiro (1995)	20	Caprinos	Não Castrado	I; SRD	Aleitamento/ Dieta sólida
Fernandes <i>et al.</i> (2007)	21	Caprinos	Não Castrado	BBS	Dieta sólida
Macedo Junior (2008)*	83	Ovinos	Fêmea	Santa Inês	Dieta sólida
Gomes (2011)	18	Caprinos	Não Castrado	Saanen	Dieta sólida
Pereira (2011)	24	Ovinos	Não Castrado	Santa Inês	Dieta sólida
Costa <i>et al.</i> (2013)	47	Ovinos	Não Castrado	Morada Nova	Dieta sólida
Bompadre <i>et al.</i> (2014)	58	Caprinos	Não Castrado / Castrado/Fêmea	Saanen	Aleitamento/ Dieta sólida
Härter <i>et al.</i> (2014)*	42	Caprinos	Fêmea	Saanen; Alpina	Dieta sólida
Medeiros <i>et al.</i> (2014)	35	Caprinos	Não Castrado	Saanen	Aleitamento/ Dieta sólida
Oliveira <i>et al.</i> (2014)	34	Ovinos	Não Castrado	Santa Inês	Dieta sólida
Almeida <i>et al.</i> (2015)	55	Caprinos	Não Castrado / Castrado/Fêmea	Saanen	Dieta sólida
Teixeira <i>et al.</i> (2015)	45	Caprinos	Não Castrado	BS	Aleitamento/ Dieta sólida

Tabela adaptada de Ribeiro *et al.* (2023); n = número de observações por estudo; I = Leiteiro \times SRD; SRD = Sem raça definida; BBS = $\frac{3}{4}$ Boer \times $\frac{1}{4}$ Saanen; BS = $\frac{1}{2}$ Boer \times $\frac{1}{2}$ Saanen; SID = $\frac{1}{2}$ Santa Inês \times $\frac{1}{2}$ Dorper; *Estudos com fêmeas gestantes.

As fêmeas adultas gestantes foram avaliadas em dias de gestação específicos, cujo PC variou de 29,14 kg a 66,80 kg. Nos demais estudos, os animais foram avaliados em pesos pré-estabelecidos variando de 5 kg ($5,9 \pm 0,55$ kg PC) a 50 kg ($51,75 \pm 8,32$ kg PC). O PC utilizado nessa meta-análise foi sem jejum (Ribeiro *et al.*, 2023).

A Tabela 1.6 apresenta a estatística descritiva apenas para os animais alimentados com dieta sólida, os quais foram adotados para o desenvolvimento dos modelos para a estimativa do CTGI.

Tabela 1.5 – Sumário de estudos utilizados na meta-análise para desenvolver as equações de predição do CTGI em caprinos e ovinos.(Continuação).

Estudos	n	Espécie	Classe sexual	Genótipo	Tipo de dieta
Ferreira <i>et al.</i> (2015)	27	Caprinos	Castrado	Saanen	Dieta sólida
Figueiredo <i>et al.</i> (2016a)	54	Caprinos	Não Castrado / Castrado/Fêmea	Saanen	Dieta sólida
Figueiredo <i>et al.</i> (2016b)	15	Caprinos	Fêmea	Saanen	Dieta sólida
Pereira <i>et al.</i> (2017)	29	Ovinos	Não Castrado / Castrado	Santa Inês	Dieta sólida
Pereira <i>et al.</i> (2018)	35	Ovinos	Não Castrado / Castrado/Fêmea	Morada Nova	Dieta sólida
Ribeiro (2019)	36	Caprinos	Castrado	Saanen	Dieta sólida
Herbster (2024)	24	Ovinos	Fêmea	SID	Dieta sólida
Mendes <i>et al.</i> (2021)	30	Ovinos	Não Castrado	SID	Dieta sólida

Tabela adaptada de Ribeiro *et al.* (2023); n = número de observações por estudo; I = Leiteiro × SRD; SRD = Sem raça definida; BBS = $\frac{3}{4}$ Boer × $\frac{1}{4}$ Saanen; BS = $\frac{1}{2}$ Boer × $\frac{1}{2}$ Saanen; SID = $\frac{1}{2}$ Santa Inês × $\frac{1}{2}$ Dorper; *Estudos com fêmeas gestantes.

Tabela 1.6 – Estatística descritiva do banco de dados utilizados para desenvolver os modelos de predição do conteúdo do trato gastrointestinal em caprinos e ovinos.

Variáveis	n	Média	DP ²	Mínimo	Máximo
Peso corporal (kg)	390	34	14	10	67
CTGI (g/kg PC)	390	190	60	40	380
Ingestão de matéria seca (g/kg PC)	360	27	6,6	8,7	53
Ingestão de FDN (g/kg PC)	360	12	5	3,3	32

Tabela adaptada de Ribeiro *et al.* (2023); n = Número de observações por estudo; DP = Desvio padrão; CTGI = Conteúdo do trato gastrintestinal; PC = Peso corporal; FDN = Fibra em detergente neutro.

RELAÇÕES DE PESAGENS

Nos estudos de exigência nutricional os requisitos devem ser expressos em várias bases (PC, PCJ ou PCVZ), pois permitem um melhor entendimento e comparação entre os diversos sistemas de alimentação existentes. Sendo assim, para ovinos, dois fatores de conversão foram gerados para converter as exigências expressas na base de PCVZ para a base de PCJ, cujo fator foi de 1,21 ($P < 0,001$),

e da base de PCVZ para a base de PC, com fator de 1,28 ($P < 0,001$).

Para estabelecer as relações de peso em ovinos, inicialmente foi avaliado o modelo que melhor descreveria biologicamente e matematicamente as relações para o ajuste de peso. Dessa maneira o modelo linear foi escolhido por apresentar um melhor ajuste para as relações lineares entre PC e PCJ, PCJ e PCVZ, GMD e GPCVZ.

A convergência dos dados para esse modelo é explicada em virtude de as informações presentes no banco de dados estarem concentradas na faixa de peso compreendida entre 15 e 30 kg de PC. Não foi possível testar o efeito do sistema de produção devido ao menor número de estudos e ao fato de que cada estudo continha apenas um tipo de sistema.

ESTIMANDO O PESO CORPORAL EM JEJUM A PARTIR DO PESO CORPORAL

As variações relacionadas ao enchimento do TGI podem estar associadas ao tamanho e idade (Jesse *et al.*, 1976), dieta (Van Soest, 1994), temperatura (principalmente no que diz respeito à ingestão de água), atividade (Whiteman *et al.*, 1954) e jejum (Koch *et al.*, 1958).

O efeito de classe sexual ($P = 0,1026$) ou de genótipo ($P = 0,1175$) não foi identificado, portanto, uma única equação foi obtida para estimar o PCJ a partir do PC:

$$\text{PCJ} = -0,5470 + 0,9313 \times \text{PC} \quad \text{Eq. 1.1}$$

Os valores preditos por meio da Equação 1.1, apresentados na Tabela 1.7, diferem do valor preconizado por Cannas *et al.* (2004), que consideraram que o peso corporal em jejum corresponde a 96 % do peso corporal, ou seja, uma redução de 4% do PC, representada pelo conteúdo do TGI. No entanto, animais com peso corporal entre 20 e 40 kg apresentaram reduções semelhantes aos valores reportados por Freetly *et al.* (2002), que consideraram o PCJ equivalente a 90% do PC.

Uma representação da relação entre o PCJ e o PC é demonstrada na Figura 1.1, cuja baixa dispersão dos pontos indica a precisão da estimativa entre as variáveis. Já as reduções maiores no peso corporal após jejum são verificadas em animais mais leves.

Esse fato pode ser explicado pelo desenvolvimento dos tecidos no corpo do animal. Os órgãos que compõem o TGI possuem um desenvolvimento mais precoce se comparados aos demais tecidos integrantes do corpo do animal (muscular e adiposo), sendo assim, o TGI apresenta maior proporção no corpo de animais mais leves se comparados a animais mais pesados (Berg & Butterfield, 1976).

Além disso, à medida que o animal cresce e se aproxima da maturidade fisiológica a deposição de músculo é reduzida e ocorre um aumento na deposição de tecido adiposo (Berg *et al.*, 1978). Consequentemente, esse acúmulo de gordura na carcaça e nas vísceras pode causar um efeito depressivo no volume do trato digestório (Owens *et al.*, 1995).

Tabela 1.7 – Aplicações da equação de predição de peso corporal em jejum a partir do peso corporal de ovinos.

PC (kg)	PCJ (kg)	PCJ/PC	Redução do PC (%)
10	8,76	0,876	12,4
15	13,41	0,894	10,6
20	18,07	0,903	9,7
25	22,73	0,909	9,1
30	27,38	0,913	8,7
35	32,04	0,915	8,5
40	36,70	0,917	8,3

PC = Peso corporal; PCJ = Peso corporal em jejum.

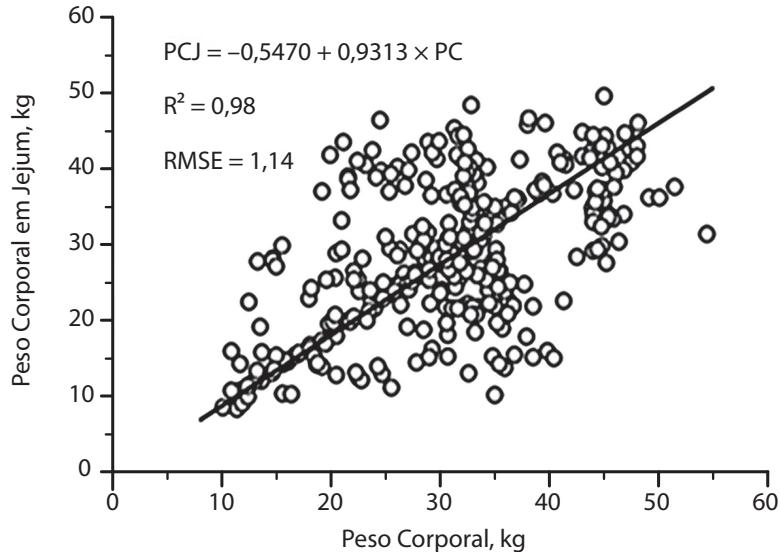


Figura 1.1 – Relação entre o peso de corpo em jejum e o peso corporal de ovinos.

ESTIMATIVA DO PESO DE CORPO VAZIO A PARTIR DO PESO CORPORAL EM JEJUM

A estimativa da variação do conteúdo da digesta no TGI de ruminantes é de fundamental importância para reduzir o erro na mensuração do PCJ. O conteúdo TGI no início da vida dos animais representa aproximadamente 5% do peso corporal, mas esta percentagem aumenta rapidamente para 20% quando os animais alcançam maiores pesos (Robelin & Geay, 1984).

A obtenção das relações de pesos é importante principalmente para ovinos deslanados, pois as relações utilizadas nos sistemas internacionais podem incorrer em erros, pois esses sistemas utilizam ovinos lanados, os quais apresentam padrões de crescimento distinto de animais deslanados.

Em ovinos, para estimar o PCVZ a partir do PCJ, uma única equação foi gerada (Equação 1.2), uma vez que não houve efeito de classe sexual ($P = 0,4450$) e de genótipo ($P = 0,5929$):

$$PCVZ = -1,4944 + 0,8816 \times PCJ \quad \text{Eq. 1.2}$$

A partir do uso dessa equação pode ser observado que a redução do PCJ em relação ao PCVZ foi em média de 19 % (Tabela 1.8), a qual é ligeiramente superior ao valor reportado por Cannas *et al.* (2004), de 14,9%, obtida a partir de uma relação fixa de 0,851. Porém, essa relação deve ser vista de maneira cautelosa, caso fosse utilizada para animais deslanados, pois reduções durante o jejum variam de acordo com o peso do animal, em que animais de menor peso corporal apresentam maiores reduções no PCVZ em relação ao PCJ. Dessa forma, a Equação 1.2 fornece uma estimativa mais precisa do PCVZ de ovinos deslanados criados em condições tropicais, como é demonstrado na Figura 1.2.

Tabela 1.8 – Aplicação da equação de predição do peso de corpo vazio a partir do peso em jejum de ovinos.

PCJ (kg)	PCVZ (kg)	PCVZ/PCJ	Redução do PCJ (%)
10	7	0,732	26,8
15	12	0,782	21,8
20	16	0,807	19,3
25	21	0,822	17,8
30	25	0,832	16,8
35	29	0,839	16,1
40	34	0,844	15,6

PCJ = Peso corporal em jejum; PCVZ = Peso de corpo vazio.

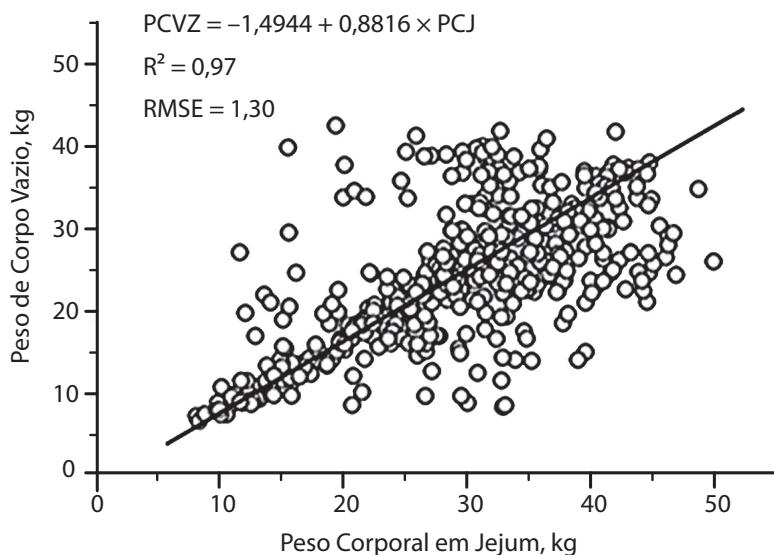


Figura 1.2 – Relação entre o peso de corpo vazio e o peso corporal em jejum de ovinos.

Em caprinos (utilizando banco de dados descrito nas Tabelas 1.3 e 1.4), o PCVZ foi estimado a partir do PC, e foi encontrado que não houve efeito de classe sexual ($P > 0,19$) nos parâmetros dos modelos (Campos *et al.*, 2017). Por outro lado, identificou-se o efeito de tipo de dieta ($P < 0,001$) nos parâmetros dos modelos (Campos *et al.*, 2017). Desta forma, foram gerados dois modelos, um para animais em aleitamento (Equação 1.3) e outro para animais desmamados (Equação 1.4):

$$\text{PCVZ}_{\text{caprinos em aleitamento}} (\text{kg}) = 0,714 (\pm 0,315) + 0,742 (\pm 0,032) \times \text{PC} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 1.3}$$

$$\text{PCVZ}_{\text{caprinos desmamados}} (\text{kg}) = -0,608 (\pm 0,305) + 0,841 (\pm 0,0093) \times \text{PC} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 1.4}$$

A partir do uso dessas equações observa-se que a redução do PC em relação ao PCVZ dos animais desmamados ($\text{PC} > 15 \text{ kg}$) foi em média de 19% (Tabela 1.9), a qual é igual a média encontrada com ovinos criados em condições brasileiras (Tabela 1.8).

Tabela 1.9 – Aplicação das equações de predição do peso de corpo vazio a partir do peso corporal em caprinos.

PC ¹ (kg)	PCVZ ² (kg)	PCVZ/PC	Redução do PC (%)
5 ³	4,4	0,88	11,5
10 ³	8,1	0,81	18,7
15	12	0,80	20,0
20	16,2	0,81	18,9
25	20,4	0,82	18,3
30	24,6	0,82	17,9
35	28,8	0,82	17,6

PC = Peso corporal; PCVZ = Peso de corpo vazio. ³A estimativa do PCVZ foi feita utilizando a Eq. 3, para caprinos em aleitamento.

ESTIMANDO O GANHO DE PESO DE CORPO VAZIO (GPCVZ) A PARTIR DO GANHO MÉDIO DIÁRIO (GMD)

O GMD é uma medida indispensável para estimar o desempenho animal em testes de alimentação e sistemas de produção. Em rações balanceadas, o GMD em um determinado peso corporal depende essencialmente da ingestão de energia. Variações no enchimento do TGI são impostas pelo plano dietético, cujas relações elevadas de volumoso:concentrado impactam no GMD e influenciam no padrão de crescimento animal. Assim, a utilização de uma equação para predição do ganho de peso de corpo vazio, torna-se útil, em virtude de reduzir os efeitos produzidos pelo enchimento do TGI.

O GMD é uma medida obtida a partir de pesagens dos animais semanalmente, quinzenalmente ou no início e no final de cada período experimental, sendo dependente dos critérios estabelecidos pelo manejador. Já o ganho médio diário em jejum é uma medida obtida a partir da pesagem dos animais em jejum (sólidos, líquidos ou sólidos e líquidos).

Em ovinos, as variáveis, GMD e GMDJ foram testadas para averiguar se havia diferenças entre elas, assim como os efeitos de sexo e genótipo. Não foram observados efeitos significativos ($P = 0,2477$) e a Equação 1.5 foi gerada para estimar o GPCVZ de ovinos deslanados a partir do GMD.

$$\text{GPCVZ}_{\text{ovinos}} = 0,906 \times \text{GMD}$$

(n= 219, R²= 0,94) Eq. 1.5

A Equação 1.5 é aplicável aos ovinos deslanados criados em condições tropicais, pois esses animais têm padrão de crescimento distintos dos genótipos lanados, sendo animais de menor porte e com lentes taxas de crescimento (Costa *et al.*, 2013) uma vez que esses genótipos geralmente não são selecionados para deposição de músculo como os genótipos de clima temperado (Early *et al.*, 2001). Sendo assim, a utilização de equações geradas a partir de dados de animais lanados pode levar a erros na determinação do ganho de peso de ovinos deslanados. Uma representação gráfica da relação entre o GPCVZ e GMD em ovinos é apresentada na Figura 1.3.

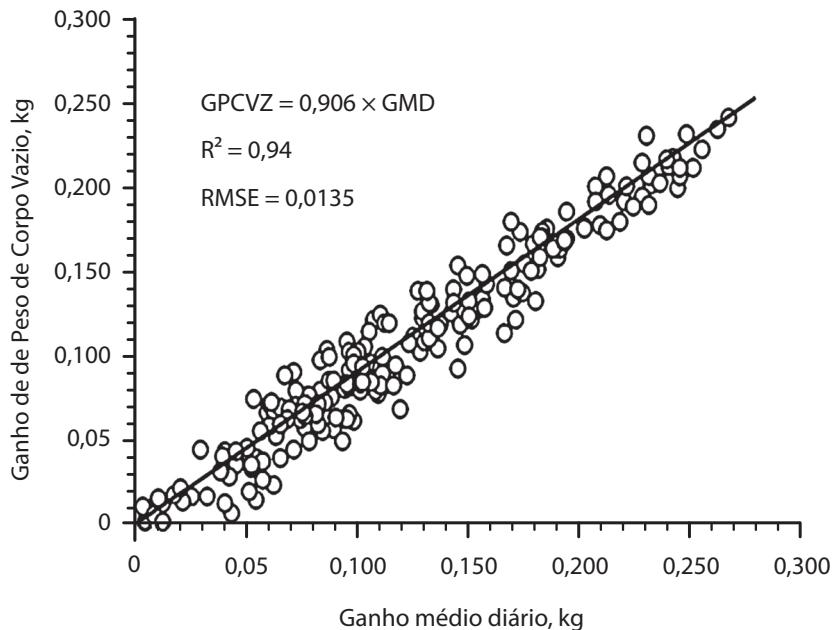


Figura 1.3 – Relação entre o ganho de peso de corpo vazio e ganho médio diário.

Em caprinos, foi desenvolvido um modelo não linear para estimar o GPCVZ em função do GMD (Equação 1.6). Os parâmetros desse modelo não foram diferentes entre sexo e genótipo. A Equação 1.6 foi adotada no BR-CAPRINOS & OVINOS para a estimativa de GPCVZ em caprinos.

$$GPCVZ_{\text{caprinos}} = 1,126 (\pm 0,1469) \times MD^{0,941(\pm 0,0260)} \quad (n = 224, RMSE = 16,05) \quad \text{Eq. 1.6}$$

PREDIÇÃO DO CONTEÚDO DO TRATO GASTRINTESTINAL (CTGI) EM PEQUENOS RUMINANTES

Como dito anteriormente, o CTGI contribui para a variação nas medidas de peso corporal e consequentemente afeta a precisão na predição do GPCVZ. A quantificação do CTGI é importante, visto que, permite desenvolver estratégias alimentares eficazes, refinar modelos de taxa de passagem e aprimorar a predição do rendimento de carcaça,

e do peso de corpo vazio. Sendo assim, nesta seção, apresenta-se uma abordagem mais mecanicista onde é possível observar a variação do CTGI ao longo do crescimento, em peso corporal, de ovinos e caprinos.

Os resultados demonstraram que à medida que os animais crescem, e, consequentemente, aumentam o PC, o CTGI diminui, havendo diferença entre as espécies caprina e ovina, considerando tanto uma relação linear (Equações 1.7 e 1.8) quanto a uma relação não-linear (Equações 1.9 e 1.10, Figura 1.4) entre as variáveis.

$$\begin{aligned} CTGI_{\text{caprinos}} (\text{g/kg PC}) &= 223,85 (\pm 14,38) - \\ &- 1,36 (\pm 0,42) \times PC (\text{kg}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 1.7}$$

$$\begin{aligned} CTGI_{\text{ovinos}} (\text{g/kg PC}) &= 309,22 (\pm 21,47) - \\ &- 2,77 (\pm 0,58) \times PC (\text{kg}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 1.8}$$

$$\begin{aligned} CTGI_{\text{caprinos}} (\text{g/kg PC}) &= 525,5 (\pm 1,18) \times \\ &\times PC^{-0,33 (\pm 0,05)} (\text{kg}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 1.9}$$

$$\text{CTGI}_{\text{ovinos}} (\text{g/kg PC}) = 653,8 (\pm 1,05) \times \\ \times \text{PC}^{-0,33 (\pm 0,05)} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 1.10}$$

Esses resultados confirmam achados prévios que avaliaram o CTGI (g/kg de PCVZ) em bovinos e ovinos (ARC, 1980). A redução do CTGI à medida que o animal cresce e se aproxima da maturidade parece lógica, uma vez que, o acréscimo de peso se dá pela deposição de tecidos corporais e não pelo crescimento proporcional do trato.

A diferença observada entre as espécies pode ser explicada devido as distintas características de caprinos e ovinos, como classificação quanto ao critério morfológico, estratégia de seleção de alimentos, capacidade de aproveitamento de volumosos e concentrados

e diferente proporção do trato gastrointestinal em relação ao peso corporal, o que leva a distintas taxas de passagem e, consequentemente, conteúdo da digesta.

Assim, a Equação 1.9 foi adotada no BR-CAPRINOS & OVINOS para a estimativa de CTGI em caprinos, o qual, por sua vez, foi utilizado para a estimativa do PCVZ nesta espécie.

Além dos efeitos de peso e espécie, outra variável que merece destaque quanto as modulações que promove no conteúdo do TGI é a dieta. O preenchimento do TGI é uma consequência da ingestão de alimentos e da seleção da dieta realizada pelos animais com intuito de suprir sua exigência nutricional (Van Soest, 1994).

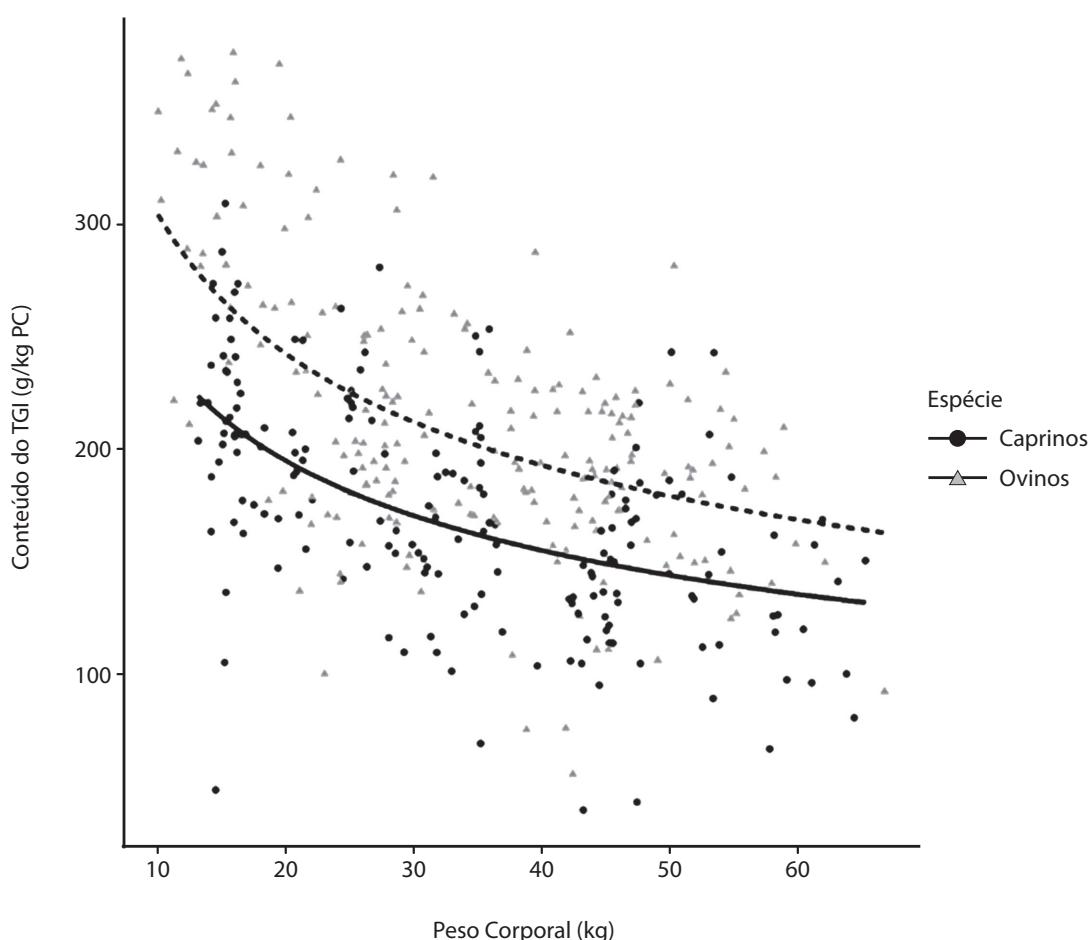


Figura 1.4 – Relação entre o conteúdo do trato gastrointestinal (g/kg PC) e o peso corporal (kg) de pequenos ruminantes.

Animais jovens apresentam maior consumo em proporção ao peso corporal (Ortigues & Doreau, 1995), porém, em ruminantes, a qualidade e composição da forragem influenciam o consumo de ração. A fibra em detergente neutro (FDN) e sua digestibilidade são importantes fatores que regulam o consumo de forragem, devido a FDN ser o principal componente limitante do enchimento ruminal. O teor de FDN está altamente correlacionado com o tempo de ruminação ou mastigação. Sendo assim, quando a dieta é de pior qualidade, as partículas de forragem permanecem por mais tempo no rúmen (Duarte *et al.*, 2014).

A taxa de degradação do tamanho das partículas está provavelmente relacionada ao tamanho do animal porque o tempo de ruminação por grama de FDN diminui exponencialmente com o peso corporal (Welch, 1982). Contudo, o comportamento de fermentação e a composição quanto as proporções dos componentes da parede celular (celulose, hemicelulose, lignina) difere entre gramíneas e forragens (Hummel *et al.*, 2006), o que pode demandar tempo de retenção distinto para degradação da fibra.

Considerando isso, percebe-se a importância da FDN na capacidade de preenchimento do trato gastrintestinal, principalmente no que concerne ao rúmen-retículo. Devido a isso, a ingestão de FDN foi considerada em modelos para predição do CTGI, gerando duas equações, sendo elas:

$$\text{CTGI}_{\text{caprinos}} (\text{g/kg PC}) = 430,04 (\pm 1,23) \times \\ \times \text{PC} (\text{kg})^{-0,29 (\pm 0,05)} \times e^{(0,00788 (\pm 0,004) \times \text{FDNI} (\text{g/kg PC}))}$$

Eq. 1.11

$$\text{CTGI}_{\text{ovinos}} (\text{g/kg PC}) = 512,2 (\pm 1,06) \times \\ \times \text{PC} (\text{kg})^{-0,29 (\pm 0,05)} \times e^{(0,00788 (\pm 0,004) \times \text{FDNI} (\text{g/kg PC}))}$$

Eq. 1.12

A Figura 1.5 ilustra a relação entre o CTGI (g/kg de PC) e o PC (kg) com a inclusão da ingestão de fibra em detergente neutro em três níveis fixos (6, 12 e 24 g/kg PC) para caprinos e ovinos. Para ambas as espécies, a maior concentração de FDN ingerido em proporção ao PC (24 g/kg PC) ocasionou maior CTGI, seguida pela ingestão intermediária (12 g/kg PC) e pela menor ingestão (6 g/kg PC).

Ainda sobre a Figura 1.5 é possível observar que, à medida que os animais avançam em peso corporal, o CTGI tende a diminuir, provavelmente devido a maior capacidade dos animais adultos em degradarem a fibra e aumentarem a taxa de passagem da digesta. Além disso, os ovinos, em geral, apresentaram maiores valores de CTGI em relação aos caprinos.

Esse fato está relacionado à diferença no intercepto entre as equações 1.11 e 1.12, no valor de 82 g/kg de PC (512,2 – 430,04) que os ovinos apresentaram a mais em relação aos caprinos. Essa discrepância, provavelmente, está relacionada com hipóteses de que os herbívoros requerem tempos de retenção de digesta mais longos e, portanto, um rúmen maior (Clauss *et al.*, 2003; Clauss *et al.*, 2010). Além do mais, os caprinos possuem uma proporção menor de estômago (câmaras gástricas) em relação ao peso corporal, o que resulta no rápido movimento da digesta do rúmen e ao longo de todo o TGI (Silanikove, 2000).

Conforme tudo o que foi dito, nota-se que a variação do CTGI é influenciada por diversos fatores que dificultam sua mensuração. Portanto, a utilização de modelos que considerem a diversidade de agentes sobre a quantidade de CTGI é de extrema relevância. Além disso, a predição do CTGI por meio de modelos possui inúmeros benefícios, visto que sua mensuração direta requer o abate dos animais além de ser laboriosa, demorada e onerosa.

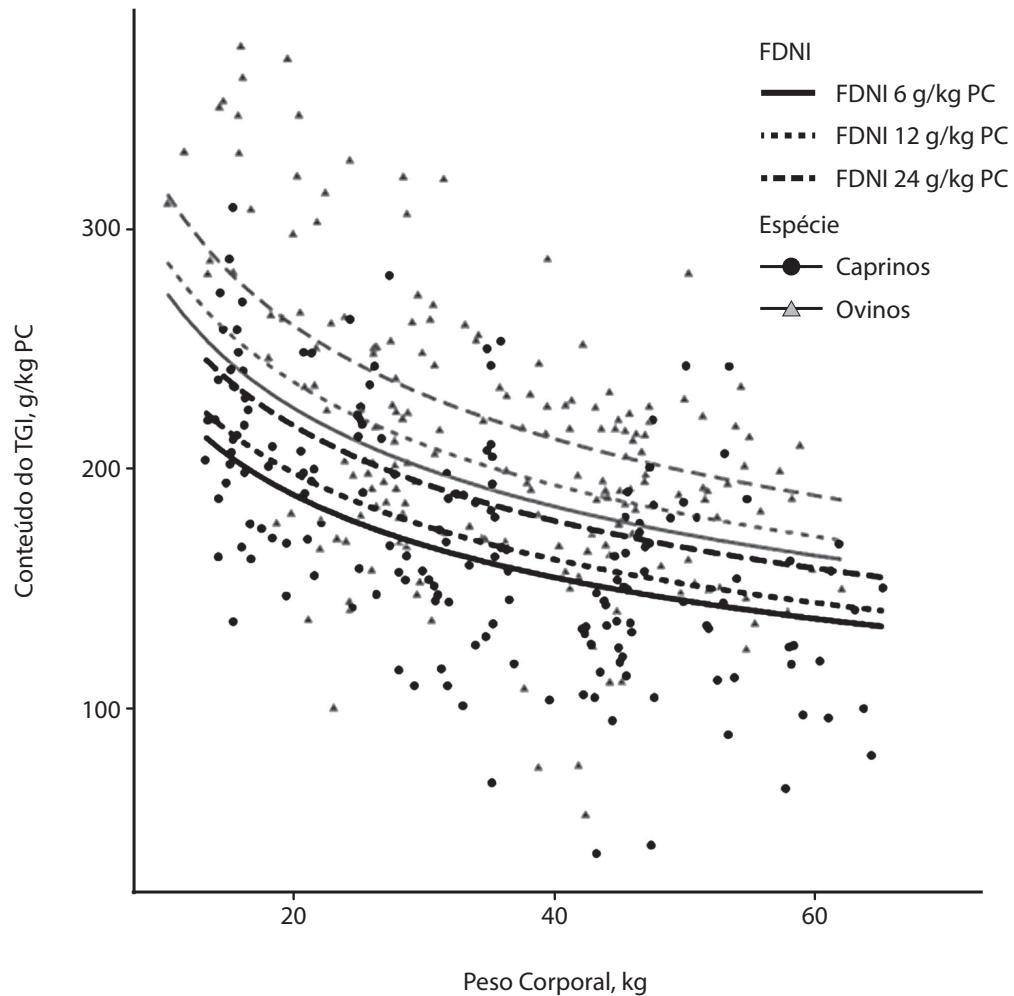


Figura 1.5 – Relação entre o conteúdo do trato gastrintestinal (g/kg PC) e o peso corporal (kg) simulando três níveis fixos (6,12 e 24 g/kg PC) de ingestão de fibra em detergente neutro em pequenos ruminantes.

REFERÊNCIAS

- Agricultural Research Council – ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureaux. The Gresham Press, 351 p., 1980.
- Almeida, A.K., Resende, K.T., St-Pierre, N., Silva, S.P., Soares, D.C., Fernandes, M.H.M.R., Souza, A.P., Silva, N.C.D., Lima, A. R. C., Teixeira, I. A. M. A. Energy requirements for growth in male and female Saanen goats. *Journal of Animal Science*, 93:3932-3940, 2015.
- Alvarenga, F. A. P. *Lipídeos na dieta de cordeiros de diferentes cruzamentos para produção de carne*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, 2013.
- Assis, D. S. M., Silva, A. M. A., Nascimento Júnior, N. G., Bezerra, L. R., Filho, J. M. P., Oliveira, R. L., Pereira, E. S., Nobrega, G. H., Moura, J. F. P. Dorper x Santa Inês F1 crossbred lambs under different grazing times and supplement levels in tropical regions: performance and macro mineral requirements. *Italian Journal of Animal Science*, 17:931-940, 2018.
- Bastos, M. P. V., Carvalho, G. G. P., Pires, A. J. V., Silva, R. R., Carvalho, B. M. A., Brandão, R. K. C., Maranhão, C. M. A. Impact of total substitution of corn for soybean hulls in diets for lambs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44:83-91, 2015.
- Berg, R.T., Andersen, B.B., Liboriussen, T. Growth of bovine tissues 1. Genetic influences on growth patterns of muscle, fat and bone in young bulls. *Animal Science*, 26:245-258, 1978.
- Berg, R.T., Butterfield, R.M. *New concepts of cattle growth*. 1st ed. Sydney: Sydney University Press, 240 p, 1976.
- Bompadre, T.F.V., Boaventura Neto, O., Mendonça, A.N., Souza, S.F., Oliveira, D., Fernandes, M.H.M.R., Harter, C.J., Almeida, A.K., Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A. Energy requirements in early life are similar for male and female goat kids. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 27:1712-1720, 2014.
- Brito Neto, A.S. *Exigências de energia para manutenção e ganho de peso de fêmeas Santa Inês e equações para predição do peso de carcaça, peso de corpo vazio, ganho de peso de corpo vazio e energia retida*. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2024.
- Caetano, G.G.P. *Bagaço de cana de açúcar in natura em substituição parcial à silagem de milho na dieta de ovinos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2014.
- Campos, F.S., Carvalho, G.G.P., Santos, E.M., Araújo, G. G.L., Gois, G.C., Rebouças, R.A., Leão, A.G., Santos, S.A., Oliveira, J.S., Leite, L.C., Araújo, M.L.G.M.L., Cirne, L.G.A., Silva, R.R., Carvalho, B.M.A. Influence of diets with silage from forage plants adapted to the semi-arid conditions on lamb quality and sensory attributes. *Meat Science*, 124:61-68, 2017.
- Cannas, A., Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell, A.N., Van Soest, P.J. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *Journal of Animal Science*, 82:149-169, 2004.
- Castro, D.P.V. *Óleo de palmiste na dieta de cordeiros em terminação*. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.
- Clauss, M., Hume, I.D., Hummel, J. Evolutionary adaptations of ruminants and their potential relevance for modern production systems. *Animal* 4:979-992, 2010.
- Clauss, M., Lechner-Doll, M., Streich, W.J. Ruminant diversification as an adaptation to the physicomechanical characteristics of forage. A reevaluation of an old debate and a new hypothesis. *Oikos* 102:253-262, 2003.
- Coleman, S.W., Evans, B.C., Guenther, J.J. Body and carcass composition of Angus and Charolais steers as affected by age and nutrition. *Journal of Animal Science*, 71:86-95, 1993.
- Costa, E.I.S. *Tanino oriundo de planta nativa da região semiárida na dieta de ovinos em crescimento*. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.
- Costa, M.R.G.F., Pereira, E.S., Silva, A.M.A., Paulino, P.V.R., Mizubuti, I.Y., Pimentel, P.G., Pinto, A.P., Rocha Junior, J.N. Body Composition and Net Energy and Protein Requirements of Morada Nova Lambs. *Small Ruminant Research*, 114:206-213, 2013.
- Duarte, A., Luna, R.S., Starns, H.D., Weckerly, F.W. Intraspecific scaling of rumen-reticulum fill might depend on dietary fiber. *The American Midland Naturalist*, 172:329-337. 2014. doi:10.1674/0003-0031-172.2.329, 2014.
- Early, R.J., Mahgoub, O., Lu, C.D. Energy and protein utilization for maintenance and growth in Omani ram lambs in hot climates. I. Estimates of energy requirement and efficiency. *Journal of Agricultural Science*, 136:451-459, 2001.
- Elias, A.K.S., Alves, K.S., Mezzomo, R., Oliveira, L.R.S., Lima, F.P., Carvalho, F.R., Santos, R.C., Cutrim, D.O., Gomes, D.I. Productive performance and evaluation of the carcass and meat of confined lambs in North of Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 11:460-466, 2016.

- Fernandes, M.H.M.R., Resende, K.T.D., Tedeschi, L.O., Fernandes, J.S., Silva, H.M., Carstens, G.E., Berchielli, T.T., Teixeira, I.A.M.A., Akinaga, L. Energy and protein requirements for maintenance and growth of Boer crossbred kids. *Journal of Animal Science*, 85:1014-1023, 2007.
- Ferreira, A.C.D., Yáñez, E.A., Medeiros, A.N., Resende, K.T., Pereira Filho, J.M., Fernandes, M.H.M.R., Almeida, A.K., Teixeira, I.A.M.A. Protein and energy requirements of castrated male Saanen goats. *Small Ruminant Research*, 123:88-94, 2015.
- Figueiredo, F.O.M., Berchielli, T.T., Resende, K.T., Gomes, H.F.B., Almeida, A.K., Sakomura, N.K., Teixeira, I.A.M.A. Energy requirements for growth of pubertal female Saanen goats. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100:294-300, 2016a.
- Figueiredo, F.O.M., Leite, R.F., St-Pierre, N.R., Resende, K.T., Almeida, A.K., Souza, A.P., Teixeira, I.A.M.A. Energy and protein requirements of weaned male and female Saanen goats *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101: 1014-1025, 2016b.
- Freetly, H., Nienaber, J.A., Brown-Brandl, T.M. Relationship among heat production, body weight, and age in Finnsheep and Rambouillet ewes. *Journal of Animal Science*, 80:825-832, 2002.
- Fróes, R.S. *Levedura (Saccharomyces cerevisiae) e enzima fibrolítica na dieta de cordeiros terminados em confinamento*. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2023.
- Garcia, I. F.F, Costa, T.I.R., Almeida, A.K., Pereira, I.G., Alvarenga, F.A.P., Lima, N.L.L. Performance and carcass characteristics of Santa Inês pure lambs and crosses with Dorper and Texel at different management systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:1313-1321, 2010.
- Garcia, I. F.F, Perez, J.R.O., Pereira, I.G., Costa, T.I. R., Martins, M.O., Estudo alométrico dos tecidos da carcaça de cordeiros Santa Inês puros ou mestiços com Texel, Île de France e Bergamácia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:539-546, 2009.
- Gomes, H.F.B. Composição Corporal e Exigências Nutricionais de Caprinos Saanen Machos dos 30 aos 45 Kg de Peso Vivo. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil, 2011.
- Hammond, J. *Principios de la explotación animal*. Zaragoza: Acríbia, 363 p, 1966.
- Härter, C.J., Castagnino, D.D.S., Rivera, A.R.D., Lima, L.D.D., Silva, H.G.D.O., Mendonça, A.N., Teixeira, I.A.M.A. Mineral Metabolism in Singleton and Twin-Pregnant Dairy Goats. Asian – Australasian. *Journal of Animal Sciences*. 2015, 28, 37-49.
- Herbster, C.J.L. *Exigências nutricionais de energia e predição do consumo de água em ovinos deslanados*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2024.
- Hummel, J., Südekum, K.H., Streich, W.J., Clauss, M. Forage fermentation patterns and their implications for herbivore ingesta retention times. *Functional Ecology*, 20:989-1002, 2006. doi: 10.1111/j.1365-2435.2006.01206.x.
- Jesse, G.W., Thompson, G.B., Clark, J.L., Hedrick, H.B., Weimer, K.G. Effects of ration energy and slaughter weight on composition of empty body and carcass gain of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 43:418-425, 1976.
- Kleiber, M. Body size and metabolic rate. *Physiological Reviews*, 27:511-541, 1947.
- Koch, R.M., Schleicher, E.W., Arthaud, V.H. The accuracy of weights and gains of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 17:604-611, 1958.
- Leopoldino Júnior, I. *Lipídeos na dieta de cordeiros de diferentes cruzamentos para produção de carne*. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- Lima, L.R. *Torta de algodão na dieta de cordeiros confinados*. Tese (Dissertação em Zootecnia). Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.
- Lofgreen, G.P., Hull, J.L., Otagaki, K.K. Estimation of the empty body weight of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 21:20-24, 1962.
- Luz, J.B., Alves, K.S., Mezzomo, R., Santos Neta, E.R., Gomes, D.Í., Sampaio Oliveira, L.R., Silva, J.C., Carvalho, F. F. R. Carcass Characteristics and Meat quality of lambs fed babassu cake (*Orbignya speciosa*) as a replacement for elephant grass silage. *Tropical Animal Health Production*, 49:113-119, 2016.
- Macedo Junior, G.L. *Exigências nutricionais de ovelhas gestantes da raça Santa Inês*. Tese (Doutorado em Ciência Animal) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2008.
- Magalhães, T.S. *Caroço de algodão integral e moído e quitosana em dietas para cordeiros*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.
- Marcondes, M.I., Gionbelli, M.P., Valadares Filho, S.C., Chizzotti, M.L., Paulino, M. F. Exigências nutricionais de proteína para bovinos de corte. In: Valadares filho, S. C., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L., Paulino, P. V.R. (Eds). *Exigências nutricionais de zebuíños puros e cruzados (BR-CORTE)*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 113-134, 2010.

- Medeiros, A.N., Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A., Araújo, M.J., Yañez, E.A., Ferreira, A.C. Energy requirements for maintenance and growth of male Saanen goat kids. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27: 1293-1302, 2014.
- Mendes, M.S., Souza, J.G., Herbster, C.J.L., Brito Neto, A.S., Silva, L.P., Rodrigues, J.P.P., Marcondes, M.I., Oliveira, R.L., Bezerra, L.R., Pereira, E.S. Maintenance and growth requirements in male Dorper × Santa Ines lambs. *Frontiers of Veterinary Science*, 8: 676956. 2021.
- Oliveira, A.P., Pereira, E.S., Pinto, A.P., Silva, A.M.S., Carneiro, M.S. S., Mizubuti, I.Y., Ribeiro, E.L.A., Campos, A.C.N., Gadelha, C.R.F. Estimativas dos requisitos nutricionais e utilização do modelo Small Ruminant Nutrition System para ovinos deslanados em condições semiáridas. *Semina: Ciências Agrárias*, 35:1985-1998, 2014.
- Ortigues, I., Doreau, M. Responses of the splanchnic tissues of ruminants to changes in intake: absorption of digestion end products, tissue mass, metabolic activity and implications to whole animal energy metabolism. *Annales de Zootechnie*. 44:321–346, 1995.
- Owens, F.N., Gill, D.R., Secrist, D.S. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 73:3152-3172, 1995.
- Pereira, E.S., Lima, F.W.R., Marcondes, M.I., Rodrigues, J.P.P., Campos, A.C.N., Silva, L.P., Bezerra, L.R., Pereira, M.W.F., Oliveira, R.L. Energy and protein requirements of Santa Ines lambs, a breed of hair sheep. *Animal*, 11:1-10, 2017.
- Pereira.E.S.Fontenele.R.M..Silva.A.M.A..Oliveir.R.L..Costa.M.R.G.F..Mizubuti.I.Y..Carneiro.M.S.S..Campos.A.C.N. Body composition and net energy requirements of Brazilian Somali lambs. *Italian Journal of Animal Science*, 13:880-886, 2014.
- Pereira, E.S., Pereira, M., Marcondes, M.I., Medeiros, A.N., Oliveira, R.L., Silva, L.P., Mizubuti, I.Y., Campos, A.C., Heinzen, E.L., Véras, A.S., et al. Maintenance and Growth Requirements in Male and Female Hair Lambs. *Small Ruminants. Research*, 159:75-83. 2018.
- Pereira, G.M. *Exigências de proteína e energia de carneiros Santa Inês na região semiárida brasileira*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2011.
- Pinto, A.P.P., Furusho-Garcia, I.F., Leopoldino Júnior, I., Perez, J.R.O., Alves, N.G., Pereira, I.G. Performance and carcass characteristics of lambs fed diets with fat and vitamin E. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:2911-2921, 2011.
- Queiroz, L.O. *Relação volumoso: concentrado associada ao tamanho de partícula do feno na terminação de cordeiros*. Tese (Doutorado em Zootecnia) de Doutorado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.
- Regadas Filho, J.G.L., Pereira, E.S., Pimentel, P.G., Medeiros, A.N., Fontenele, R.M. Body composition and net energy requirements for Santa Ines lambs. *Small Ruminant Research*, 109:107-112, 2013.
- Resende, K.T. *Métodos de Estimativa da Composição Corporal e Exigências Nutricionais de Proteína, Energia e Macrominerais Inorgânicos de Caprinos em Crescimento*. Ph.D. Thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.
- Ribeiro, P.R., Gindri, G., Macedo Junior, G.L., Herbster, C.J.L., Pereira, E.S., Biagioli, B., Teixeira, I.A.M.A. Modeling gastrointestinal tract wet pool size in small ruminants. *Animals*, 13:2909. 2023. doi:10.3390/ani13182909.
- Ribeiro, S.D.A. *Composição Corporal e Exigências em Energia, Proteína e Macrominerais de Caprinos Mestiços em Fase Inicial de Crescimento*. Ph.D. (Thesis em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1995.
- Ribeiro, R.P. Determinação da Composição Corporal de Caprinos da Raça Saanen pelo Método de Absortometria de Raios-X de Dupla Energia (DXA). Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil, 2019.
- Robelin, J., Geay, Y. Body composition of cattle as affected by physiological status, breed, sex and diet. In: Gilchrist, F. M.C, Mackie, R. I. (Eds). *Herbage nutrition in the subtropics and tropics*. Johannesburg: Science Press, 525-547, 1984.
- Rodrigues, R.T.de S., Chizzotti, M.L., Martins, S.R., Silva, I.F., Queiroz, M.A.Á., Silva, T.S., Busato, K.C., Silva, A.M.de A. Energy and protein requirements of non-descript breed hair lambs of different sex classes in the semiarid region of Brazil. *Tropical Animal Health and Production*, 48:87– 94, 2015.
- Santos, A.B., Pereira, M.L., Oliveira, S.H.G., Carvalho, G.G., Jesus, P.T.C., Ribeiro, L.S., Azevêdo, J.A.G., Silva.G.C.P.C., Sousa, L.B., Sousa L.B., Oliveira, D.A. Intake, digestibility and performance of lambs fed diets contain peach palm meal. *Tropical Animal Health Production*, 48:509-515, 2016a
- Santos, A.C. *Qualidade de silagens de sorgo com uréia e inoculante microbiano e uso em dietas para ovinos*. Tese (Doutorado em Zootecnia) de Doutorado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

- Santos, R.C., Alves, K.S., Mezzomo, R., Oliveira L.R., Cutrim, D.O., Gomes, D.I., Leite, G.P., Araújo, M.Y. Performance of feedlot lambs fed palm kernel cake-based diets. *Tropical Animal Health Production*, 48:367-382, 2016b
- Silanikove, N. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Research*. 2000, 35, 181-193.
- Silva, A.M.A., Santos, E.M., Filho, J.M.P., Bakke, O.A., Gonzaga Neto, S., Costa, R.G. Body composition and nutritional requirements of protein and energy for body weight gain of lambs browsing in a tropical semiarid region. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:210-216, 2010.
- Silva, J.C., Véras, A.S.C., Carvalho, F.R., Ferreira, M.A., Souza, E.O., Barreto, L.G., Lopes, L.A., Silva, J.V. Nutritional value, performance, feeding behavior and serum biochemical profile of sheep fed with alfalfa hay replacing Bermuda grass (*Cynodon dactylon* (L) (Pers.) hay. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 77:340-345, 2017.
- Silva, L.F. *Substituição do concentrado por níveis crescentes de silagem de gliricídia na alimentação de cordeiros*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2012.
- Silva, P.V.M.M., Carvalho, G.G.P., Pires, A.J.V., Pereira, M.L.A., Pereira, L., Araújo, M.L.G.M.L., Nascimento, C.O., Santos, S.A., Tosto, M.S.L., Rufino, L.M.A., Carvalho, B.M.A. Cotton seed cake in substitution of soybean meal in diets for finishing lambs. *Small Ruminant Research*, 137:183-188, 2016.
- Soares, S.B., Furusho-Garcia, I.F., Pereira, I.G., Alves, D.O., Silva, G.R., Almeida, A.K., Lopes, C.M., Sena, J.A.B. Performance, carcass characteristics and non-carcass components of Texel × Santa Inês lambs fed fat sources and monensin. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:421-431, 2012.
- Souza, M.N.S. *Resíduo do cultivo de cogumelos comestíveis na alimentação de cordeiros confinados*. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.
- Teixeira, I.A.M.A., Harter, C.J., Pereira Filho, J.M., Sobrinho, A.G., Resende, K.T. Mineral Requirements for Growth and Maintenance of F1 Boer X Saanen Male Kids. *Journal of Animal Science*, 93:2349–2356, 2015.

2

Predição do consumo de matéria seca para caprinos e ovinos

*José Augusto Gomes Azevêdo, Maria Izabel Batista Pereira, Lígia Lins Souza,
Guilherme Lobato Menezes, Gleidson Giordano Pinto de Carvalho,
Elzania Sales Pereira, Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira,
Stefanie Alvarenga Santos, Mara Lúcia Albuquerque Pereira,
Gherman Garcia Leal de Araújo, Magno José Duarte Cândido, Leilson Rocha Bezerra,
José Moraes Pereira Filho, Dorgival Moraes de Lima Júnior, Stela Antas Urbano,
Marcelo de Andrade Ferreira e Henry Daniel Ruiz Alba*

INTRODUÇÃO

O monitoramento do consumo de matéria seca (CMS) é essencial na produção animal, pois influencia diretamente no aporte nutricional necessário para atender às exigências de manutenção, produção e/ou reprodução. A compreensão da predição do CMS é fundamental para aprimorar vários aspectos da caprino-ovinocultura.

Inclui-se a elaboração de planos para suplementação e alimentação em confinamento, a suplementação nutricional dos caprinos e ovinos em pastagens, o平衡amento correto das dietas, além do cálculo da viabilidade econômica de um sistema de produção, entre outros fatores. Além disso, o CMS e a concentração correta dos nutrientes

da dieta impactam diretamente na saúde e bem-estar animal, uma vez que os nutrientes consumidos e metabolizados influenciam no sistema imunológico.

O CMS pode ser influenciado pela diversidade e amplitudes climáticas, raças, classe sexual, diferentes alternativas alimentares e sistemas de produção. Portanto, estimar o CMS em caprinos e ovinos criados no Brasil é uma tarefa complexa e multifatorial (Resende *et al.*, 2008).

Neste contexto, é de suma importância compreender os principais fatores que afetam o CMS para propor modelos generalistas adaptados às condições de produção nacionais. Esses modelos devem prever com precisão o CMS para a produção de caprinos e ovinos em ambientes tropicais.

FATORES QUE INFLUENCIAM NO CONSUMO DE MATÉRIA SECA

Fatores Ambientais

Os caprinos e ovinos são animais capazes de regular sua própria temperatura corporal, o que significa que podem manter um equilíbrio interno quando a temperatura ao seu redor está dentro de certos limites (Santos *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2010).

No entanto, no Brasil, devido a extensa área geográfica, as variações climáticas podem exigir gastos energéticos para manter sua temperatura interna estável, o que afeta a quantidade de alimento que consomem e, consequentemente, sua produção de carne, leite ou lã e até mesmo a saúde e o bem-estar.

Entre todos os fatores climáticos, a temperatura do ar é a que tem maior impacto no CMS em caprinos e ovinos, já que provoca mudanças fisiológicas, metabólicas e comportamentais (Borges *et al.*, 2007). Essas mudanças podem ser agravadas pela alta umidade, radiação térmica e baixa circulação do ar (Morrison, 1983).

De acordo com Collier e Beede (1982), em altas temperaturas, os animais reduzem o CMS para diminuir a taxa metabólica e, consequentemente, reduzir a temperatura corporal. Essa redução no consumo é resultado da inibição do calor sobre o centro do apetite, devido ao aumento da frequência respiratória e à diminuição da atividade gastrointestinal, o que reduz a taxa de passagem do alimento pelo rúmen.

Em situações de estresse calórico, deve-se dar preferência a alimentos menos fibrosos com rápida passagem pelo organismo. O incremento calórico, oriundo da metabolização da fibra da dieta, pode aumentar o estresse térmico devido ao calor proveniente

do metabolismo da digestão e/ou fermentação da fibra.

Em um estudo comparativo sobre a resposta ao calor em caprinos e ovinos, Machado *et al.* (2020) notaram que os caprinos são menos suscetíveis ao estresse térmico. Isso implica que esses animais requerem mecanismos biológicos de termorregulação menos intensos, uma característica que pode estar associada à eficiência superior dos caprinos no uso da água e na degradação de fibras. Além disso, devido ao menor CMS para atendimento de suas necessidades nutricionais, os caprinos possivelmente têm menor utilização de rotas evaporativas para dissipação de calor e menor incremento calórico gerado pelo CMS, comparativamente aos ovinos.

A radiação solar também pode afetar o CMS em ovinos e caprinos e é responsável por aumentar a temperatura corporal dos animais, o que pode levar a uma redução no CMS. Neiva *et al.* (2004) observaram que ovinos Santa Inês mantidos à sombra apresentaram CMS (1.062 g/dia) 11% maior em relação àqueles mantidos ao sol (944 g/dia). Já Andrade (2011) observou uma redução de 15,3% no CMS para ovinos em estresse calórico (1.177 g/dia) comparado aos animais em conforto (1.390 g/dia).

A fim de mitigar os efeitos adversos do estresse térmico, é fundamental implantar práticas estratégicas que envolvam adaptações no manejo nutricional (Lima *et al.*, 2022). Nessa perspectiva, alimentar os animais durante os períodos mais frescos do dia (pela manhã e/ou no final da tarde), além de dividir a dieta em porções menores, a suplementação lipídica ou o uso de aditivos e fornecer menor proporção de volumoso são algumas estratégias nutricionais para modular o calor gerado pelo metabolismo animal. Tais ações reduzem o impacto direto na quantidade de calor

produzida pelos animais durante períodos em que as condições térmicas são desfavoráveis (Jochims *et al.*, 2010).

Além disso, devido ao aquecimento global, o estresse térmico está se tornando uma restrição importante para a produtividade animal e, por isso, é essencial selecionar indivíduos capazes de alcançar todo seu potencial produtivo, mesmo em condições climáticas adversas.

Fatores Fisiológicos

A fase fisiológica gestacional que cabras e ovelhas se encontram pode interferir diretamente no CMS (Macedo Junior *et al.*, 2010). Isto ocorre porque, no terço final de gestação, ou nos últimos dois meses, ocorre maior crescimento fetal, responsável por 90% do peso dos neonatos.

O crescimento do feto faz com que o útero, o saco coriônico e a placenta aumentem de tamanho e ocupem o espaço de parte do trato gastrointestinal (mais especificamente, o rúmen e o retículo), restringindo o CMS.

Além disso, se a gestação for dupla, a restrição sobre o CMS será ainda maior (Macedo Junior *et al.*, 2012). Restrições nutricionais nesse período podem gerar crias com baixo peso ao nascer, e aumentar a mortalidade neonatal. Portanto, prever o CMS é essencial ao planejar dietas para esta categoria animal, considerando a redução na capacidade de CMS.

Dessa forma, Pulina *et al.* (1996) desenvolveram modelos de predição do CMS para ovelhas gestantes (secas):

- Ovelhas gestantes secas:

$$\text{CMS (kg/dia)} = (-0,545 + 0,095 \times \text{PC}^{0,75} + 0,005 \times \text{GMD}) \times F$$

onde: PC, peso corporal médio, em kg; GMD, ganho médio diário, em kg/dia; F, fator de correção.

As ovelhas em gestação e secas diminuem seu CMS à medida que se aproximam do dia do parto, sendo necessário um fator de ajuste na predição do CMS (F). Este fator de ajuste está relacionado aos dias de gestação em relação ao parto e do peso esperado da cria, ou seja, do peso ao nascer do(s) cordeiro(s) e/ou estes fatores combinado(s).

De acordo com o descrito por Gallo e Tedeschi (2021), para cordeiros com peso ao nascimento MENOR que 4 kg, os fatores de ajuste para predição do CMS são:

- Maior que 6 semanas antes do parto, F = 1,00;
- Entre 5 e 6 semanas antes do parto, F = 0,97;
- Entre 3 e 4 semanas antes do parto, F = 0,93;
- Entre 1 e 2 semanas antes do parto, F = 0,88.

E, para cordeiros com peso ao nascimento MAIOR que 4 kg, os fatores de ajuste para predição do CMS são:

- Maior que 6 semanas antes do parto, F = 1,00;
- Entre 5 e 6 semanas antes do parto, F = 0,96;
- Entre 3 e 4 semanas antes do parto, F = 0,90;
- Entre 1 e 2 semanas antes do parto, F = 0,82.

Após o parto, cabras e ovelhas lactantes têm aumento nas exigências energéticas devido às alterações na produção de hormônios e às necessidades metabólicas associadas à pro-

dução de leite e à involução uterina (Lunesu *et al.*, 2021).

No entanto, o aumento no CMS é um processo lento e gradual (Gallo e Tedeschi, 2021), sendo muitas vezes insuficiente para atender às necessidades nutricionais. Esse fenômeno pode resultar em um balanço energético negativo e na perda de massa corporal (Oliveira *et al.*, 2022).

A situação pode ser ainda mais desafiadora em casos de partos duplos, já que aumenta as necessidades nutricionais (Castro *et al.*, 2012). Por isso, é essencial predizer o CMS nesse período para evitar desequilíbrios nutricionais e preservar o bem-estar, saúde e eficiência produtiva do rebanho.

O modelo para predizer o CMS para ovelhas em lactação proposto por Pulina *et al.* (1996) foi:

- Ovelhas em lactação:

$$\text{CMS (kg/dia)} = (-0,545 + 0,095 \times \text{PC}^{0,75} + 0,0025 \times \text{GMD} + 0,65 \times \text{LCG}) \times F$$

onde: PC, peso corporal médio, em kg; GMD, ganho médio diário, em kg/dia; F, fator de correção; e LCG, leite corrigido para gordura utilizando a seguinte equação:

$$\text{LCG (kg/dia)} = (0,3688 + 0,0971 \times \text{GL}) \times \text{PL}$$

onde: GL, teor de gordura do leite, em %; e PL, produção de leite, em kg/dia.

Ledda *et al.* (2023) utilizaram o modelo de predição do CMS para ovelhas em lactação proposto por Pulina *et al.* (1996) e observaram que, para 23 ovelhas pluríparas, com PC de $44,38 \pm 4,86$ kg e LCG de $1,56 \pm 0,39$ kg/dia, o CMS foi de $2,00 \pm 0,63$ kg/dia, semelhante aos valores observados de

CMS para ovelhas que estavam em sistemas monitorados por cochos automáticos.

Gallo e Tedeschi (2021) desenvolveram equações de ajuste (F) para serem consideradas no modelo de predição do CMS proposto por Pulina *et al.* (1996) após o parto e até o pico de lactação. Estes autores utilizaram 61 ovelhas, sendo 33 ovelhas gestantes não lactantes e 28 ovelhas lactantes, mestiças de Santa Inês e Dorper, com idades entre dois e quatro anos, em condições brasileiras.

As ovelhas foram alimentadas *ad libitum*, com silagem de milho e concentrado. Durante o período de 50 dias de gestação até o parto, as ovelhas tiveram um GMD de 171 g, e, aos 30 dias de lactação, o GMD foi de -150 g. O pico de produção de leite foi atingido aos 40 dias de lactação, com uma produção de 0,5 kg de leite por dia.

Para Gallo e Tedeschi (2021) os fatores de ajuste para predição do CMS de ovelhas em lactação em condições tropicais deve ser:

$$F = \frac{1 + RP \times \left(\frac{DL}{PPL} \right)^{1,4} \times \text{Exp}(1,4 \times \left(1 - \frac{DL}{PPL} \right))}{1 + RP}$$

onde: F, fator de ajuste para ovelhas em lactação até o pico de produção de leite; RP, fator ligado a raça e número de cordeiro amamentando, considera 0,66 (parto simples com um único cordeiro) ou 0,88 (parto gemelar); DL, dias em produção de leite até o pico da lactação; PPL, dia do pico da lactação; Exp., função exponencial.

A partir das equações de predição de CMS propostas por Pulina *et al.* (1996) e fatores de ajuste propostos por Gallo e Tedeschi (2021), foi realizada simulação da predição de CMS para ovelhas gestantes (secas) ou lactantes (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Simulação da predição do consumo de matéria seca por ovelhas gestantes (secas) ou em lactação.

Item	Dias antes do parto				Dias após o parto			
	45	30	15	7	7	15	25	35
Consumo de matéria seca								
Parto simples, kg/dia	1,37	1,38	1,40	1,37	2,07	2,34	2,49	2,61
Parto duplo, kg/dia	1,37	1,37	1,35	1,28	2,12	2,43	2,61	2,74
Fator de ajuste sobre o consumo de matéria seca								
Parto simples	1	0,97	0,93	0,88	1,13	1,27	1,37	1,40
Parto gemelar	1	0,96	0,9	0,82	1,15	1,32	1,44	1,47
Peso corporal, kg	55	57	60	62	52	51	49	48
GMD, kg/dia	0,15	0,17	0,175	0,18	-0,17	-0,15	-0,15	-0,12
Gordura do leite, %					7	7	7	7
PPL, dias					35	35	35	35
LCG, L/dia					0,84	0,88	0,92	1,05
Dias em lactação, dias					7	15	25	35
Produção de leite, kg					0,80	0,84	0,88	1,00

F = fator de ajuste para o CMS; GMD = ganho médio diário; PPL = pico da produção de leite; LCG = leite corrigido para gordura.

Fatores Nutricionais

Ruminantes precisam de uma ingestão adequada de fibra em detergente neutro (FDN) para garantir o funcionamento normal do rúmen. A maioria dos ruminantes depende, principalmente, da complexa estrutura polissacáridica das células vegetais, como sua principal fonte de energia (Tedeschi *et al.*, 2023).

A quantidade de FDN consumida é crucial para manter a mastigação e ruminação adequadas, aspecto que garante a salivação e um pH ideal para o crescimento e a atividade dos microrganismos no rúmen.

Sob condições normais do rúmen, esses microrganismos degradam o alimento e

utilizam parte dos nutrientes para o seu crescimento, e, de maneira simbiótica, proporcionam energia (na forma de ácidos graxos de cadeia curta) e proteína microbiana ao animal (Santini *et al.*, 1992).

No entanto, em condições tropicais, a fibra na dieta desempenha um papel fundamental na regulação do consumo, sendo correlacionada com a fase de regulação física do consumo. Existem barorreceptores de mucosa ruminal que ao receber estímulos que o volume ruminal está repleto, envia mensagens de saciedade por neurotransmissores para o cérebro parar o consumo voluntário de alimentos.

Este efeito de enchimento ruminal é provocado principalmente pela fração da parede

celular dos alimentos volumosos (forragens) (Mertens, 1994), a qual possui baixa densidade energética e lenta degradação, especialmente em comparação com o conteúdo celular.

As gramíneas tropicais, geralmente, apresentam concentrações de fibra em detergente neutro (FDN) superior a 65% (%MS) e níveis de proteínas abaixo de 10% (%MS), limitando a maximização do aproveitamento dos nutrientes no ambiente ruminal (Lopes *et al.*, 2023).

Tal situação pode levar a um menor CMS, pois os animais precisam consumir mais forragem para atender suas necessidades nutricionais, e ativa-se, assim, os barorreceptores do rúmen. Por outro lado, a qualidade da fibra e o tamanho das partículas das forragens influenciam na capacidade de enchimento do rúmen, que, consequentemente, afeta o CMS (Quadros *et al.*, 2022).

Entretanto, os caprinos e ovinos são eficientes na degradação da fibra, pois podem ruminar finas partículas que escapariam facilmente da ruminação em bovinos (Cannas, 2004; Araújo *et al.*, 2008).

Ao considerar o limite de consumo de FDN para ovinos para maximizar o desempenho, em condições tropicais, Pereira *et al.* (2022) recomendaram 270 a 300 g de FDN/kg de MS na dieta total.

Oliveira *et al.* (2020) desenvolveram um modelo para estimar o consumo de fibra em detergente neutro (CFDN) para ovinos deslanados em regiões tropicais do Brasil, expresso pela equação:

$$\text{CFDN (g/dia)} = -52,2187 + 1,3773 \times \text{FDN} - 0,0007 \times \text{FDN}^2$$

onde: FDN, concentração de fibra em detergente neutro da dieta total, em g/kg MS.

Para caprinos em condições tropicais, Almeida *et al.* (2019) propuseram um modelo que considera a FDN em função do peso corporal:

$$\text{CFDN (\%PC)} = 3,155 \times \text{PC}^{-0,3190}$$

onde: PC, peso corporal médio, em kg.

Exemplo: Ao calcular o consumo de FDN para caprinos e ovinos com peso corporal de 30 kg, consumindo dieta com uma concentração de 300 g de FDN/kg MS, o consumo máximo de FDN estimado será de 1,06 (%PC) para caprinos e 297,97 g de FDN/dia para ovinos.

Quando os valores ultrapassam os limites estabelecidos por essas equações, o CMS será regulado por mecanismos físicos. Contudo, é crucial considerar a fonte da fibra consumida, uma vez que a origem e a qualidade da FDN podem variar em função do alimento e influenciar no CMS.

Macedo Junior *et al.* (2009) recomendaram como limite mínimo de 200 g de FDN oriundo da forragem/kg MS na dieta total para ovinos. É preciso dar ênfase a FDN proveniente da forragem, isto porque a FDN das forragens é degradada e passa mais lentamente do que outros componentes da dieta, e sua taxa de turnover no rúmen é afetada por diferenças na digestibilidade e fragilidade, que afetam a redução do tamanho das partículas e a passagem no rúmen (Allen *et al.*, 2019).

Abaixo dessa recomendação feita por Macedo Junior *et al.* (2009), há risco de impactar o ambiente e a saúde ruminal, uma vez que os microrganismos que degradam carboidratos não fibrosos têm taxa de crescimento mais rápida (Trabi *et al.*, 2019). Assim, pode ocorrer um desequilíbrio entre as populações

de bactérias que degradam a celulose e as que degradam o amido.

Esse desequilíbrio pode levar a mudanças na microbiota ruminal, e, assim, resultar em aumento do ácido láctico, diminuição do pH ruminal e morte dos protozoários e bactérias que, normalmente, ajudam na degradação da celulose (Borges *et al.*, 2011).

Se o pH ruminal permanecer abaixo de 5,6 por mais de 3 horas por dia, isso leva a uma redução no CMS e outras consequências negativas para a saúde do animal (Chen *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2023).

A proteína da dieta é outro fator nutricional que poderá interferir no CMS. O INRA (2018) considera que em dietas com menos de 15% de PB (%MS), existirá redução não linear no CMS em pequenos ruminantes e propôs um fator de ajuste para ser utilizado em modelos de predição do CMS com base no teor de PB da dieta para caprinos.

Entretanto, o INRA é um sistema francês e considerou em seu modelo condições diferentes das dietas utilizadas no Brasil. Em condições tropicais, Lazzarini *et al.* (2009) observaram que pelo menos 8% de PB (%MS) na dieta é necessário para que os microrganismos ruminais apresentem capacidade plena de utilização dos componentes fibrosos de forragem basal de baixa qualidade.

No entanto, estes autores indicaram pelo menos 11% de PB (%MS) na dieta para evitar limitação no consumo provocado pela baixa taxa de passagem de partículas fibrosas e, consequentemente, o efeito de repleção ruminal da fibra em detergente neutro indigestível. Desta forma, adaptando o sistema francês (INRA, 2018) para as condições nacionais o fator de ajuste seria:

$$F = 1,059 - 0,046 \times \text{Exp}(-0,25 \times (PB - 11))$$

onde: PB, teor de proteína bruta na dieta, % MS; e Exp., função exponencial.

Exemplo: Ao simular uma dieta com 9% de PB, o fator de ajuste será de 0,983 na predição de CMS.

Apesar da importância da fibra e da proteína na regulação do consumo, os modelos de predição de CMS são simplificações do complexo sistema de consumo voluntário de alimentos (Keady *et al.*, 2004).

Nem todas as variáveis contribuem significativamente para expressar a situação biológica de forma matemática e, por isso, a maioria dos modelos consideram apenas variáveis animais e desconsideram as variáveis da dieta.

Os métodos usados para prever o CMS oferecem orientações gerais e não há uma equação universal aplicável a todas as situações de produção. Portanto, é essencial desenvolver e validar modelos de predição de CMS específicos para condições brasileiras, para garantir precisão e adequação nas estimativas.

Nessa perspectiva, Knupp *et al.* (2019) desenvolveram equações de predição do CMS específicas para ovinos consumindo palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill).

Essa forrageira apresenta características químicas específicas, que, de acordo com Lopes *et al.* (2019), são: 110±27 g/kg de matéria seca, 874±42 g/kg de matéria orgânica, 126±42 g/kg de matéria mineral, 48±12 g/kg de proteína bruta, 16±5 g/kg de extrato etéreo, 536±72 g/kg de carboidratos não-fibrosos (CNF), 256±27 g/kg de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e 169±39 g/kg de fibra insolúvel em detergente ácido.

Portanto, a palma forrageira tem altas concentrações de CNF e baixas de FDN e lignina, as quais resultam em alta degradabilidade ruminal da MS e baixa efetividade da fibra (Batista *et al.*, 2009; Ribeiro *et al.*, 2023).

Consequentemente, pequenos ruminantes alimentados com altos níveis dessa forrageira podem ter alteração no CMS (Gebremariam *et al.*, 2006). Como estas características são específicas da palma forrageira, e é uma alternativa alimentar bastante utilizada no semiárido brasileiro, a melhor equação de predizer o CMS para ovinos alimentados com esta forrageira é a proposta por Knupp *et al.* (2019):

$$\text{CMS (g/dia)} = 53,453 + 3,3907 \times \text{PF} - 0,09116 \times \text{PF}^2 + 30,8033 \times \text{PC} + 1,0797 \times \text{GMD}$$

onde: PF, concentração de palma forrageira na dieta, em % da MS da dieta; PC, peso corporal médio, em kg; GMD, ganho médio diário, em g/dia.

Exemplo: Para ovelha com 30 kg de peso corporal e GMD de 200 g/dia, recebendo uma dieta com 45% de palma forrageira. Desse modo, a estimativa do CMS será de 1.161,47 g/dia ou 38,71 g/kg do PC.

Estimar o CMS de pequenos ruminantes em pastejo é uma tarefa complexa que envolve interações entre características do animal e da pastagem. Gurgel *et al.* (2021) desenvolveram modelo para estimar o CMS para ovinos exclusivamente em pastagens tropicais:

$$\text{CMS (%PC)} = 7,16545 - 0,21799 \times \text{PC} + 0,00273 \times \text{PC}^2 - 0,00688 \times \text{TP} + 0,000007 \times \text{TP}^2 + 0,00271 \times \text{PP}$$

onde: PC, peso corporal, em kg; TP, tempo de pastejo, em min/dia; PP, pressão de pastejo ou quantidade de forragem verde disponível, em kg MS/100 kg PC.

Ao fazer uma simulação, com ovinos exclusivamente em pastagens tropicais, com GMD de até 120g/dia, peso corporal médio de 20 kg, tempo de pastejo de 480 min/dia e a pressão de pastejo de 15,5 kg MS/100 kg PC, o CMS estimado será de 22,5 g/kg PC ou de 0,45 kg/dia.

MODELOS DE PREDIÇÃO DO CMS PARA CAPRINOS E OVINOS

Entre os principais modelos de predição comumente utilizados para pequenos ruminantes no mundo e, principalmente, no Brasil, Resende *et al.* (2008) e Knupp *et al.* (2019) destacam o *National Research Council* (NRC, 2007) e *Small Ruminant Nutritional System* (SRNS, Cannas *et al.*, 2004) – sistemas americanos; o *Agricultural and Food Research Council* (AFRC, 1993) – sistema britânico; o sistema francês, *Institut National de la Recherche Agronomique* (INRA, 2007); e o sistema australiano, *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* (CSIRO, 2007).

A variedade de modelos de predição se dá pelo fato de não haver um modelo padrão capaz de prever o consumo e ser replicável para todas as situações, uma vez que cada modelo é desenvolvido mediante características e particularidades específicas.

Os comitês internacionais desenvolveram modelos de predição do CMS em regiões de clima temperado, de modo que incorporam características e particularidades que refletem as condições locais dessas regiões. No entanto, é importante reconhecer que essas características podem apresentar diferenças em relação à realidade observada em regiões de clima tropical, como é o caso do Brasil.

Assim, tem-se resultado na falta de ajuste desses modelos, que tendem a subesti-

mar ou superestimar o CMS, as necessidades nutricionais e de desempenho dos animais em condições de clima tropical (Vieira *et al.*, 2013; Almeida *et al.*, 2019; Knupp *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2020). Neal *et al.* (1984), evidenciaram que os modelos desenvolvidos para estimar o CMS deveriam ser testados em condições semelhantes às que serão aplicados.

Por isso, existe a necessidade de desenvolver modelos direcionados a cada situação, para que se adequem às particularidades encontradas. Dentre os principais modelos genéricos desenvolvidos para predição do CMS em pequenos ruminantes no Brasil, Almeida *et al.* (2019) desenvolveram modelos de predição considerando a classe sexual:

$$\text{CMS (g/dia)} = \beta_0 \times \text{PC}^{0,6722} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 2.1}$$

onde: que para fêmeas, $\beta_0 = 93,9$ e para machos castrados ou não castrados, $\beta_0 = 101,4$.

O modelo apresentado por Almeida *et al.* (2019), considerou a influência da classe sexual na predição do CMS para caprinos. Já Maharani *et al.* (2019) também identificaram estas diferenças e observaram que os caprinos machos ($78,41 \text{ g/kg PC}^{0,75}$) consomem 6,5% a mais do que as fêmeas ($73,63 \text{ g/kg PC}^{0,75}$).

Por outro lado, Almeida *et al.* (2015) observaram que caprinos Saanen machos não castrados ($1,113 \text{ kg/dia}$) consomem 7,1% a mais que os machos castrados ($1,106 \text{ kg/dia}$) e estes, 6,4% a mais que as fêmeas ($1,039 \text{ kg/dia}$). Isso pode ser devido ao crescimento mais rápido dos machos, possivelmente relacionado a fatores hormonais ou à eficiência na utilização e deposição de nutrientes no corpo.

Cabral *et al.* (2008) propuseram o modelo de predição do CMS para ovinos deslanados

recebendo dieta com mínimo de 30% de concentrado:

$$\begin{aligned} \text{CMS (kg/dia)} &= 0,311 + 0,0197 \times \\ &\times \text{PC} + 0,682 \times \text{GMD} \end{aligned} \quad \text{Eq. 2.2}$$

onde: PC, peso corporal, em kg; GMD, ganho médio diário, em kg/dia.

Posteriormente, Vieira *et al.* (2013) propuseram modelos de predição do CMS para ovinos da raça Santa Inês criados em sistema de confinamento no Brasil:

$$\begin{aligned} \text{CMS (g/dia)} &= 156,17 + 28,29 \times \\ &\times \text{PC} + 0,87 \times \text{GMD (g/dia)} \end{aligned} \quad \text{Eq. 2.3}$$

onde: PC, peso corporal, em kg; GMD, ganho médio diário, em g/dia.

Já Oliveira *et al.* (2020) propuseram modelos de predição do CMS para ovinos deslanados em terminação:

$$\begin{aligned} \text{CMS (g/dia)} &= 50,5773 + 1,4423 \times \\ &\times \text{GMD} + 28,4406 \times \text{PC} \end{aligned} \quad \text{Eq. 2.4}$$

onde: GMD, ganho médio diário, em g/dia; e PC, peso corporal, em kg.

A diversidade e abrangência dos modelos de predição adaptados às condições tropicais brasileiras mostram avanços significativos para a expansão e eficiência da cadeia produtiva de caprinos e ovinos.

Esses modelos têm contribuído para melhorar os índices produtivos, mas é preciso ampliar a base de dados, acompanhar as atualizações e mudanças no comportamento animal, no manejo alimentar e nas formulações dietéticas para propor modelos preditivos mais precisos e acurados.

NOVOS MODELOS DE PREDIÇÃO DO CMS PARA CAPRINOS E OVINOS CONFINADOS

Os dados iniciais foram obtidos a partir de 60 estudos. Totalizou-se 2.410 unidades experimentais coletadas de pesquisas realizadas em diversas instituições brasileiras de ensino superior (UESC, UFCG, UFC, UNIVASF, UFBA, UESB, UFAL, UFRPE, UFRN, UFPI e UNESP).

Todos os procedimentos empregados com os animais foram aprovados pelo Comitê de Ética e Uso de Animais da universidade onde a pesquisa foi conduzida. Os dados coletados de cada unidade experimental incluíam informações individuais sobre espécie animal, classe sexual, peso corporal inicial e final, ganho médio diário e CMS.

Também foram coletadas informações da composição química da dieta, relação volumoso e concentrado e do volumoso usado nas dietas. Foram aplicados critérios de exclusão para remover informações incompletas. Incluiu-se espécie animal, classe sexual, peso corporal médio, ganho médio diário e CMS.

Além disso, eliminou-se dados duplicados e dados inconsistentes biologicamente. Após a triagem, obteve-se 1.102 informações individuais ou unidades experimentais do CMS de caprinos e ovinos. Essas informações incluem detalhes sobre espécie, número de dados e classe sexual (Tabela 2.2).

Dados da composição química e valor energético das dietas para o desenvolvimento e validação dos modelos de predição do CMS podem ser visualizados na Tabela 2.3. Já as informações sobre CMS, pesos corporais e o ganho médio diário (GMD), utilizadas para o desenvolvimento e validação das equações, encontram-se na Tabela 2.4.

Observou-se amplitudes dos valores das variáveis (Tabelas 2.3 e 2.4), o que reflete a diversidade das dietas utilizadas nas diversas pesquisas brasileiras. Isso assegura representatividade do banco de dados.

Além disso, os dados foram coletados em diferentes estados e regiões brasileiras, proporcionando uma maior representatividade de ingredientes e dietas utilizadas e/ou pesquisadas nos rebanhos caprinos e ovinos do país.

Foram observadas variações de baixo a alto CMS (429,3 a 1.174,0 g/dia para caprinos e 581,9 a 1.488,3 g/dia para ovinos) e ganho de peso médio diário (32,9 a 246,7 g/dia para caprinos e 78,8 a 315,6 g/dia para ovinos) no banco de dados de desenvolvimento dos novos modelos.

Para verificar a influência de variáveis sobre o CMS realizou-se a correlação de Pearson entre o CMS e essas variáveis, bem como entre as variáveis. Quando a correlação entre duas variáveis foi significativa, apenas a variável com o coeficiente de correlação (r) mais forte com o CMS foi escolhida.

As variáveis $PC^{0,67}$ ($r = 0,82$), PC ($r = 0,82$), $PC^{0,75}$ ($r = 0,59$); GMD² ($r = 0,62$) e GMD ($r = 0,38$) apresentaram coeficiente de correlação maiores e as correlações significativas ($P < 0,001$) com o CMS.

Após identificar as variáveis com maior coeficiente de correlação, empregou-se a opção STEPWISE no SAS (*SAS University Edition, SAS Institute Inc. Cary, CA, EUA*). Essa opção adicionou ou removeu variáveis preditoras com base em critérios de valor de probabilidade ($P < 0,05$) e coeficiente de determinação (r^2) de forma contínua e iterativa. Esse processo foi repetido até identificar as melhores variáveis a serem incluídas nos modelos.

Tabela 2.2 – Descrição do banco de dados utilizado no desenvolvimento das equações de predição do consumo de matéria seca para caprinos e ovinos em confinamento.

Autor	Espécie	n¹	Classe sexual
Cabral <i>et al.</i> , 2015	Ovino	24	Não castrado
Souza <i>et al.</i> , 2015	Ovino	35	Não-castrado
Oliveira, 2014	Ovino	27	Não-castrado Castrado Fêmea
Guimarães <i>et al.</i> , 2022	Ovino	37	Castrado
Ramos, 2020	Ovino	10	Não-castrado
Bastos <i>et al.</i> , 2015	Ovino	1	Não-castrado
Campos <i>et al.</i> , 2017	Ovino	22	Não-castrado
Araújo <i>et al.</i> , 2009	Ovino	18	Não-castrado
Rodrigues <i>et al.</i> , 2019	Ovino	15	Não-castrado
Pereira <i>et al.</i> , 2022	Ovino	2	Não-castrado
Perazzo <i>et al.</i> , 2016	Ovino	13	Não-castrado
Araújo, <i>et al.</i> , 2023	Ovino	33	Não-castrado
Santos, <i>et al.</i> , 2016	Ovino	15	Não-castrado
Ribeiro <i>et al.</i> , 2018	Ovino	34	Não-castrado
Silva <i>et al.</i> , 2016	Ovino	36	Não-castrado
Magalhães, 2018	Ovino	22	Não-castrado
Santos <i>et al.</i> , 2021	Ovino	20	Não-castrado
Azevêdo <i>et al.</i> , 2015	Ovino	10	Castrado
Diógenes <i>et al.</i> , 2020	Ovino	4	Não-castrado
Ribeiro <i>et al.</i> , 2017	Ovino	13	Não-castrado
Silva <i>et al.</i> , 2020a	Ovino	14	Não-castrado
Bandeira <i>et al.</i> , 2017	Ovino	8	Não-castrado
Gomes <i>et al.</i> , 2017	Ovino	12	Não-castrado Fêmea
Oliveira <i>et al.</i> , 2014	Ovino	8	Não-castrado
Regadas Filho <i>et al.</i> , 2013	Ovino	8	Não-castrado
Costa <i>et al.</i> , 2013	Ovino	16	Não-castrado
Pereira <i>et al.</i> , 2014	Ovino	21	Não-castrado
Silva <i>et al.</i> , 2010	Ovino	8	Castrado
Herbster, 2024	Ovino	5	Fêmea
Brito Neto, 2024	Ovino	23	Fêmea

¹ Unidades experimentais utilizadas no estudo; ND – Informações dos autores ainda não publicadas.

Tabela 2.2 – Descrição do banco de dados utilizado no desenvolvimento das equações de predição do consumo de matéria seca para caprinos e ovinos em confinamento. (*Continuação*).

Autor	Espécie	n¹	Classe sexual
Teixeira <i>et al.</i> , 2017	Caprino	3	Não-castrado
Ferreira <i>et al.</i> , 2015	Caprino	1	Castrado
Fernandes <i>et al.</i> , 2007	Caprino	4	Não-castrado
Almeida <i>et al.</i> , 2015	Caprino	1	Fêmea
			Não-castrado
Figueiredo <i>et al.</i> , 2017	Caprino	14	Castrado
			Fêmea
Palmieri <i>et al.</i> , 2016	Caprino	11	Castrado
Assis <i>et al.</i> , 2019	Caprino	30	Não-castrado
Bezerra <i>et al.</i> , 2019	Caprino	26	Castrado
Silva <i>et al.</i> , 2020b	Caprino	18	Fêmeas
Silva <i>et al.</i> , 2021	Caprino	35	Castrado
Rodrigues <i>et al.</i> , 2021	Caprino	24	Não-castrado
Santos, 2018	Caprino	10	Não-castrado
Oliveira <i>et al.</i> , 2019	Caprino	25	Não castrado
Lima <i>et al.</i> , 2022	Caprino	18	Não-castrado Castrado
Silva <i>et al.</i> , 2022	Ovino	29	Não-castrado
Aragão <i>et al.</i> , 2012	Ovino	15	Castrado
Caldas <i>et al.</i> , 2021	Ovino	5	Não-castrado
Almeida, 2015	Ovino	74	Castrado
Nascimento <i>et al.</i> , 2020	Ovino	1	Não-castrado
Ferreira, 2017	Ovino	11	Não-castrado
Andrade, 2011	Ovino	13	Não-castrado
Beserra, 2010	Ovino	15	Não-castrado
Nogueira, 2013	Ovino	12	Não-castrado
Almeida, 2016	Ovino	37	Castrado
Silva, 2012	Ovino	2	Não-castrado
Nicory <i>et al.</i> , 2015	Ovino	32	Não-castrado
Souza, 2016	Ovino	43	Não-castrado
Nobre <i>et al.</i> , 2018	Ovino	21	Não-castrado
Araújo <i>et al.</i> , 2014	Ovino	24	Não-castrado
Santos, 2021	Ovino	32	Castrado

¹ Unidades experimentais utilizadas no estudo.

Tabela 2.3 – Estatística descritiva da composição química e valor energético das dietas utilizadas no desenvolvimento e validação das equações de predição do consumo de matéria seca para caprinos e ovinos em confinamento.

Composição g/kg MS	Caprinos				Ovinos			
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo
Desenvolvimento das equações (caprinos n = 220 e ovinos n = 882)								
Matéria seca ¹	767,9	875,5	215,4	929,0	748,0	860,2	303,9	954,2
Proteína bruta	157,8	150,3	136,8	203,0	147,1	148,3	61,3	229,2
Extrato etéreo	32,7	28,2	13,3	80,1	34,9	30,3	9,8	111,0
FDN	386,7	396,4	269,2	533,7	432,1	437,6	161,0	645,8
NDT	641,1	639,1	574,3	722,6	682,7	702,0	479,2	806,0
Validação das equações (caprinos n = 40 e ovinos n = 117)								
Matéria seca ¹	838,5	881,9	540,1	925,8	701,1	676,6	308,5	905,4
Proteína bruta	157,2	153,0	127,0	192,3	174,5	166,3	89,1	222,7
Extrato etéreo	32,9	33,0	21,4	47,3	32,1	27,8	15,5	63,2
FDN	430,9	439,5	279,3	545,9	366,8	368,5	154,9	598,4
NDT	706,5	706,5	639,3	879,7	704,2	707,5	591,5	808,0

¹g/kg MN; FDN, fibra em detergente neutro; NDT, nutriente digestível total.

Tabela 2.4 – Estatística descritiva dos dados de desempenho utilizados para gerar e validar os modelos do consumo de matéria seca (CMS) para caprinos e ovinos em confinamento.

Item	Caprinos				Ovinos			
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo
Desenvolvimento das equações (caprinos n = 220 e ovinos n = 882)								
CMS (g/kg MN)	793,3	796,7	429,3	1174,0	1008,1	1017,1	581,9	1488,3
CMS (g/kg PC)	32,5	32,0	20,7	45,5	38,4	38,0	29,3	50,5
PC (kg)	23,5	23,3	14,4	36,5	26,3	26,2	16,1	39,5
GMD (g/dia)	139,2	133,8	32,9	246,7	184,3	180,0	78,8	315,6
Validação das equações (caprinos n = 40 e ovinos n = 117)								
CMS (g/kg MN)	758,7	754,7	587,6	947,0	1047,4	1037,0	580,0	1587,2
CMS (g/kg PC)	33,2	32,9	29,0	37,7	39,1	38,8	22,2	56,0
PC (kg)	22,9	23,0	17,4	30,2	27,0	16,2	19,1	40,5
GMD (g/dia)	128,2	123,0	47,6	230,0	179,7	180,0	43,3	306,0

n, unidades experimentais; CMS, consumo de matéria seca; PC, peso corporal; GMD, ganho médio diário.

Para desenvolver as equações de predição do CMS, utilizou-se o procedimento MIXED (PROC MIXED) no SAS (*SAS University Edition, SAS Institute Inc., Cary, CA, EUA*). Empregou-se modelos de regressão com efeitos mistos (St-Pierre, 2001). Os modelos incorporaram efeitos aleatórios para o estudo e suas interações como componentes do modelo misto.

As variáveis independentes foram ajustadas a um modelo que incluía efeitos fixos para intercepto, inclinação e efeitos aleatórios do estudo no intercepto e inclinação, utilizando uma matriz de covariância com estrutura de variância comum (opção VC). Pressupõe-se que as variabilidades provenientes dos diferentes estudos foram independentes e possuíam variâncias distintas.

Os outliers foram testados avaliando os resíduos studentizados em relação aos valores previstos pelas equações. Os resíduos que ficaram fora da faixa de -2,5 a 2,5 foram removidos para garantir que o modelo não fosse influenciado por valores extremos, mantendo a precisão da análise.

Optou-se por desenvolver um modelo comum para as espécies de caprinos e ovinos, considerando as classes sexuais (não castrados, castrados e fêmeas). Para analisar os efeitos da espécie e das classes sexuais nas estimativas dos parâmetros do modelo, foram empregadas variáveis *dummy* (Draper e Smith, 1998).

Na primeira variável *dummy*, as opções foram: es = 0 para ovinos e es = 1 para caprinos, enquanto na segunda variável *dummy* as opções foram: cs = 0 para machos não castrados, cs = 1 para machos castrados e cs = 2 para fêmeas. Essas variáveis *dummy* permitiram estimar parâmetros interceptos distintos para cada espécie, assim como para cada uma das 3 classes sexuais dentro do modelo de cada espécie.

O melhor modelo consistiu na seleção daquele que apresentou o menor valor do critério de informação de Akaike corrigido (CIAc) (quanto menor melhor) (Akaike, 1973); coeficiente de determinação (r^2) (quanto mais próximo de 1 melhor) e significância das estimativas das variáveis do modelo ($P < 0,05$).

Observou-se que os modelos de predição de CMS diferiram ($P < 0,05$) entre as espécies (caprinos e ovinos). Entretanto, a classe sexual influenciou ($P < 0,05$) apenas no modelo de predição do CMS para caprinos, exigindo variações no intercepto (β_0) das estimativas do CMS entre não-castrados, castrados e fêmeas.

Identificou-se que os caprinos não castrados possuem estimativa de CMS maior que os castrados e estes maiores que as das fêmeas. Estes novos modelos de predição para o CMS são:

Caprinos (CIAc = 14.185)

$$\text{CMS (g/dia)} = \beta_0 + 30,9309 \times \text{PC} \quad \text{Eq. 2.5}$$

onde: que para caprinos não castrados $\beta_0 = 78,12$ ($r^2 = 0,50$); para castrados $\beta_0 = 57,2919$ ($r^2 = 0,50$); e para fêmeas $\beta_0 = 36,4638$ ($r^2 = 0,31$).

Ovinos (CIAc = 13.760,2)

$$\text{CMS (g/dia)} = -145,68 + 77,3709 \times \text{PC}^{0,75} + 1,3985 \times \text{GMD} \quad (r^2 = 0,81) \quad \text{Eq. 2.6}$$

onde: PC, em kg e GMD, em g/dia.

VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE PREDIÇÃO DO CONSUMO DE MATÉRIA SECA

Na construção do banco de dados para validar as equações, coletou-se dados de pesquisas realizadas no Brasil e publicadas

em periódicos nacionais e internacionais (*Small Ruminant Research*, Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, *Livestock Science*, *South African Journal of Animal Science*, Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, *Animal Feed Science and Technology*, *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Revista Brasileira de Zootecnia, *Brazilian Journal of Development e Tropical Animal Health Production*).

Foi considerado o período de 2007 a 2022, resultando em 40 observações (unidades experimentais) de 15 estudos para caprinos e 117 observações de 28 estudos para ovinos (Tabelas 2.3, 2.4 e 2.5). Cada unidade experimental representou a média por “tratamento” ou dieta experimental utilizada e, por isso, representavam entre 6 e 10 repetições (animal).

Utilizou-se bancos de dados de pesquisas independentes do banco de dados utilizado para desenvolvimento dos novos modelos. Coletou-se dados sobre espécie animal, classe sexual, peso corporal inicial e final, ganho médio diário e CMS. Para os dados do confinamento comercial, foram utilizados os valores médios de 45 lotes, totalizando 1436 animais.

Os CMS preditos foram comparados com os valores observados tendo como base o modelo de regressão: $Y = \beta_0 + \beta_1 \times X$, de modo que Y = valores observados e X = valores preditos; β_0 e β_1 = intercepto e inclinação da reta, respectivamente.

Para avaliar a adequação das equações, inicialmente, foram realizados testes de significância para as hipóteses de nulidade ($H_0: \beta_0 = 0$ e $H_0: \beta_1 = 1$) (Neter et al., 1996).

Quando as hipóteses nulas não foram rejeitadas ($P > 0,05$), os valores observados e previstos foram considerados como semelhantes, isto é, foi constatado que não havia diferença entre os valores preditos do CMS e os valores observados. Dessa forma, a capaci-

dade das equações de predizer com precisão o CMS em condições práticas de alimentação foi confirmada.

A qualidade de ajuste das regressões entre os valores de CMS observados e preditos pelas equações foram avaliadas pelo coeficiente de determinação (r^2 , quanto mais próximo de 1 melhor) Draper e Smith (1998); coeficiente de correlação e concordância (CCC, quanto mais próximo de 1 melhor) por Lin (1989); quadrado médio do erro de previsão (QMEP, quanto menor melhor) Bibby e Toutenburg (1977); critério de informações Akaike (CIAc, quanto menor melhor) (Liao, 2003); viés médio (VM, quanto mais próximo de zero melhor) calculado conforme descrito por Cochran e Cox (1957), sendo $VM < 0$ indicativo de subestimação em relação aos valores observados, enquanto $VM > 0$ indicava superestimação; a acurácia do modelo (AM, quanto mais próxima de 1, mais preciso será o modelo), sendo calculado de acordo com Lin (1989); os valores da raiz do quadrado médio do erro de previsão (RQMEP, quanto menor melhor) foram estimados a partir da raiz quadrada do QMEP (Bibby e Toutenburg, 1977). Todas as métricas foram analisadas no *Model Evaluation System – MES* (Tedeschi, 2006).

Na Tabela 2.6 e Figura 2.1, é possível observar a presença de valores nos resíduos da equação proposta por Almeida et al. (2019). Concentra-se acima do valor zero, uma indicação de superestimativa dos valores preditos em relação aos valores observados. Já na nova proposta (Equação 5), observou-se que os pontos preditos estão mais próximos da reta onde $X = Y$, isto é, cujos valores de CMS preditos são iguais aos observados, mostrando precisão deste modelo.

Além disso, observou-se que a amplitude de previsão do consumo variou entre 616,31 e 969,03 g/dia e presença de pontos em torno do resíduo zero, com poucas estimativas de superestimação da previsão do CMS.

As estimativas de comparação entre a nova proposta e as equações reportadas pela

literatura para ovinos, encontram-se descritas na Tabela 2.7.

Tabela 2.5 – Descrição do banco de dados utilizado na validação das equações de predição do consumo de matéria seca (CMS, g/dia) para caprinos e ovinos em confinamento.

Estudo	Espécie	n¹	CMS	V:C	Tipo de Volumoso	Classe sexual
Cartaxo <i>et al.</i> , 2013	Caprino	1	815,00	35:65	Feno Maniçoba	Não-castrado
Dias <i>et al.</i> , 2010	Caprino	4	813,23	50:50	Feno Tifton 85	Não-castrado
Hashimoto <i>et al.</i> , 2007	Caprino	2	898,00	30:70	Feno Grama Estrela	Fêmea
Medina <i>et al.</i> , 2009	Caprino	2	861,81	54:46	Silagem Maniçoba	Não-castrado
Agy <i>et al.</i> , 2012	Caprino	4	676,50	50:50	Feno Tifton 85	Não-castrado
Ribeiro <i>et al.</i> , 2018	Caprino	4	640,50	40:60	Feno Tifton 85	Não-castrado
Santos <i>et al.</i> , 2015	Caprino	3	608,97	30:70	Feno Tifton 85	Castrado
Pimentel <i>et al.</i> , 2021	Caprino	4	883,25	40:60	Feno Tifton 85	Castrado
Santos <i>et al.</i> , 2020	Caprino	1	752,50	30:70	Feno Tifton 85	Castrado
Silva <i>et al.</i> , 2015	Caprino	4	682,91	50:50	Feno Tifton 85	Não-castrado
Oliveira <i>et al.</i> , 2021	Caprino	4	882,50	20:80	Feno Tifton 85	Fêmea
Pereira <i>et al.</i> , 2019	Caprino	4	687,00	30:70	Feno Tifton 85	Não-castrado
Lima <i>et al.</i> , 2011	Caprino	3	789,67	30:70	Feno aveia	Não-castrado
Mendes <i>et al.</i> , 2008	Ovino	4	1.383,33	50:50	Cana-de-açúcar	Não-castrado
Castro <i>et al.</i> , 2007	Ovino	4	1.202,50	60:40	Feno Tifton 85	Não-castrado
Silva <i>et al.</i> , 2008	Ovino	6	927,83	60:40	Feno Tifton 85	Não-castrado
Alves <i>et al.</i> , 2012	Ovino	2	1.115,00	60:40	Feno Tifton 85	Não-castrado
Pereira <i>et al.</i> , 2008	Ovino	3	1.179,75	60:40	Feno Tifton 85	Não-castrado
Costa <i>et al.</i> , 2012	Ovino	5	1.380,00	40:60	Feno Tifton 85	Não-castrado
Lima <i>et al.</i> , 2018	Ovino	4	1.020,00	50:50	Feno Tifton 85	Não-castrado
Campos <i>et al.</i> , 2019	Ovino	4	967,50	50:50	Silagem*	Não-castrado
Costa <i>et al.</i> , 2021	Ovino	5	955,20	40:60	Feno Tifton 85	Não-castrado
Oliveira <i>et al.</i> , 2014	Ovino	4	1.466,72	60:40	Silagem Mandioca	Não-castrado
Santos <i>et al.</i> , 2020	Ovino	3	1.076,00	30:70	Feno Tifton 85	Não-castrado
Cunha <i>et al.</i> , 2008	Ovino	4	1.195,00	30:70	Feno Tifton 85	Não-castrado
Bagaldo <i>et al.</i> , 2019	Ovino	4	1.092,00	60:40	Capim Aruana	Não-castrado
Ribeiro <i>et al.</i> , 2020	Ovino	3	865,06	34:46	Feno Tifton 85	Não-castrado
Bernardes <i>et al.</i> , 2015	Ovino	4	720,50	45:55	Feno Alfafa	Castrado
Rego <i>et al.</i> , 2019	Ovino	4	846,00	30:70	Feno Aveia	Não-castrado
Cartaxo <i>et al.</i> , 2017	Ovino	3	1.330,00	30:70	Silagem Sorgo	Não-castrado
Brant <i>et al.</i> , 2021	Ovino	4	980,28	60:40	Feno Tifton 85	Não-castrado

¹Unidades experimentais; CMS, consumo de matéria seca; V:C, relação volumoso:concentrado.

*Silagem: Erva-sal, capim *Buffel*, gliricídia e pornunça.

Tabela 2.5 – Descrição do banco de dados utilizado na validação das equações de predição do consumo de matéria seca (CMS, g/dia) para caprinos e ovinos em confinamento. (*Continuação*).

Estudo	Espécie	n¹	CMS	V:C	Tipo de Volumoso	Classe sexual
Barros <i>et al.</i> , 2015	Ovino	5	757,60	52:48	Feno Tifton 85	Castrado
Morais <i>et al.</i> , 2021	Ovino	4	1.153,68	50:50	Feno Tifton 85	Não-castrado
Ramos <i>et al.</i> 2021	Ovino	4	1.347,50	40:60	Feno Tifton 85	Castrado
Valença <i>et al.</i> , 2021	Ovino	4	927,50	40:60	Silagem Milho	Não-castrado
Polizel <i>et al.</i> , 2021	Ovino	7	777,57	80:20	Feno Coast cross	Castrado
Oliveira <i>et al.</i> , 2013	Ovino	4	1.020,10	40:60	Feno Tifton 85	Castrado
Beltrão <i>et al.</i> , 2021	Ovino	4	1.083,25	30:70	Feno Mombaça	Não-castrado
Felix <i>et al.</i> , 2016	Ovino	4	961,75	38:62	Cana-de-açúcar	Não-castrado
Giotto <i>et al.</i> , 2022	Ovino	6	1.297,00	40:60	Silagem Sorgo	Não-castrado Fêmea
Paixão <i>et al.</i> , 2022	Ovino	5	679,10	60:40	Feno Tifton 85	Não-castrado

¹Unidades experimentais; CMS, consumo de matéria seca; V:C, relação volumoso:concentrado.

*Silagem: Erva-sal, capim *Buffel*, gliricídia e pornunça.

Tabela 2.6 – Estatística para relação entre os valores observados e preditos pelas equações 2.5 (nova proposta) e equação de Almeida *et al.* (2019) para caprinos em confinamento experimental.

Item	Observado	Predito	
		Nova proposta (Eq. 2.5)	Almeida <i>et al.</i>, 2019
CMS médio, g/dia	758,672	778,235	820,446
± DP, g/dia	107,871	109,001	78,803
mediana, g/dia	754,750	787,211	832,602
Intercepto	-	44,734	-273,233
± DP	-	47,308	72,229
(valor P)	-	0,35034	0,001
Inclinação	-	0,917	1,258
± DP	-	0,0602	0,0876
(valor P)	-	0,178	0,005
r ²	-	0,859	0,844
CCC	-	0,912	0,721
QMEP	-	2057,964	5985,659
CIA	-	414,529	418,604
VM (Y – X)	-	-19,563	-61,7747
AM	-	0,984	0,785
RQMEP		45.365	77.367

CMS, consumo de matéria seca; DP, desvio padrão; r², coeficiente de regressão; CCC, coeficiente de correlação de concordância; QMEP, quadrado médio do erro de predição; CIAc, Critério de Informação de Akaike; VM, viés médio; AM, acurácia do modelo; RQMEP, raiz do quadrado médio do erro de predição.

Para as equações de Vieira *et al.* (2013), Oliveira *et al.* (2020) e Equação 2.6 (nova proposta), observou-se que os valores preditos para o intercepto (β_0) e a inclinação da reta (β_1) não diferiram ($P > 0,05$) de zero e 1, respectivamente. Isto indica que todas estas equações são válidas.

Entretanto, a equação proposta por Cabral *et al.* (2008) não foi válida, pois os valores de probabilidade para a hipótese de nulidade, onde o intercepto de ser igual a zero e a inclinação igual a 1 foram significativos ($P < 0,05$), ou seja, os valores do CMS preditos por esta equação não são equivalentes aos valores observados para as condições do banco de dados deste estudo.

Para os resultados estatísticos da validação, o consumo médio observado para ovinos foi de 1.047,36g. A Equação 2.6 (nova proposta) e de Oliveira *et al.* (2020) apresentaram melhor predição e acurácia. A nova proposta apresentou menor QMEP (27.812,213 vs. 28.310,905) e RQMEP (166,769 vs. 168,258), maior r^2 (0,487 vs. 0,475) e menor CIAc (1.531,306 vs. 1.533,915).

Os resultados obtidos pela nova proposta estimaram de forma mais precisa e acurada o CMS para ovinos em confinamento, sendo similares aos valores observados e 3,7 vezes mais preciso que o modelo de Oliveira *et al.* (2020) no que concerne à predição de CMS para as condições tropicais.

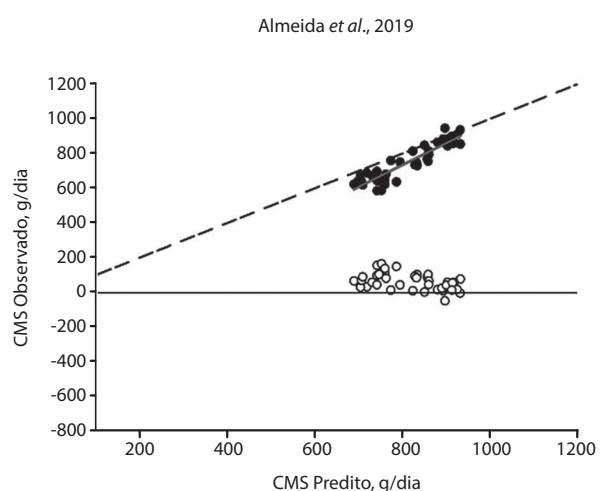
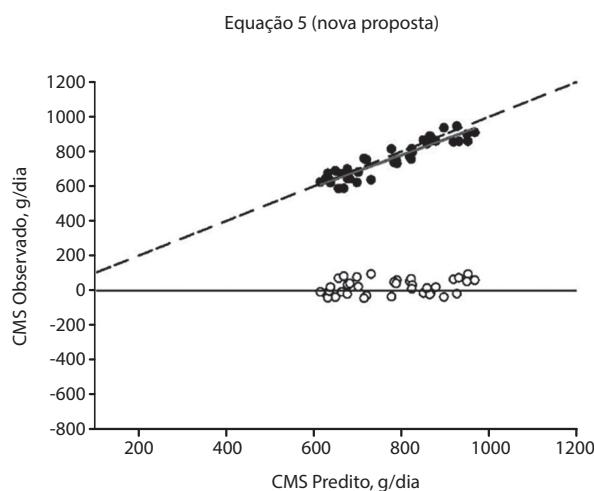


Figura 2.1 – Relação entre os valores de consumo de matéria seca (CMS) observados e preditos pela nova proposta (Equação 5) e pela equação proposta por Almeida *et al.* (2019) para caprinos confinados. Pontos circulares preenchidos (●) refere-se à relação entre observado e predito pelas equações; pontos circulares não preenchidos (○) refere-se ao resíduo da subtração do valor predito menos o valor observado; linha tracejada refere-se aos valores onde $Y=X$; linha contínua na cor vermelha refere-se a linha da regressão entre observado e predito pelas equações.

Tabela 2.7 – Estatísticas de validação do consumo de matéria seca da nova equação proposta e equações reportadas pela literatura para ovinos em confinamento experimental.

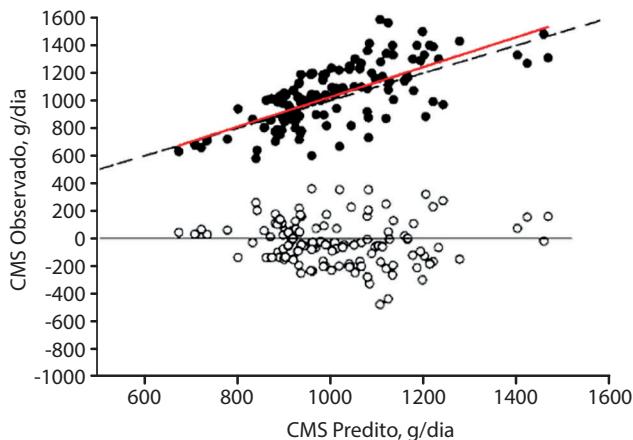
Item	Observado	Eq. 6 (nova)	Predito		
			Oliveira <i>et al.</i> , 2020	Vieira <i>et al.</i> , 2013	Cabral <i>et al.</i> , 2008
CMS médio, g/dia	1.047,357	1.019,193	1.076,068	1.074,779	964,367
± DP, g/dia	229,871	148,336	161,100	134,186	96,643
mediana, g/dia	1.037,000	992,557	1.042,942	1.049,844	946,980
Intercepto	–	-54,866	-11,380	-131,844	-451,701
± DP	–	164,587	104,843	132,871	162,705
(valor P)	–	0,608	0,914	0,323	0,006
Inclinação	–	1,081	0,984	1,097	1,554
± DP	–	0,103	0,09	0,123	0,168
(valor P)	–	0,433	0,867	0,430	0,001
r ²	–	0,487	0,475	0,410	0,427
CCC	–	0,629	0,641	0,552	0,420
QMEP	–	27.812,213	28.310,905	31.820,024	39.748,116
CIA	–	1.531,306	1.533,915	1.547,636	1.544,234
VM (Y – X)	–	28,164	-28,711	-27,422	82,990
AM	–	0,902	0,930	0,862	0,643
RQMEP	–	166,769	168,258	178,381	199,369

CMS, consumo de matéria seca; DP, desvio padrão; r², coeficiente de regressão; CCC, coeficiente de correlação de concordância; QMEP, quadrado médio do erro de predição; CIA, Critério de Informação de Akaike; VM, viés médio; AM, acurácia do modelo; RQMEP, raiz do quadrado médio do erro de predição.

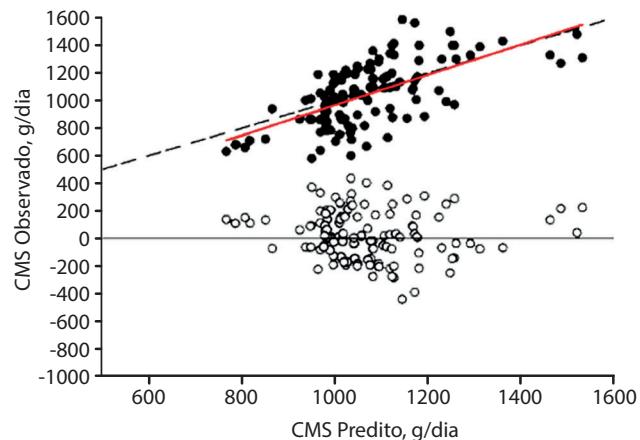
Na Figura 2.2, é possível observar uma comparação realizada entre as equações reportadas pela literatura e a equação proposta neste estudo. Ao analisar os valores observados e preditos, observa-se que o padrão de comportamento para o CMS estimado pela nova proposta (Equação 2.6) indica uma ligeira subestimativa após CMS

maiores que 1 kg/dia e o mesmo aconteceu com as estimativas de predição do CMS da equação de Oliveira *et al.* (2020). Por outro lado, a equação de Vieira *et al.* (2013) superestimou o CMS menores que 1 kg/dia, além de ter estimativas com amplitudes menores, principalmente em situações de menor CMS.

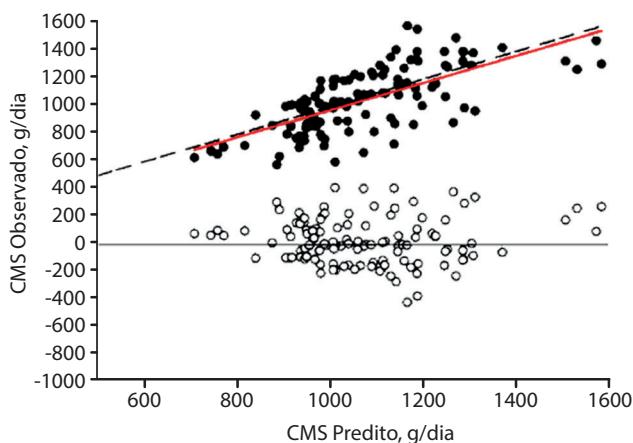
Equação 6 (nova proposta)



Vieira et al., 2013



Oliveira et al., 2020



Cabral et al., 2008

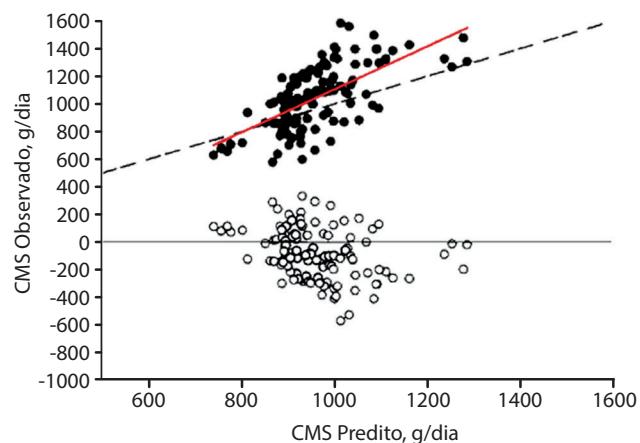


Figura 2.2 – Relação entre os valores de consumo de matéria seca (CMS) observados e preditos pela Equação 2.6 (nova proposta) e por diferentes equações da literatura para ovinos confinados. Pontos circulares preenchidos (●) refere-se à relação entre observado e predito pelas equações; pontos circulares não preenchidos (○) refere-se ao resíduo da subtração do valor predito menos o valor observado; linha tracejada refere-se aos valores onde $Y=X$; linha contínua na cor vermelha refere-se a linha da regressão entre observado e predito pelas equações.

A Tabela 2.8 apresenta uma análise comparativa entre a Equação 2.6 (nova proposta) e a equação de Oliveira *et al.* (2020) para estimar o CMS de ovinos em confinamento comercial. Com base nos valores de P, a equação de predição com melhor ajuste foi a Equação 2.6 (nova proposta), que considerou o peso corporal metabólico ($PC^{0,75}$) e pôde prever com melhor acurácia (0,996) e precisão o CMS, com maior r^2 (0,896), e maior CCC (0,943) quando comparada com a equação reportada por Oliveira *et al.* (2020), cujos valores para o intercepto ($\beta_0 = 0$) e a

inclinação da reta ($\beta_1 = 1$) não foram significativos ($P > 0,05$) nestas condições.

O maior número de dados coletados e utilizados para o desenvolvimento da Equação 2.6 (nova proposta) pode explicar o motivo pelo qual a equação de Oliveira *et al.* (2020) não obteve seus valores significativos ($P < 0,05$) para inclinação ($\beta_1 = 1$) quando comparada com a nova proposta. Isso reforça a importância de ampliar o banco de dados para atualizar as propostas de modelos genéricos para prever o CMS.

Além disso, em sistema de confinamento comercial são adotados pelos nutricionistas diferentes protocolos nutricionais com teores cada vez maiores de concentrado, o que pode ter limitado a capacidade da equação em estimar o consumo nas condições estudadas.

Na Figura 2.3, encontra-se o resultado das comparações entre os modelos de predição (nova proposta (Equação 2.6) ou equação

descrita por Oliveira *et al.* (2020)) e os valores observados no confinamento comercial. Observa-se a proximidade da linha vermelha com a linha, em que $Y = X$ indica maior precisão e acurácia no novo modelo de predição do CMS.

Nas Tabelas 2.9 e 2.10, são apresentadas simulações de predição do CMS para ovinos e caprinos em confinamento com base nas novas propostas de predição (Equações 2.5 e 2.6).

Tabela 2.8 – Estatísticas de validação do consumo de matéria seca (CMS) da nova equação proposta e equação reportada por Oliveira *et al.*, (2020), para ovinos em confinamento comercial.

Item	Observado	Predito	
		Nova proposta (Eq. 2.6)	Oliveira <i>et al.</i> , 2020
CMS médio, g/dia	1,236	1,220	1,303
± DP, g/dia	0,172	0,176	0,198
mediana, g/dia	1,249	1,249	1,305
Intercepto	-	0,101	0,175
± DP	-	0,059	0,062
(valor P)	-	0,096	0,007
Inclinação	-	0,929	0,814
± DP	-	0,048	0,047
(valor P)	-	0,151	0,001
r^2	-	0,896	0,873
CCC	-	0,943	0,868
QMEP	-	0,003	0,009
CIA	-	-127,296	-118,313
VM ($Y - X$)	-	0,015	-0,067
AM	-	0,996	0,929
RQMEP		0,054	0,094

CMS, consumo de matéria seca; DP, desvio padrão; r^2 , coeficiente de regressão; CCC, coeficiente de correlação de concordância; QMEP, quadrado médio do erro de predição; CIA, Critério de Informação de Akaike; VM, viés médio; AM, acurácia do modelo; RQMEP, raiz do quadrado médio do erro de predição.

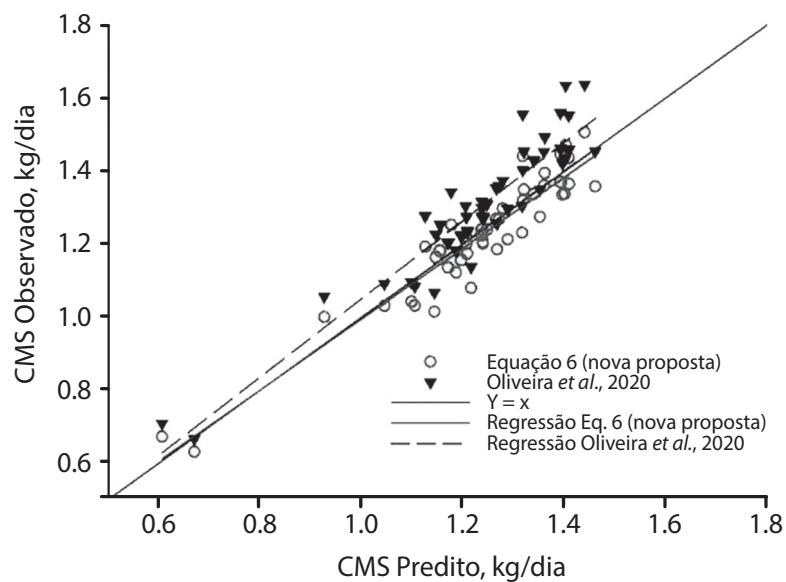


Figura 2.3 – Relação entre os valores de consumo de matéria seca (CMS) observados e preditos pela nova proposta e a equação de Oliveira *et al.* (2020) para ovinos em confinamento comercial. Os pontos triangulares preenchidos (\blacktriangle) referem-se à relação entre observado e predito pela equação de Oliveira *et al.* (2020); pontos circulares não preenchidos (\circ) referem-se ao observado e predito pela nova proposta (Equação 6); linha cor preta refere-se aos valores onde $Y=X$; linha tracejada refere-se a linha da regressão entre observado e predito pela equação de Oliveira *et al.* (2020), linha contínua na cor vermelha refere-se a linha da regressão entre observado e predito pela nova proposta.

Tabela 2.9 – Simulação das estimativas do consumo de matéria seca para ovinos confinados em ambiente tropical.

Peso corporal (kg)	Ganho médio diário (g/dia)	Consumo de matéria seca (g/dia)
20	150	795,82
	200	865,75
	250	935,67
	300	1.005,60
25	150	929,13
	200	999,05
	250	1.068,98
	300	1.138,90
30	150	1.055,88
	200	1.125,81
	250	1.195,73
	300	1.265,66

Tabela 2.9 – Simulação das estimativas do consumo de matéria seca para ovinos confinados em ambiente tropical. (*Continuação*).

Peso corporal (kg)	Ganho médio diário (g/dia)	Consumo de matéria seca (g/dia)
35	150	1.177,44
	200	1.247,36
	250	1.317,29
	300	1.387,21
40	150	1.294,71
	200	1.364,64
	250	1.434,56
	300	1.504,49

Tabela 2.10 – Simulação das estimativas do consumo de matéria seca para caprinos confinados em ambiente tropical, levando em consideração a classe sexual.

Peso corporal (kg)	Consumo de matéria seca (g/dia)		
	Não-castrados	Castrados	Fêmeas
20	696,7	675,9	655,1
25	851,4	830,6	809,7
30	1.006,0	985,2	964,4
35	1.160,7	1.139,9	1.119,0
40	1.315,4	1.294,5	1.273,7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As equações recomendadas para predição do consumo de matéria seca para caprinos e ovinos confinados em condições tropicais no Brasil são:

Caprinos

$$\text{CMS (g/dia)} = \beta_0 + 30,9309 \times \text{PC}$$

sendo que para caprinos não castrados $\beta_0 = 78,12$; para castrados $\beta_0 = 57,2919$; e para fêmeas $\beta_0 = 36,4638$.

Ovinos

$$\text{CMS(g/dia)} = -145,68 + 77,3709 \times \text{PC}^{0,75} + 1,3985 \times \text{GMD}$$

REFERÊNCIAS

- Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants*. Wallingford, UK, CAB International, 159p, 1993.
- Akaike, H. *Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle*. In B. N. Petrov, & F. Csaki (Eds.), Proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory. Budapest: Akademiai Kiado. 267-281, 1973.
- Allen, M.S.; Sousa, D. O.; VandeHaar, M. J. Equation to predict feed intake response by lactating cows to factors related to the filling effect of rations. *Journal of Dairy science*, 102:7961-7969, 2019.
- Almeida, A.K.; Resende, K.T.; St-Pierre, N.; Silva, S.P.; Soares, D.C.; Fernandes, M.H.M.R.; Souza, A.P.; Silva, N.C.D.; Lima, A.R.C.; Teixeira, I.A.M.A. Energy requirements for growth in male and female Saanen goats. *Journal of Animal Science*, 93:3932-3940, 2015.
- Almeida, A.K; Tedeschi, L.O.; Resende, K.T.; Biagioli, B.; Cannas, A.; Teixeira, I.A.M.A. Prediction of voluntary dry matter intake in stall fed growing goats. *Livestock Science*, 219:1-9, 2019.
- Andrade, P.A.D. *Efeito do estresse calórico e do milho expandido em parâmetros digestivos e fisiológicos em ovinos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, 155 p, 2011.
- Araujo, R.C.; Pires, A.V.; Susin, I.; Mendes, C.Q.; Rodrigues, G.H.; Packer, I.U.; Eastridge, M.L. Milk yield, milk composition, eating behavior, and lamb performance of ewes fed diets containing soybean hulls replacing coastcross (Cynodon species) hay. *Journal of Animal Science*, 86,12:3511-3521, 2008.
- Bibby, J., Toutenburg, H. *Previsão e Estimativa Aprimorada em Modelos Lineares*, 1^a ed. John Wiley & Sons, Berlim, 1977.
- Borges, I.; Silva, A. G. M.; Ferreira, M. I. C.; Macedo Junior, G. L. Ambiência nas instalações para caprinos e ovinos. In: II Simpósio de caprinos e ovinos da Escola de Veterinária da UFMG, *Anais...* Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 231-257, 2007.
- Borges, N.C.; Orsine, G.F.; Silva, L.A.F.; Bernardes, K.M.; Martins, M.E.P.; Fioravanti, M.C.S. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos do fluido ruminal de ovinos confinados submetidos a crescentes níveis de mistura mineral energético-protéica. *Ciência Animal Brasileira/Brazilian Animal Science*, 12:392–399, 2011.
- Cabral, L.S.; Neves, E.M.O.; Zervoudakis, J.T.; Abreu, J.G.; Rodrigues, R.C.; Souza, A.L.; Oliveira I.S. Estimativas dos requisitos nutricionais de ovinos em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 9:529-542, 2008.
- Cannas, A. *Feeding of lactating ewe*. editor. In: Pulina, G (Ed.), *Dairy sheep nutrition*. Wallingford UK: CABI Publishing, 79-108, 2004.
- Cannas, A.; Tedeschi, L.O.; Fox, D.G.; Pell, A.N.; Van Soest, P.J. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep, *Journal of Animal Science*, 82:149-169, 2004.
- Castro, F.A.B.D.; Ribeiro, E.L.D.A.; Mizubuti, I.Y.; Silva, L.D.D.F.D.; Barbosa, M.A.A.D.F.; Sousa, C.L.D.; Koritiaki, N.A. Influence of pre and postnatal energy restriction on the productive performance of ewes and lambs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:951-958, 2012.
- Chen, X.; SU, X., LI, J.; Yang, Y.; Wang, P.; Yan, F.; Wu, S. Real-time monitoring of ruminal microbiota reveals their roles in dairy goats during subacute ruminal acidosis. *NPJ Biofilms and Microbiomes*, 7:45, 2021.
- Cochran, W. G.; Cox, G. M., *Experimental Designs*, 2nd ed. New York, John Wiley and Sons, 615p, 1957.
- Collier, R.J.; Beede, D.K. Influences of environment and its modification on the animal health and production. *Journal of Dairy Science*, 65:2213-2227, 1982.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO PUBLISHING. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Australia, Collingwood, 270p, 2007.
- Draper, N.R.; Smith, H. *Applied regression analysis*. New York, John Wiley, 706 p, 1998.
- Gallo, S.B.; Tedeschi, L.O. Developing a continuous adjustment factor for dry matter intake of gestating and lactating ewes. *Scientia Agricola*, 78:2, 2021.
- Gebremariam, T.; Melaku, S.; Yami, A. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility, and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 131:43-52, 2006.
- Gurgel, A.L.C.; dos Santos Difante, G.; Neto, J.V.E.; Santana, J.C.S.; Fernandes, P.B.; dos Santos, G.T.; de Medeiros, H.R. Prediction of dry matter intake by meat sheep on tropical pastures. *Tropical Animal Health and Production*, 53:1-8, 2021.

Institut National de la Recherche Agronomique – INRA. *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeurs des aliments. Tables INRA Editions Quae, Versailles, France, 2007.*

Institute National de la Recherche Agronomique – INRA. *Feeding System for Ruminants*. INRA, Paris, France, 2018.

Jochims, F.; Pires, C.C.; Griebler, L.; Bolzan, M.A.S.; Dias, F.D.; Galvani, D.B. Feeding behavior and forage intake of ewe lambs on pearl millet pasture with or without supplementation. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:572–581, 2010.

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.

Knupp, L.S.; Carvalho, F.F.R.; Cannas, A.; Marcondes, M.I.; Silva, A.L.; Francesconi, A.H.D.; Beltrão, C.G.R.; Atzori, I.A.S.; Gaspa, G.; Costa, R.G. Meta-analysis of spineless cactus feeding to meat lambs: performance and development of mathematical models to predict dry matter intake and average daily gain. *Animal*. 13:2260-2267, 2019

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 e Zootecnia*, 61:635-647, 2009.

Ledda, A.; Carta, S.; Correddu, F.; Cesarani, A.; Atzori, A.S.; Battacone, G.; Maciotta, N.P.P. Dry Matter Intake Prediction from Milk Spectra in Sarda Dairy Sheep. *Animals*, 13:763, 2023.

Liao, J.J.Z. An improved concordance correlation coefficient. *Pharmaceutical Statistics: The Journal of Applied Statistics in the Pharmaceutical Industry*, 2:253-261, 2003.

Lima, A.R.C.; Silveira, R.M.F.; Castro, M.S.M.; Vecchi, L.B.; Fernandes, M.H.M.R.; Resende, K.T. Relationship between thermal environment, thermoregulatory responses and energy metabolism in goats: A comprehensive review. *Journal of Thermal Biology*, 109:103324, 2022.

Lin, L.I.K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45:255–268, 1989.

Lopes, A.S.M.; Oliveira, J.S.; Cruz, G.F.L.; Vieira, D.S.; Santos, F.N.S.; Lemos, M.L.P.; Pinheiro, J.K.; Sousa, L.S.; Oliveira, C.J.B.; Santos, E.M. Effects of non-protein nitrogen on buffel grass fiber and ruminal bacterial composition in sheep. *Livestock Science*, 272:105237, 2023.

Lopes, L.A.; Cardoso, D.B.; Camargo, K.S.; Silva, T.G.P.; Souza, J.S.R.; Silva, J.R.C.; Morais, J.S.; Araújo, T.P. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. *Pubvet*, 13:170, 2019.

Lunesu, M.F.; Bomboi, G.C.; Marzano, A.; Comin, A.; Prandi, A.; Sechi, P.; Nicolussi, P.S.; Decandia, M.; Manca, C.; Atzori, A.S.; Molle, G.; Cannas, A. Metabolic and hormonal control of energy utilization and partitioning from early to mid lactation in Sarda ewes and Saanen goats. *Journal of Dairy Science*, 104:3617-3631, 2021.

Macedo Junior, G.de L.; Benevides, Y.I.; Campos, W.E.; Borges, I.; Rodriguez, N.M.; Ferreira, D.A. Consumo, digestibilidade e taxa de passagem ruminal em ovelhas gestantes. *Ciência Animal Brasileira/Brazilian Animal Science*, 13:429-439, 2012.

Macedo Junior, G. de L.; França, P.M.; Assis, R.M.; Almeida, T.R.V.; Paula, O.J.; Pérez, J.R.O.; Silva, V.B. Níveis de fibra em detergente neutro forrageiro na alimentação de ovelhas Santa Inês gestantes. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 61:196-202, 2009.

Macedo Junior, G. de L.; Ferreira, M.I.C.; Borges, I.; Silva, V.B.; Couto, J.R.L.; Cavalcanti, L.F.L. Consumo e digestibilidade aparente das frações fibrosas por ovelhas gestantes. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 11:179-192, 2010.

Machado, N.A.F.; Filho, J.A.D.B.; Oliveira, K.P.L.; Parente, M.O.M.; Siqueira, J.C.; Pereira, A.M.; Santos, A.R.D.; Sousa, J.M.S.; Rocha, K.S.; Viveiros, K.K.S.; Costa, C.S. Biological rhythm of goats and sheep in response to heat stress. *Biological Rhythm Research*, 51:1044-1052, 2020.

Maharani, D.; Hartatik, T.; Warih, A.; Nurjannah, A. S. *The effect of sex on nutritional status of post-weaned Bligon goats under controlled feeding management*. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, p. 012057, 2019.

Mertens, D.R. *Regulation of forage intake. Imput*: Fahey Junior, G. C. (Ed.). Forage quality, evaluation, and utilization, p. 450-493, 1994.

Morrison S.R. Ruminant heat stress: effect on production and means of alleviation. *Journal of Animal Science*, 57:1594-1600, 1983.

National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids* (1st edition), National Academies Press, Washington, DC, USA, 2007.

Neal, H.D.S T.C.; Thomas, C.; Cobley, J.M. Comparison of equations for predicting voluntary intake by dairy cows. *The Journal of Agricultural Science*, 103:1-10, 1984.

- Neiva, J.N.M.; Teixeira, M.; Turco, S.H.N. Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos Santa Inês mantidos em confinamento na região litorânea do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33:668-678, 2004.
- Neter, J.; Kutner, M.H.; Nachtsheim, C.J.; Wasserman, W. *Applied linear statistical models*. 4th Edition, WCB McGraw-Hill, New York, 318p, 1996.
- Oliveira, A.P.D.; Cunha, C.S.; Pereira, E.S.; Biffani, S.; Medeiros, A.N.D.; Silva, A.M.D.A.; Marcondes, M.I. Meta-analysis of dry matter intake and neutral detergent fiber intake of hair sheep raised in tropical areas. *Plos one*, 15:e0244201, 2020.
- Oliveira, T.S.; Rodrigues, M.T.; Glória, L.S. Mobilization of body energy reserves of alpine goats during early lactation in tropical conditions. *Small Ruminant Research*, 216:106789, 2022.
- Pereira, D.M.; Oliveira, J.S.D.; Santos, E.M.; de Carvalho, G.G.; Azevedo, J.A.D.; Corrêa, Y.R.; Viana, N.B. Productive performance and ingestive behaviour of feedlot finished Santa Ines lambs on diets containing differing fibre levels. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 65:213-226, 2022.
- Pulina, G.; Bettati, T.; Serra, F.A.; Razio, O. *Construction and validation of a software program for feeding sheep milk = Costruzione e validazione di un software per l'alimentazione degli ovini da latte*. In: Proceedings National Congress of the Italian Society of Pathology and Breeding Of Sheep And Goats = Atti Congresso Nazionale Della Societa Italiana di Patologia e di Allevamento degli Ovini e dei Caprini, 12:11-14, Italian, 1996.
- Quadros, D.G.; Whitney, T.R.; Weishuhn, C. Influence of particle size of cottonseed hulls and bermudagrass hay on intake, sorting behavior, and rumen fluid parameters of feedlot lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 285:115218, 2022.
- Resende, K.T.; Silva, H.G.de O.; Lima, L.D.; Teixeira, I.A.M. Avaliação das exigências nutricionais de pequenos ruminantes pelos sistemas de alimentação recentemente publicados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:161-177, 2008.
- Ribeiro, V.L.; Batista, Â.M.V.; Guim, A.; Carvalho, F.F.R.; de Araújo, G.G.L.; Araújo, R.F.S.da S.; Mattos, C.W.; Vieira, E.de L. Número de bolos ruminais e mastigação merídica de ovinos recebendo dieta a base de palma forrageira e fenos de Atriplex. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6:463-468, 2023.
- Santini, F.J.; Lu, C.D.; Potchoiba, M.J.; Fernandez, J.M.; Coleman, S.W. Dietary fiber and milk yield, mastication, digestion, and rate of passage in goats fed alfalfa hay. *Journal of Dairy Science*, 75:209-219, 1992.
- Santos, F.C.B.; Souza, B.B.; Alfaro, C.E.P.; César, M.F.; Pimenta Filho, E.C.; Acosta, A.A.A.; Santos, J.R. S. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-arido do nordeste brasileiro. *Ciência e Agrotecnologia*, 29:142-149, 2005.
- Silva, E.M.N.; Souza, B.B.; Souza, O.B.; Silva, G.A.; Freitas, M.M.S. Avaliação da adaptabilidade de caprinos ao semiárido através de parâmetros fisiológicos e estruturas do tegumento. *Revista Caatinga*, 23:142-148, 2010.
- Souza, E.D.; Souza, B.B.; Souza, W.H.; César, M.F.; Santos, J.R.S.; Tavares, G.P. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no semi-árido. *Ciência e Agrotecnologia*, 29:1-10, 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.
- Tedeschi, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agriculture System*. 89:225-247, 2006.
- Tedeschi, L.O.; Adams, J.M.; Vieira, R.A.M. Revisiting Mechanisms, Methods, and Models for Altering Forage Cell Wall Utilization for Ruminants. *Journal of Animal Science*, 101:skad009, 2023.
- Trabi, E.B.; Seddik, H.E.; Xie, F.; Lin, L.M.; Mao, S.Y. Comparison of the rumen bacterial community, rumen fermentation and growth performance of fattening lambs fed low-grain, pelleted or non-pelleted high grain total mixed ration. *Animal Feed Science and Technology*, 253:1–12, 2019.
- Vieira, P.A.S.; Pereira, L.G.R.; Azevêdo, J.A.G.; Neves, A.L.A.; Chizzotti, M.L.; dos Santos, R.D.; de Araújo, G.G.L.; Mistura, C.; Chaves, A.V. Development of mathematical models to predict dry matter intake in feedlot Santa Ines rams. *Small Ruminant Research*. 112:78-84, 2013.
- Zhang, Z.A.; Li, F.; Ma, Z.Y.; Li, F.D.; Wang, Z.L.; Li, S.R.; Li, K.D. Variability in chewing, ruminal fermentation, digestibility and bacterial communities between subacute ruminal acidosis-susceptible and acidosis-tolerant sheep. *Animal*, 17:100902, 2023.

Apêndice 1 – Referências do banco de dados utilizado na validação para caprinos

Agy, M.S.F.A.; Oliveira, R.L.; Ribeiro, C.V.D.M.; Ribeiro, M.D.; Bagaldo, A.R.; Araújo, G.G.L.D.; Ribeiro, R.D.X. Sunflower cake from biodiesel production fed to crossbred Boer kids. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:123 –130, 2012.

Cartaxo, F.Q.; Leite, M.L.D.M.V.; Sousa, W.H.; Viana, J.A.; Rocha, L.P. Desempenho bioeconômico de cabritos de diferentes grupos genéticos terminados em confinamento. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 14:224-232, 2013.

Dias, A.M.A.; Batista, Â.M.V.; Carvalho, F.F.R.D.; Guim, A.; Silva, G.; Silva, A.C.D. Consumo e digestibilidade dos nutrientes e desempenho de caprinos recebendo farelo grosso de trigo na dieta em substituição ao milho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:831-836, 2010.

Hashimoto, J.H.; Alcalde, C.R.; Zambom, M.A.; Silva, K.T.D.; Macedo, F.D.A.F.D.; Martins, E.N.; Passianoto, G.D.O. Desempenho e digestibilidade aparente em cabritos Boer x Saanen em confinamento recebendo rações com casca do grão de soja em substituição ao milho. *Revista Brasileira de zootecnia*, 36:174-182, 2007.

Lima, L.S.D.; Alcalde, C.R.; Macedo, F.D.A.F.; Lima, L.R.D.; Martins, E.N.; Coutinho, C.C. Sugar cane dry yeast in feeding for growing and finishing goat kids. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:168-173, 2011.

Medina, F.T.; Cândido, M.J.D.; Araújo, G.G.L.; Barroso, D.D.; Cruz, M.C.S. Silagem de maniçoba associada a diferentes fontes energéticas na alimentação de caprinos: desempenho animal. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 31:151-154, 2009.

Oliveira, A.R.A.; Pereira, M.L.A.; Jesus Pereira, T.C.; Oliveira Silva, H.G.; Silva, E.R.; Carvalho, D.I.; Porto10, M.R. Enriched Mesquite Piperidine Alkaloid Extract Improves the Performance in Growing Goats. *Fields of Interests*, 356:77, 2021.

Pereira, T.C.J.; Ribeiro, L.S.O.; Pires, A.J.V.; Pereira, M.L.A.; Santos, A.B.; Silva, H.D.O.; Carvalho, G.G.P. Growth performance and apparent digestibility by goats fed diets with peach palm meal replacing maize. *Applied Animal Science*, 35:563-569, 2019.

Pimentel, P.R.S.; Pellegrini, C.B.; Lanna, D.P.D.; Brant, L.M.S.; Ribeiro, C.V.D.M.; Silva, T.M.; Oliveira, R.L. Effects of Acacia mearnsii extract as a condensed-tannin source on animal performance, carcass yield and meat quality in goats. *Animal Feed Science and Technology*, 271:114733, 2021.

Ribeiro, R.D.X.; Oliveira, R.L.; Oliveira, R.L.; Carvalho, G.G.P.; Medeiros, A.N.; Correia, B.R.; Bezerra, L.R. Palm kernel cake from the biodiesel industry in diets for goat kids. Part 1: Nutrient intake and utilization, growth performance and carcass traits. *Small Ruminant Research*, 165:17-23, 2018.

Santos, A.R.; Souza, J.N.; Parente, H.N.; Oliveira, G.S.; Rocha, K.S.; Zanine, A.M.; Parente, M.O. Characteristics of nutrition, growth, carcass and meat of male Goats fed babassu mesocarp flour. *Agriculture*, 10:288, 2020.

Santos, D.A.D.; Parente, H.N.; Parente, M.D.O.M.; Rocha, K.S.D.; Ferreira, E.M.; Alves, A.A. Desempenho produtivo de cabritos alimentados com glicerina bruta. *Ciência Rural*, 45:690-696, 2015.

Silva, T.M.; Medeiros, A.N.D.; Oliveira, R.L.; Neto, S.G.; Ribeiro, M.D.; Bagaldo, A.R.; Ribeiro, O.L. Peanut cake as a substitute for soybean meal in the diet of goats. *Journal of animal science*, 93:2998-3005, 2015.

Apêndice 2 – Referências do banco de dados utilizado na validação para ovinos

Alves, E.M.; Santos Pedreira, M.D.; Aguiar, L.V.; Coelho, C.P.; Oliveira, C.A.S.; Silva, A.M.P. Silagem de sorgo com e sem tanino em substituição à silagem de milho na alimentação de ovinos: desempenho e características da carcaça. *Ciência Animal Brasileira*, 13:2, 2012.

Bagaldo, A.R.; Miranda, G.S.; Júnior, M.S.; Araújo, F.L.; Matoso, R.V.M.; Chizzotti, M.L.; Oliveira, R.L. Effect of Licuri cake supplementation on performance, digestibility, ingestive behavior, carcass traits and meat quality of grazing lambs. *Small Ruminant Research*, 177:18-24, 2019.

Barros, M.C.C.; Marques, J.A.; Silva, F.F.; Silva, R.R.; Guimarães, G.S.; Silva, L.L.; Araújo, F.L. Glicerina bruta na dieta de ovinos confinados: consumo, digestibilidade, desempenho, medidas morfométricas da carcaça e características da carne. *Semina: Ciências Agrárias*, 36:453-466, 2015.

Beltrão, E.S.; Silva, A.M.Z.; Filho, J.M.P.; Moura, J.F.P.; Oliveira, J.P.F.; Oliveira, R.L.; Dias-Silva, T.P.; Bezerra, L.R. Effect of different blend levels of spineless cactus and Mombasa hay as roughage on intake, digestibility, ingestive behavior, and performance of lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 53:1-7, 2021.

Bernardes, G.M.C.; Carvalho, S.; Pires, C.C.; Motta, J.H.; Teixeira, W.S.; Borges, L.I.; Fleig, M.; Pilecco, V.M.; Farinha, E.T.; Venturini, R.S. Consumo, desempenho e análise econômica da alimentação de cordeiros terminados em confinamento com o uso de dietas de alto grão. *Arquivo brasileiro de medicina veterinária e Zootecnia*, 67:1684-1692, 2015.

- Brant, L.M.; Freitas Júnior, J.E.; Pereira, F.M.; Pina, D.D.S.; Santos, S.A.; Leite, L.C.; Cirne, L.G.A.; Alba, H.D.R.; Araujo, M.L.G.M.L.; Pimentel, P.R.S.; Carvalho, G.G. Effects of alternative energy and protein sources on performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot lambs. *Livestock Science*, 251:104611, 2021.
- Campos, F.S.; Carvalho, G.G.P.; Santos, E.M.; Araújo, G.G.L.; Gois, G.C.; Rebouças, R.A.; Perazzo, A.F. Characteristics of carcass and non-carcass components of lambs fed diets containing silages of forages adapted to the semi-arid environment. *South African Journal of Animal Science*, 49:119-130, 2019.
- Cartaxo, F.Q.; Sousa, W.H.; Cezar, M.F.; Cunha, M.D.G.G.; Menezes, L.M.; Ramos, J.D.F.; Gomes, J.T.; Viana, J.A. Performance and carcass traits of Santa Inês pure lambs and crosses with Dorper finished in feedlot. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 18:388-401, 2017.
- Castro, J.M.D.C.; Silva, D.S.; Medeiros, A.N.; Filho, E.C.P. Desempenho de cordeiros Santa Inês alimentados com dietas completas contendo feno de maniçoba. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:674-680, 2007.
- Costa, E.D.S.; Ribiero, C.V.D.M.; Silva, T.M.; Ribeiro, R.D.X.; Vieira, J.F.; Lima, A.D.O.; Oliveira, R.L. Intake, nutrient digestibility, nitrogen balance, serum metabolites and growth performance of lambs supplemented with Acacia mearnsii condensed tannin extract. *Animal Feed Science and Technology*, 272:114744, 2021.
- Costa, R.G.; Treviño, I.H.; Medeiros, G.R.; Medeiros, A.N.; Pinto, T.F.; Oliveira, R.L. Effects of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) on the performance of Santa Inês lambs. *Small Ruminant Research*, 102:13-17, 2012.
- Cunha, M.D.G.G.; Carvalho, F.F.R.D.; Véras, A.S.C.; Batista, Â.M.V. Desempenho e digestibilidade aparente em ovinos confinados alimentados com dietas contendo níveis crescentes de caroço de algodão integral. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:1103-1111, 2008.
- Felix, S.C.R.; Pessoa, R.A.S.; Ferreira, M.A.; Soares, L.F.P.; Silva, J.L.; Abreu, K.S.F.; Melo, A.C.C. Intake, performance, and carcass characteristics of lambs fed spineless cactus replacing wheat bran. *Tropical Animal Health and Production*, 48:465-468, 2016.
- Giotto, F.M.; Grandis, F.A.; Mello, A.S.; Ribeiro, E.L.A. Discarded pecan seeds as an alternative feed stuff in lamb diets: Effects on intake, growth performance, carcass weights, and meat quality. *Small Ruminant Research*, 213:106729, 2022.
- Lima, A.G.V.O.; Silva, T.M.; Bezerra, L.R.; Pereira, E.S.; Barbosa, A.M.; Ribeiro, R.D.X.; Oliveira, R.L. Intake, digestibility, nitrogen balance, performance and carcass traits of Santa Ines lamb fed with sunflower cake from biodiesel production. *Small Ruminant Research*, 168:19-24, 2018.
- Mendes, C.Q.; Susin, I.; Pires, A.V.; Nussio, L.G.; Araujo, R.C.D.; Ribeiro, M.F. Desempenho, parâmetros da carcaça e comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com cana-de-açúcar ensilada ou in natura. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60:733-740, 2008.
- Morais, J.S.; Barreto, L.M.G.; Neves, M.L.M.W.; Monnerat, J.P.I.S.; Ferreira, M.A.; Cordeiro, E.H.A.; Véras, A.S.C. Effect of dietary replacing of corn grain with the blend of residues from the candy industry and corn gluten feed on performance of growing lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 282:115130, 2021.
- Oliveira, J.Q.D.; Loures, D.R.S.; Bagaldo, A.R.; Araujo, F.L.D.; Sousa, S.L.G.D.; Andrade, M.A.D.; Almeida, B.D.J. Desempenho produtivo e concentrações de N-ureico em ovinos alimentados com parte aérea da mandioca ensilada com aditivos alternativos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 15:570-583, 2014.
- Oliveira, P.B.; Lima, P.M.T.; Campeche, A.; Mendonça, S.; Laviola, B.G.; McManus, C.; Louvandini, H. Growth and carcass characteristics of Santa Inês lambs fed diet supplemented with physic nut meal free of phorbol ester. *Small Ruminant Research*, 114:20-25, 2013.
- Paixão, T.R.; Almeida, V.V.S.; Oliveira, A.C.; Silva, A.P.G.; Silva, J.W.D.; Santos, L.V.; Junior, D.M.L.; Silva, R.R. Intake, digestibility, ruminal parameters, and performance in lamb fed with increasing levels of red propolis extract. *Tropical Animal Health and Production*, 54:364, 2022.
- Pereira, M.S.; Ribeiro, E.L.A.; Mizubuti, I.Y.; Rocha, M.A.; Kuraoka, J.T.; Nakaghi, E.Y.O. Consumo de nutrientes e desempenho de cordeiros em confinamento alimentados com dietas com polpa cítrica úmida prensada em substituição à silagem de milho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:134-139, 2008.
- Polizel, D.M.; Sardinha, L.A.; Limede, A.C.; Miszura, A.A.; Barroso, J.P.R.; Sturion, T.U.; Soares, L.C.B.; Marques, R.S.; Biava, J.S.; Junior, M.V.C.F.; Ferreira E.M.; Pires, A.V. Effect of narasin supplementation on performance of lambs fed high-forage diets. *Small Ruminant Research*, 205:106549, 2021.

Ramos, L.M.G.; Bezerra, L.R.; Oliveira, J.P.F.; Souza, M.P.; Silva, A.L.; Pereira, E.S.; Mazzeto, S.E.; Filho, J.M.P.; Oliveira, R.L. Effects of feeding growing-finishing lambs with cashew nut shell liquid on the growth performance, physicochemical attributes, lipid peroxidation and sensorial parameters of burger. *Small Ruminant Research*, 202:106468, 2021.

Rego, F.C.A.; Lima, L.D.; Baise, J.; Gasparini, M.J.; Eleodoro, J.I.; Santos, M.D.; Zundt, M. Performance, carcass and meat characteristics of lambs in feedlot fed diets with increasing levels of fresh orange pulp replacing corn. *Ciência Animal Brasileira*, 20, 2019.

Ribeiro, P.H.C.; Júnior, V.L.; Urbano, S.A.; Menezes, M.L.; Neta, M.L.T.; Costa, M.G.; Aguiar, E.M.; Inácio, J.G. Consumo e desempenho de cordeiros confinados alimentados com diferentes níveis de fibra em detergente neutro/Intake and performance of lambs fed in feedlot with different levels of neutral detergent fiber. *Brazilian Journal of Development*, 6:16964-16975, 2020.

Santos, P.A.C.; Neto, O.J.A.G.; Filho, M.A.M.; Gomes, R.M.S.; Parente, H.N. Análise econômica da inclusão de farinha amilácea de babaçu na dieta de cordeiros confinados. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3:1421-1426, 2020.

Silva, H.G.D.O.; Pires, A.J.V.; Carvalho, G.G.P.D.; Veloso, C.M.; Silva, F.F.D. Capim-elefante amonizado e farelo de cacau ou torta de dendê em dietas para ovinos em crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:734-742, 2008.

Valença, R.L.; Sobrinho, A.G.S.; Borghi, T.H.; Meza, D.A.R.; Andrade, N.; Silva, L.G.; Bezerra, L.R. Performance, carcass traits, physicochemical properties and fatty acids composition of lambs meat fed diets with marine microalgae meal (*Schizochytrium sp.*). *Livestock Science*, 243:104387, 2021.

Apêndice 3 – Referências do banco de dados utilizado no desenvolvimento das equações para caprinos e ovinos

Almeida, A.K.; Resende, K.T.; St-Pierre.; N., Silva.; S.P.; Soares, D.C.; Fernandes, M.H.M.R.; Souza, A.P.; Silva, N.C.D.; Lima, A.R.C.; Teixeira, I.A.M.A. Energy requirements for growth in male and female Saanen goats. *Journal of Animal Science*, 93:3932-3940, 2015.

Almeida, C.P. Concentração proteica e período de confinamento em cordeiros alimentados com dietas de alto grão. Dissertação (Mestre em Ciência Animal), Universidade Estadual de Santa Cruz, 42 p, 2016.

Almeida, F.M. Semente de seringueira na alimentação de cordeiros. Tese (Doutorado em Ciência Animal), Universidade Estadual de Santa Cruz, 86 p, 2015.

Andrade, I.R.A. Fontes alternativas de proteínas na dieta de ovinos em confinamento: Valor nutritivo e desempenho bioeconômico. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal do Ceará, 90 p, 2011.

Aragão, A.S.L.; Pereira, L.G.R.; Chizzotti, M.L.; Voltolini, T.V.; Azevêdo, J.A.G.; Barbosa, L.D.; Santos, R.D.; Araújo, G.G.L.; Brandão, L.G.N. Farelo de manga na dieta de cordeiros em confinamento. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 64:967-973, 2012.

Araújo, G.G.L.; Bade, P.L.; Menezes, D.R.; Socorro, E.P.; Sá, J.L.; Oliveira, G.J.C.D. Substituição da raspa de mandioca por farelo de palma forrageira na dieta de ovinos. *Revista Brasileira de saúde e produção Animal*, 10:448-459, 2009.

Araújo, M.L.G.M.L.; Santos, E.M.; Carvalho, G.G.P.; Pina, D.S.; Oliveira, J.S.; Tosto, M.S.L.; Silva, D.S.; Perazzo, A.F.; Pereira, D.M.; Nascimento, T.V.C.; Ferreira, D.J.; Cavalcanti, H.S.; Santos, F.N.S.; Ribeiro, M.D.; Zanine, A.M. Ensiling Sorghum with Urea, Aerobic Exposure and Effects on Intake, Digestibility, Ingestive Behaviour and Blood Parameters of Feedlot Lambs. *Animals*, 13:2005. 2023.

Assis, D.Y.C.; Carvalho, G.G.P.; Santos, E.M.; Oliveira, F.A.; Araújo, M.L.G.M.L.; Pina, D.; Santos, S.; Rufino, L.M.A. Cottonseed cake as a substitute of soybean meal for goat kids. *Italian Journal of Animal Science*, 18:1, 124-133, 2019.

Azevêdo, J.A.G.; Souza, L.L.; Salt, M.P.F.; Nascimento, L.S.; Almeida, F.M.; Pereira, L.G.R.; Almeida, V.V.S. Substituição do milho pela silagem de jaca em dietas para cordeiros confinados. *Semina: Ciências Agrárias*, 36:1599-1608, 2015.

Bandeira, P.A.V.; Filho, J.M.P.; Silva, A.M.A.; Cezar, M.F.; Bakke, O.A.; Silva, U.L.; Borburema, J.B.; Bezerra, L.R. Performance and carcass characteristics of lambs fed diets with increasing levels of *Mimosa tenuiflora* (Willd.) hay replacing Buffel grass hay. *Tropical animal health and production*, 49:1001-1007, 2017.

Bastos, M.P.V.; Carvalho, G.G.P.D.; Pires, A.J.V.; Silva, R.R.D.; Carvalho, B.M.A.D.; Brandão, K.C.; Maranhão, C.M.D.A. Impact of total substitution of corn for soybean hulls in diets for lambs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44:83-91, 2015.

Beserra, L.T. Casca de mamona em dietas para ovinos de corte. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal do Ceará, 81 p, 2010.

Bezerra, H.; Santos, E.; Oliveira, J.; Carvalho, G.; Silva, F.; Cassuce, M.; Perazzo, A.; Zanini, A.; Pinho, R. Performance and ruminal parameters of boer crossbred goats fed diets that contain crude glycerin. *Animals*, 9:967, 2019.

Brito Neto, A.S. *Exigências de energia para manutenção e ganho de peso de fêmeas Santa Inês e equações para predição do peso de carcaça, peso de corpo vazio, ganho de peso de corpo vazio e energia retida*. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

Cabral, I.S.; Azevedo, J.A.G.; Almeida, F.M.; Pereira, L.G.R.; Araújo, G.G.L.; Souza, L.L.; Oliveira, G.A.; Filho, C.A.A. O. Silage or fresh by-product of peach palm as roughage in the feeding of lambs. *Tropical animal health and production*, 47:525-531, 2015.

Caldas, A.C.; Filho, J.P.; Menezes, D.; Cavalcante, I.; Fernandes, J.; Oliveira, J.; Oliveira, R.; Moura, J.F.; Bezerra, L. Tannins from Mimosa tenuiflora in the diet improves nutrient utilisation, animal performance, carcass traits and commercial cuts of lambs. *Animal Production Science*, 61:1373-1384, 2021.

Campos, F.S.; Carvalho, G.G.P.; Santos, E.M.; Araújo, G.G.L.; Gois, G.C.; Rebouças, R.A.; Leão, A.G.; Santos, S.A.; Oliveira, J.S.; Leita, L.C.; Araújo, M.L.G.M.L.; Cirne, L.G.A.; Silva, R.R.; Carvalho, B.M.A. Influence of diets with silage from forage plants adapted to the semi-arid conditions on lamb quality and sensory attributes. *Meat science*, 124:61-68, 2017.

Costa, M.R.G.F.; Pereira, E.S.; Silva, A.M.A.; Paulino, P.V.R.; Mizubuti, I.Y.; Pimentel, P.G.; Pinto, P.G.; Junior, J.N.R. Body composition and net energy and protein requirements of Morada Nova lambs. *Small Ruminant Research*, 114:206-213, 2013.

Diogênes, L.V.; Bezerra, L.; Filho, J.P.; Silva, J.S.; Oliveira, J.; Moura, J.; Barbosa, A.; Souza, M.; Sousa, S.; Pereira, E.; Oliveira, R. Effects of the dietary inclusion of buriti oil on lamb performance, carcass traits, digestibility, nitrogen balance, ingestive behavior and blood metabolites. *Animals*, 10:1973, 2020.

Fernandes, M.H.M.R.; Resende, K.T.D.; Tedeschi, L.O.; Fernandes Jr, J.S.; Silva, H.M.; Carstens, G.E.; Berchielli, T.T.; Teixeira, I.A.M.A.; Akinaga, L. Energy and protein requirements for maintenance and growth of Boer crossbred kids. *Journal of animal science*, 85:1014-1023, 2007.

Ferreira, A.C.D.; Yáñez, E.A.; Medeiros, A.N.; Resende, K.T.; Filho, J.M.P.; Fernandes, M.H.M.R.; Almeida, A.K.; Teixeira, I.A.M.A. Protein and energy requirements of castrated male Saanen goats. *Small Ruminant Research*, 123:88-94, 2015.

Ferreira, J.C.S. *Características da carcaça de ovinos Soinga e mestiços alimentados com a palma forrageira miúda e orelha de elefante mexicana*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal Rural de Pernambuco, 58 p, 2017.

Figueiredo, F.O.M.; Leite, R.F.; St Pierre, N.R.; Resende, K.T.; Almeida, A.K.; Souza, A.P.; Teixeira, I.A.M.A. Energy and protein requirements of weaned male and female Saanen goats. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101:1014-1025, 2017.

Gomes, F.H.T.; Cândido, M.J.D.; Carneiro, M.S.D.S.; Furtado, R.N.; Pereira, E.S. Consumo, comportamento e desempenho em ovinos alimentados com dietas contendo torta de mamona1. *Revista Ciência Agronômica*, 48:182-190, 2017.

Guimarães, G.S.; Azevedo, J.A.G.; Cairo, F.C.; Silva, C.S.; Souza, L.L.; Santos Nunes, F.S.; Carvalho, G.G.P.; Araújo, G.G.L.; Silva, R.R. Proportions of concentrate and rehydrated ground grain corn silage at different storage times for better use of starch by lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 54:297, 2022.

Herbster, C.J.L. *Exigências nutricionais de energia e predição do consumo de água em ovinos deslanados*. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

Lima, V.H.C.; Urbano, S.A.; Ferreira, M.A.; Ribeiro, P.H.C.; Bezerra, J.G.; Chagas, J.C.C.; Aguiar, E.M.; Rangel, A.H.N. Sugarcane bagasse or elephant grass hay in diets for goats: Performance, feeding behavior and carcass characteristics. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 35:49-59, 2022.

Magalhães, T.S. *Caroço de algodão integral ou moído e quitosana em dietas para cordeiros*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal da Bahia, 114 p, 2018.

Nascimento, C.D.O.; Santos, S.A.; Pina, D.D.S.; Tosto, M.S.L.; Pinto, L.F.B.; Eiras, D.N.; Assis, D.Y.C.; Perazzo, A.F.; Araújo, M.L.G.M.L.; Azevedo, J.A.G.; Mourão, G.B. Effect of roughage-to-concentrate ratios combined with different preserved tropical forages on the productive performance of feedlot lambs. *Small Ruminant Research*, 182:15-21, 2020.

Nicory, I.M.C.; Carvalho, G.G.P.; Ribeiro, O.L.; Santos, S.A.; Silva, F.F.; Silva, R.R.; Lopes, L.S.C.; Souza, F.N.C.; Freitas Jr, J.E. Productive and metabolic parameters in lambs fed diets with castor seed meal. *Livestock Science*, 181:171-178, 2015.

- Nobre, I.S.; Araújo, G.G.L.; Santos, E.M.; Carvalho, G.G.P.; Souza, B.B.; Ribeiro, O.L.; Turco, S.H.N.; Cavalcante, A.B.; Albuquerque, I.R.R. Comportamento ingestivo e termorregulação em ovinos alimentados com silagem de palma forrageira submetidos a oferta intermitente de água. *Semina: Ciências Agrárias*, 39:1683–1694, 2018.
- Nogueira, A. S. Torta de Licuri na alimentação de ovinos. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal de Viçosa, 89 p, 2013.
- Oliveira, A.P.; Pereira, E.S.; Pinto, A.P.; Silva, A.D.A.; Carneiro, M.D.S.; Mizubuti, I.Y.; Ribeiro, E.L.A.; Campos, A.C.N.; Gadelha, C.R.F. Estimates of nutritional requirements and use of Small Ruminant Nutrition System model for hair sheep in semiarid conditions. *Semina: Ciências Agrárias*, 35:1985-1997, 2014.
- Oliveira, F.A.; Carvalho, G.G.P.; Assis, D.Y.C.; Oliveira, R.J.F.; Nascimento, C.O.; Tosto, M.S.L.; Pina, D.S.; Santos, A.V.; Rufino, L.M.A.; Azevedo, J.A.G.; Eiras, C.E.; Carvalho, B.M.A. Quantitative and qualitative traits of carcass and meat of goats fed diets with cactus meal replacing corn. *Tropical animal health and production*, 51:589-598, 2019.
- Oliveira, G.A. Cordeiros de três classes sexuais alimentados individualmente ou em grupo. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 83 p, 2014.
- Palmieri, A.D.; de Carvalho, G.G.P.; Tosto, M.S.L.; Leite, V.M.; Santos, S.A.; Borja, M.S.; Almeida Rufino, L.M. Nutritional and productive performance of goats kids fed diets with detoxified castor meal. *Animal Feed Science and Technology*, 216:81-92, 2016.
- Perazzo, A.F.; Neto, S.D.P.H.; Ribeiro, O.L.; Santos, E.M.; de Carvalho, G.G.P.; da Silva Oliveira, J.; Pinho, R.M.A. Correlações entre consumo, digestibilidade e desempenho com o comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com dietas contendo feno de capim-buffel amonizado. *Semina: Ciências Agrárias*, 37:1551-1564, 2016.
- Pereira, E.S.; Fontenele, R.M.; Silva, A.M.; Oliveira, R.L.; Ferreira, M.R.; Mizubuti, I.Y.; Carneiro, N.S.S.; Campos, A.C.N. Body composition and net energy requirements of Brazilian Somali lambs. *Italian Journal of Animal Science*, 13:3583, 2014.
- Pereira, T.C.D.J.; Pereira, M.L.A.; Carvalho, G.G.P.; Silva, H.G.D.O.; Santos, A.B.; Pina, D.S.; Sousa, L.B. Creatinine as a Urinary Marker of the Purine Derivatives Excretion in Urine Spot Samples of Lambs Fed Peach Palm Meal. *Animals*, 12:1195, 2022.
- Ramos, R.C.S. Torta de Dendê em dietas de alto grão para ovinos confinados. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2020.
- Regadas Filho, J.G.L.; Pereira, E.S.; Pimentel, P.G.; Villarroel, A.B.S.; Medeiros, A.N.; Fontenele, R.M. Body composition and net energy requirements for Santa Ines lambs. *Small Ruminant Research*, 109:107-112, 2013.
- Ribeiro, J.S.; Santos, L.L.; Lima Júnior, D.M.; Mariz, T.M.A.; Ladeira, M.M.; de Azevedo, P.S.; Lima, C.B.; Silva, M.J.M. Spineless cactus associated with Tifton hay or sugarcane bagasse may replace corn silage in sheep diets. *Tropical Animal Health and Production*, 49:995-1000, 2017.
- Ribeiro, R.D.; Carvalho, G.G.; Silva, T.M.; Costa, J.B.; Bezerra, L.R.; Cambuí, G.B.; Barbosa, A.M.; Oliveira, R.L. Effects of crude glycerin from biodiesel on the diets of lambs: intake, digestibility, performance, feeding behavior, and serum metabolites. *Journal of Animal Science*, 96:1952-1961, 2018.
- Rodrigues, T.C.D.C.; Freitas, P.M.; Santos, E.M.; Araújo, G.G.; Pires, A.J.; Ayres, M.C.; Carvalho, L.M.; Souza, J.G.; de Carvalho, G.G. Effects of ammoniated pearl millet silage on intake, feeding behavior, and blood metabolites in feedlot lambs. *Tropical animal health and production*, 51:2323-2331, 2019.
- Rodrigues, T.C.G.C.; Santos, S.A.; Cirne, L.G.A.; Pina, D.S.; Alba, H.D.R.; de Araújo, M.L.G.M.L.; Silva, P.W.; Nascimento, C.O.; Rodrigues, C.S.; Tosto, M.S.L.; Carvalho, G.G.P. Palm kernel cake in high-concentrate diets for feedlot goat kids: Nutrient intake, digestibility, feeding behavior, nitrogen balance, blood metabolites, and performance. *Tropical Animal Health and Production*, 53:1-11, 2021.
- Santos, A.B.; Pereira, M.L.A.; Silva, H.G.O.; Carvalho, G.G.P.; Pereira, T.C.J.; Ribeiro, L.S.O.; Silva, M.G.C.P.C.; Sousa, L.B.; Azevedo, J.A.G.; Sousa, L.B.; Alencar, D.O. Intake, digestibility and performance of lambs fed diets containing peach palm meal. *Tropical Animal Health and Production*, 48:509-515, 2016.
- Santos, A.C.P.; Santos, E.M.; Carvalho, G.G.P.; Pinto, L.F.B.; Pina, D.S.; Perazzo, A.F.; Oliveira, J.S.; Mourão, G.B.; Nascimento, T.V.C.; Cruz, G.F.L. Productive and metabolic parameters, carcass and meat characteristics of lambs fed sorghum silage treated with urea and *Lactobacillus buchneri*. *Livestock Science*, 251:104603, 2021.

Santos, A.C.S.; Santos, S.A.; Carvalho, G.G.P.; Mariz, L.D.S.; Tosto, M.; Filho, S.C.V.; Azevedo, J.A.G. A comparative study on the excretion of urinary metabolites in goats and sheep to evaluate spot sampling applied to protein nutrition trials. *Journal of Animal Science*, 96:3381-3397, 2018.

Santos, I.A. Proporções de forragem em dietas para cordeiros confinados. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 42 p, 2021.

Silva, A.M.A.; Santos, E.M.; Filho, J.M.P.; Bakke, O.A.; Neto, S.G.; Costa, R.G. Body composition and nutritional requirements of protein and energy for body weight gain of lambs browsing in a tropical semiarid region. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:210-216, 2010.

Silva, J.F.S.; Souza, M.T.C.; Vieira, M.S.B.; Praxedes, R.F.; Almeida, V.V.S.; Oliveira, A.C.; Rangel, A.H.N.; Carvalho, F.F.R.; Lima Junior, D.M. The replacement of grass hay by cassava foliage hay or spineless cactus improves lamb performance. *Tropical Animal Health and Production*, 52:1623-1630, 2020a.

Silva, J.K.B.D.; Araújo, G.G.L.D.; Santos, E.M.; Oliveira, J.S.D.; Campos, F.S.; Gois, G.C.; Silva, T.S.; Matias, A.G.S.; Ribeiro, O.L.; Perazzo, A.F.; Zanini, A.M. Performance of lambs fed total feed silage based on cactus pear. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13:19-31, 2022.

Silva, L.F. Substituição do concentrado por níveis crescentes de silagem de gliricídia na alimentação de cordeiros. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Sergipe, 39 p, 2012.

Silva, L.O.; Carvalho, G.G.P.; Tosto, M.S.L.; Lima, V.G.O.; Cirne, L.G.A.; Pina, D.S.; Santos, S.A.; Rodrigues, C.S.; Aures, M.C.C.; Azevedo, J.A.G. Digestibility, nitrogen metabolism, ingestive behavior and performance of feedlot goats fed high-concentrate diets with palm kernel cake. *Livestock Science*, 241:104226, 2020b.

Silva, R.V.M.M.; de Carvalho, G.G.P.; Pires, A.J.V.; Pereira, M.L.A.; Pereira, L.; Campos, F.S.; Perazzo, A.F.; de Araújo, M.L.G.M.L.; Nascimento, C.O.; Santos, S.A.; Tosto, M.S.L.; Rufino, M.L.A.; de Carvalho, B.M.A. Cottonseed cake in substitution of soybean meal in diets for finishing lambs. *Small Ruminant Research*, 137:183-188, 2016.

Silva, W.P.; Santos, S.A.; Cirne, L.G.A.; Pina, D.S.; Alba, H.D.R.; Rodrigues, T.C.G.C.; Araújo, M.L.G.M.L.; Lima, V.G.O.; Galvão, J.M.; Nascimento, C.O.; Rodrigues, C.S.; Carvalho, G.G. Carcass characteristics and meat quality of feedlot goat kids fed high-concentrate diets with licury cake. *Livestock Science*, 244:104391, 2021.

Souza, L.L. Níveis de proteína bruta em dietas para cordeiros confinados. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 77 p, 2016.

Souza, L.L.; Azevêdo, J.A.G.; Araújo, G.G.L.; Cruz, C.L.; Cabral, I.S.; Almeida, F.M.; Oliveira, G.A.; Oliveira, B.S. Crude glycerin for Santa Inês and F1 Dorper× Santa Inês lambs. *Small Ruminant Research*, 129:1-5, 2015.

Teixeira, I.A.M.A.; Fernandes, M.H.M.R.; Filho, J.P.; Canesin, R.C.; Gomes, R.A.; Resende, K.T. Body composition, protein and energy efficiencies, and requirements for growth of F1 Boer× Saanen goat kids. *Journal of Animal Science*, 95:2121-2132, 2017.

3

Predição do valor energético de alimentos e dietas para ovinos e caprinos

*Stefanie Alvarenga Santos, Gleidson Giordano Pinto de Carvalho,
José Augusto Gomes Azevedo, Elzania Sales Pereira, Manuela Silva Libânio Tosto,
Henry Ruiz Daniel Alba e Cláudia Horne da Cruz*

APRESENTAÇÃO

Um dos desafios na nutrição de precisão para ruminantes é a determinação do valor energético disponível nos alimentos utilizados na formulação ou mesmo na energia disponível a partir da dieta. Os sistemas de determinação da energia baseados nas perdas ao longo dos processos de digestão e metabolismo são essenciais para mensuração fidedigna dos valores calóricos de dietas em situações experimentais.

Entretanto, esses sistemas têm pouca aplicabilidade no campo, cujos técnicos e pecuaristas demandam por valores energéticos já preestabelecidos para utilização nas formulações do dia a dia da produção animal. Assim, é de suma importância que se possa determinar o valor energético de alimentos e dietas utilizando-se de premissas simples, a exemplo da composição química dos alimentos.

Tendo em vista que a digestão representa a maior variabilidade no sistema de predição da energia dos alimentos, a aplicação de sistemas de predição de nutrientes digestíveis pode auxiliar como ferramenta prática e acessível ao técnico e ao pecuarista na determinação da energia disponível nas dietas.

INTRODUÇÃO

A ausência de modelos de predição do valor energético de alimentos para caprinos e ovinos no Brasil é uma importante lacuna a ser preenchida para aprimorar as atividades de formulação de dietas precisas e eficientes para estas espécies. Com a publicação do NRC (2001), os nutrientes digestíveis totais (NDT) da dieta de bovinos foram estimados a partir de sua composição química, adotando-se uma série de equações nas quais as frações digestíveis dos nutrientes foram obtidas separadamente e posteriormente somadas.

Há alguns anos atrás, em condições tropicais, Detmann *et al.* (2006a; 2006b; 2006c; 2007, 2008) desenvolveram e validaram submodelos matemáticos visando à predição das frações aparentemente digestíveis da proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN) e carboidratos não-fibrosos (CNF), como base para a estimativa de NDT. Seu sistema foi constituído diretamente da composição nutricional da dieta, da digestibilidade dos nutrientes individuais e de uma estimativa da contribuição metabólica fecal.

Com base no sistema de equações existente para bovinos, percebe-se uma lacuna nesse tipo de informação para pequenos ruminantes alimentados em condições tropicais. Atualmente, não há modelo de estimativa de NDT para dietas de pequenos ruminantes; em vez disso, uma adaptação de equações para bovinos é normalmente utilizada.

Sendo assim, o processo preditor que considera a soma das frações digestíveis dos alimentos é uma ferramenta importante no estudo das perdas energéticas da digestão e, consequentemente, da predição do conteúdo disponível para absorção. Dessa forma, a soma das frações digestíveis da PB, EE, FDN e CNF, denominada NDT pode ser utilizada na predição de energia dos alimentos.

Mesmo havendo limitações nessa técnica, sabe-se que no dia a dia da produção animal existe grande dificuldade na utilização de sistemas mais refinados, como a energia líquida (ELiq), que consiste na determinação de todas as perdas energéticas durante o metabolismo, inclusive do incremento calórico, ou efeito “calorigênico” do alimento (Kleiber, 1961).

A energia contida nos alimentos e mensurada na forma de calorias é um atributo quantificado a partir da bomba calorimétrica.

Nesse processo, é possível conhecer os valores de energia bruta (EB). Entretanto, a energia que realmente será utilizada pelos animais será disponibilizada após uma série de perdas ao durante o processo de digestão e metabolismo.

Considerando toda a variabilidade das perdas energéticas, a predição do conteúdo energético de determinada dieta torna-se um desafio, visto que a interação entre ingredientes pode modificar os padrões de digestão e passagem no rúmen, o que causa alterações no teor energético dos alimentos e das dietas.

Neste contexto, a obtenção do valor de energia líquida determina quanto estará disponível para o animal para deposição de tecidos ou produção de leite ou realização de trabalho, somado ao gasto calórico despendido na produção de calor.

Entretanto, a obtenção desta estimativa é um processo oneroso, que demanda protocolo experimental na determinação de todas as etapas de perdas energéticas, que diferem em função do alimento e da dieta utilizada.

Entre as perdas que são contabilizadas até a determinação da energia líquida estão as perdas de material não digerido nas fezes, metabólitos urinários, metano perdido por eructação e o incremento calórico, que representa a energia extra despendida a partir do consumo de alimentos.

Portanto, em comparação com a estimativa da ELiq dos alimentos, a utilização do NDT é uma alternativa que facilita a predição de energia. Além disso, a predição do NDT permite que se calcule os valores de energia metabolizável da dieta (EM) mediante o uso de fatores de conversão.

Como desvantagens, o NDT não contabiliza as perdas metabólicas, o incremento

calórico, superestima valores para alimentos de baixa digestibilidade e subestima valores para alimentos de alta digestibilidade (Weiss, 1998). Além disso, este tipo de aplicação é indicado para predição do NDT apenas para dietas fornecidas para atender pelo menos a manutenção (Weiss *et al.*, 1992).

Mesmo assim o sistema NDT é mais utilizado no Brasil, visto que sua mensuração é muito comum em experimentos nacionais, o que gera um amplo banco de dados, ao passo que o que se encontra disponível para pesquisar por valores de ELiq dos alimentos é muito restrito, bem como focam em alimentos utilizados em países de clima temperado.

Além disso, no Brasil, existem variações sazonais que impactam no valor energético dos alimentos (Paulino *et al.* 2014), o que tornaria o sistema de energia líquida ainda mais oneroso, visto que necessitaria ser repetido, por exemplo, para gramíneas em diferentes fases de crescimento e estação edafoclimáticas.

Ao contrário do Brasil, os sistemas americano e europeu trabalham com pouca variedade de forragens, pouca variabilidade na composição química e poucos subprodutos, o que torna mais fácil a aplicação do sistema de ELiq.

Dessa forma, o objetivo deste capítulo foi apresentar um conjunto de equações somativas para predição dos nutrientes digeríveis totais de alimentos e dietas para ovinos e caprinos.

PARTIÇÃO DA ENERGIA DOS ALIMENTOS

A energia dos alimentos para animais é obtida por diversas frações que são calculadas

após se considerar as perdas que ocorrem ao longo do processo digestivo e metabólico. A energia contida nos alimentos é a EB, que, ao ser ingerida, gerará perdas fecais de material não digerido.

A energia que é absorvida pelo trato digestório após as perdas fecais denomina-se energia digestível (ED). A energia que é absorvida no intestino passará por processos metabólicos e haverá perda de compostos nitrogenados na urina.

Além destes, os animais ruminantes apresentam perda de energia química na produção de gases, principalmente de metano, durante a degradação dos carboidratos no rúmen. A energia remanescente após essas perdas é denominada EM, disponibilizada para processos catabólicos (produção de calor) e anabólicos (síntese de tecidos e produtos).

A subtração da energia desprendida na produção de calor a partir da EM, denomina-se ELiq, e, assim, representa a energia que será retida pelo animal. O sistema de predição baseado na digestibilidade dos nutrientes, identificado pelo NDT e suas variações, ainda é o mais utilizado na maioria dos sistemas de determinação de energia dos alimentos.

Embora esta estimativa ainda conte-nha possíveis perdas que ocorrerão pelo metabolismo, a obtenção destes valores é mais simples e de frequente mensuração em experimentos no Brasil. Dessa forma, existe um amplo banco de dados com esses estudos disponíveis para realização de abordagens meta-analíticas.

Por outro lado, apesar de a ELiq ser mais fidedigna, sua determinação demanda o uso de equipamentos de muito alto custo para compra e manutenção, sendo de pouca acessibilidade no âmbito nacional.

Energia Bruta

A energia é um atributo nutricional mensurado por meio do calor de combustão (calorias) de um determinado alimento. O calor de combustão pode ser mensurado a partir de bomba calorimétrica, que tem como princípio básico a combustão controlada de uma amostra de alimento por um processo de ignição na presença do oxigênio.

O sistema de combustão fica imerso em um compartimento com uma massa conhecida de água, que se aquece ao longo do processo de combustão. A alteração da temperatura da água é utilizada para o cálculo das calorias do alimento. Sabe que 1 caloria é a quantidade de energia necessária para aumentar a temperatura da 1 g água de 14,5° para 15,5° célsius.

No século XVIII, os cientistas franceses Lavoisier e Laplace construíram o primeiro calorímetro capaz de mensurar a energia desprendida por um animal em repouso. De forma rudimentar, utilizavam um recipiente com circulação de ar, envolto por gelo e um isolante térmico.

Estes cientistas demonstraram que o animal é capaz de gerar 80 calorias para derreter 1 g de gelo, bem como observaram que, em 10h, um porquinho-da-índia gerou calor responsável para derreter 370 g de gelo, o que equivaleria ao final 29,6 kcal de produção de calor (Kleiber, 1961).

Essa mesma premissa científica ainda é utilizada, portanto, na determinação da energia disponível nos alimentos a partir do processo de combustão em bomba calorimétrica, e, a esse valor, dá-se o nome de EB. Dessa forma a energia bruta dos alimentos é aquela disponível sem que se considere

qualquer perda inerente ao processo digestivo e metabólico dos animais.

Energia Digestível

A primeira perda gerada a partir da ingestão da EB será a perda fecal de nutrientes não digeridos. Para a determinação destas perdas é necessária a condução de ensaio de digestibilidade, em que se determina o consumo de cada nutrientes e o excreção total. Obtém-se o teor de nutrientes digeridos. O ensaio de digestibilidade é um procedimento rotineiro nos estudos que envolvem a nutrição de ruminantes, principalmente aqueles que realizam avaliação de alimentos e estimativa das exigências nutricionais.

Entretanto, para condução de estudo apenas com esta finalidade, sabe-se que é necessário contemplar o período de adaptação às dietas teste, principalmente quando há alteração significativa no tipo de dieta que será testado. Recomenda-se pelo menos 14 dias de adaptação anteriormente às coletas para que se possa alcançar satisfatoriamente o estado estacionário da excreção de nutrientes a partir de determinada dieta (Machado *et al.*, 2016).

Assim, é grande o banco de dado relativo a ensaios de digestibilidade que envolvem diferentes alimentos para caprinos e ovinos. Tanto os estudos que englobam a coleta total de fezes quanto aqueles que se utilizam de indicadores internos e externos podem ser utilizados para determinação da digestibilidade dos nutrientes.

Embora existam poucos estudos, já existem recomendações para uso de indicadores internos e externos em ensaios de digestibilidade para pequenos ruminantes (Reis *et al.*, 2017 e Silva *et al.*, 2021). Assim, há algumas recomendações para utilização de

indicadores internos em ensaios de digestibilidade que serão discutidas em seguida.

Para acessar o valor calórico digerido, também chamado de ED, é necessário se determinar a quantidade de calorias que será perdida a partir de cada nutriente. O BR-Caprinos & Ovinos utilizará o sistema somativo para determinação do NDT e da ED, com equações geradas a partir de dados obtidos com estas espécies.

Todo o conjunto de submodelos será detalhado no tópico seguinte. Já o sistema americano NASEM (2021) propôs um ajuste ao modelo de predição pelo NDT por meio da substituição da fração carboidratos não-fibrosos por outras duas considerando-se o amido digestível e a matéria orgânica residual (MOR), que, assim como o CNF, também são calculados por diferença.

Entretanto, o sistema não abandona o princípio de determinação do teor energético a partir dos nutrientes digestíveis. O que ocorre, na verdade, é uma subcategorização dos nutrientes para que se aumente a precisão das estimativas, calculando-se o teor de ED a partir das seguintes sub-frações: FDN, amido, MOR, ácidos graxos, proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não degradável no rúmen (PNDR).

Anteriormente, no NRC (2001), o NDT (%) era transformado em ED (Mcal/kg) a partir da multiplicação do fator 0,04409, derivado, portanto, do calor de combustão de cada nutriente (4,2 Mcal/kg para carboidratos em geral, 5,6 Mcal/kg para proteína, e 9,4 Mcal/kg para ácidos graxos).

Na sua versão mais recente o sistema (NASEM, 2021) utiliza também os calores de combustão 4,23 Mcal/kg para o amido, 9,4 Mcal/kg para os ácidos graxos, 4,0 Mcal/

kg da MOR, 4,2 kcal/kg para a FDN e 5,65 Mcal/kg para a PB, com correções para o teor de ureia.

A estimativa da ED no sistema BR-caprinos & ovinos é baseada no teor de carboidratos não-fibrosos como componente solúvel do carboidrato, e, assim, utilizou-se do fator de 0,04409 para conversão do NDT em ED.

Recomendações para a Estimativa da FDNi em Caprinos e Ovinos

A obtenção de estimativas de excreção fecal via coleta total de fezes, em ruminantes, constitui processo dispendioso, isto é, requer controle diário rigoroso da ingestão de alimentos e excreção total. Além disso, é necessária a adaptação dos animais a gaiolas e bolsas coletores, o que causa desconforto e interferência no comportamento dos animais.

Alternativamente, têm-se proposto métodos indiretos para estimativa de parâmetros de digestibilidade e excreção fecal, destacando-se entre esses o método dos indicadores, que apresenta vantagens sobre a coleta total de fezes pela simplicidade e conveniência de utilização.

Entre os indicadores internos utilizados em ensaios com ruminantes, destacam-se alguns componentes da fração fibrosa dos alimentos, como a fibra em detergente neutro indigestível (FDNi), a fibra em detergente ácido indigestível (FDAi) e a matéria seca indigestível (MSi).

Contudo, para que haja a obtenção destas frações por meio de procedimentos de incubação *in situ*, o tempo de incubação ruminal representa uma das variáveis de maior influência sobre a representatividade dos resíduos indigestíveis.

Por definição, a fração indigestível é representada por um comportamento assintótico, ou seja, representa a fração incapaz de ser aproveitada pelos sistemas enzimático e microbiano do animal, numa situação em que não há limitação do tempo de exposição do substrato ao meio (Mertens, 1993). Dessa forma, o valor real da fração indigestível somente poderia ser verdadeiramente mensurado em procedimentos conduzidos em escala de tempo suficiente para sua determinação.

Em termos práticos, os procedimentos *in situ* devem ser realizados com intervalo temporal relativamente elevado de forma que as estimativas obtidas para o resíduo indigestível se aproximem matematicamente do conceito assintótico. Assim, Huhtanen *et al.* (1994) sugeriram que períodos de incubação inferiores a 288 horas não permitem quantificar a fração indigestível da FDN.

Quanto aos bovinos que consomem forragens tropicais, Casali *et al.* (2008) propuseram 240 horas de incubação de MS e FDN para estimar MSi e FDNi e de 264 horas para estimar a FDAi em novilhas mestiças. Já Valente *et al.* (2011) concluíram que o tempo mínimo necessário para determinação destas frações deve ser de 288 horas. Entretanto, pouco ainda se conhece sobre os efeitos destes intervalos de tempo utilizados em espécies com menor volume ruminal, como caprinos e ovinos que consomem forragens tropicais.

De forma geral, os pesquisadores brasileiros ainda utilizam-se de técnicas adaptadas na determinação de FDNi como indicadores internos em amostras fecais e de dietas para caprinos e ovinos. É comum que se utilize a espécie bovina na obtenção dos valores da FDNi *in situ* devido a menor dificuldade de manutenção de bovinos fistulados.

Usualmente os bovinos são mais adaptados às cânulas e sofrem menos intercorrências que caprinos e ovinos, além disso proporcionam maior disponibilidade de volume ruminal para realização do procedimento de incubação. Dessa forma, a utilização de um bovino para o procedimento de incubação aumenta significativamente a capacidade de incubação em número de amostras simultâneas. Assim, reduz-se consideravelmente o tempo experimental.

Visando preencher esta lacuna, Reis *et al.* (2017), trabalharam com incubação *in situ* utilizando as espécies bovina e ovina, bem como pautaram-se em tempos de incubação de até 336 horas. Os resultados desta pesquisa mostraram que a FDNi resultante da incubação em bovinos foi associada a um tempo crítico menor, quando comparados aos ovinos. Uma vez que ambas as espécies receberam o mesmo número de sacos incubados no rúmen, os autores atribuíram parte desta diferença ao volume ruminal.

Desta forma, como não há coerência biológica na obtenção de valores diferentes de FDNi em função das espécies, alguns estudos determinaram qual o tempo crítico necessário para realização do protocolo em qualquer uma das espécies em uso, mesmo que a amostra fecal seja proveniente de ensaios com pequenos ruminantes.

De forma geral, Reis *et al.* (2017) observaram que, dentre as 16 amostras estudadas, apenas uma delas, a silagem de milheto, demandou tempo maior que 288 horas para obtenção da FDNi em bovinos (Figura 3.1). Esta realidade não foi reproduzida quando as mesmas amostras foram incubadas no rúmen de ovinos, sendo que muitas amostras demandaram tempos acima de 336 horas para determinação da FDNi.

Assim, o uso de bovinos pode facilitar o uso de indicadores internos em ensaios de digestibilidade com pequenos ruminantes, reduzindo o tempo necessário para conclusão da pesquisa, e o tempo de uso de animais fistulados. Além disso, há uma menor necessidade de manutenção de pequenos ruminantes fistulados no rebanho, que, normalmente, apresentam maior número de intercorrências pós-cirúrgicas e de manutenção da cânula.

O fenômeno biológico observado no estudo de Reis *et al.* (2017) pode ser descrito por meio de dois modelos exponenciais genéricos (Figura 3.2) que representem as duas espécies do estudo. O objetivo comum para determinação da FDNi é a estimativa do valor da assíntota da equação genérica descrita para cada alimento.

Dessa forma, o intervalo de confiança superior representa o tempo mais curto para obtenção da FDNi para cada alimento. A partir desta inferência teórica, e após ajuste dos modelos, Reis *et al.* (20017) não reco-

mendaram a obtenção de indicadores internos *in situ* em ovinos, devido ao elevado tempo de incubação para obtenção da fração não degradada de alimentos e fezes.

Apontou-se que os indicadores internos FDNi e FDAi de ensaios com ovinos podem ser obtidos a partir de 288 horas de incubação *in situ* em bovinos. Os autores também não recomendaram a FDAi como indicador interno quando a dieta possui alto teor de concentrado.

O Procedimento *in situ* pode ser executado utilizando-se de diferentes tecidos, como os sacos confeccionados com nylon ou com os do sistema Ankon, conhecidos como F57. Porém, uma das alternativas é a utilização do saco de TNT (Valente *et al.*, 2011), por apresentar menor custo. Outra variável que pode afetar os resultados de teor de FDNi pode ser o volume ruminal, que impacta diretamente na capacidade de número de sacos a serem incubados.

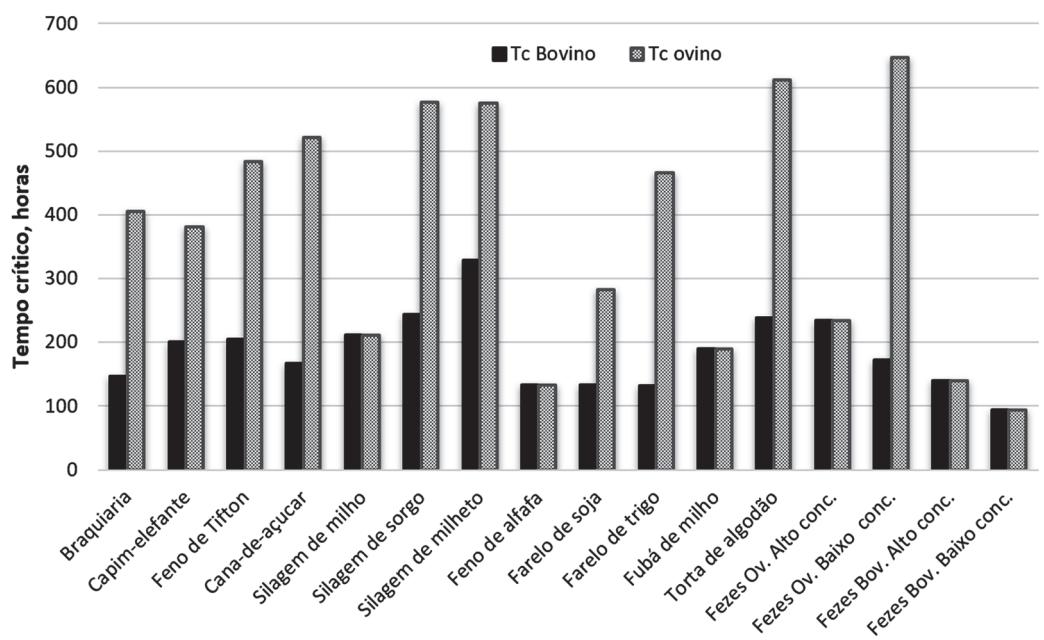


Figura 3.1 – Representação gráfica dos tempos críticos (horas) entre bovinos e ovinos para obtenção da FDNi em alimentos e fezes (Adaptado de Reis *et al.*, 2017).

O nylon já foi considerado saco padrão na técnica de incubação *in situ* (Nocek, 1985). Contudo, dados questionáveis foram relatados referentes a eficácia da utilização deste tipo de tecido no método para estimativa de resíduos indigestíveis (Casali *et al.*, 2009). Os sacos propostos pelo sistema Ankom são formados por fibra sintética insolúvel aos meios ácidos e neutro, referenciado como F57.

A implementação do F57 para análises do teor de fibra em alimentos poderia ser favorável, entretanto, um fator limitante a popularização do F57 é o seu elevado custo. Neste contexto surgiu como alternativa o tecido não-tecido (TNT), com gramatura 100 g/m².

Valente *et al.* (2011), em estudo que avaliou três tipos de sacos destinados a incubações *in situ*, concluíram que os sacos F57 (Ankon) e TNT promovem estimativas similares de compostos indigestíveis em

alimentos e fezes de bovinos. Já os sacos de náilon (50 µm) subestimaram as estimativas destes compostos.

Ademais, Santos (2021) investigou tipos de tecidos e número de sacos possíveis durante a incubação ruminal em ovinos para estimativa de indicadores internos. O autor avaliou um tempo total de incubação de 336 horas em ovinos, utilizando sacos F57 e TNT e não observou diferença nas estimativas de FDNi para silagem de sorgo, para milho moído e fezes de ovinos.

Além disso, não houve diferença nos valores de FDNi das mesmas amostras quando incubadas simultaneamente por 12, 24 e 36 sacos no rúmen de ovinos. Dessa forma, ainda existe a necessidade de se avaliar se maior número de sacos pode ser utilizado no rúmen de ovinos sem que haja alteração nos teores de FDNi, otimizando assim o processo de incubação.

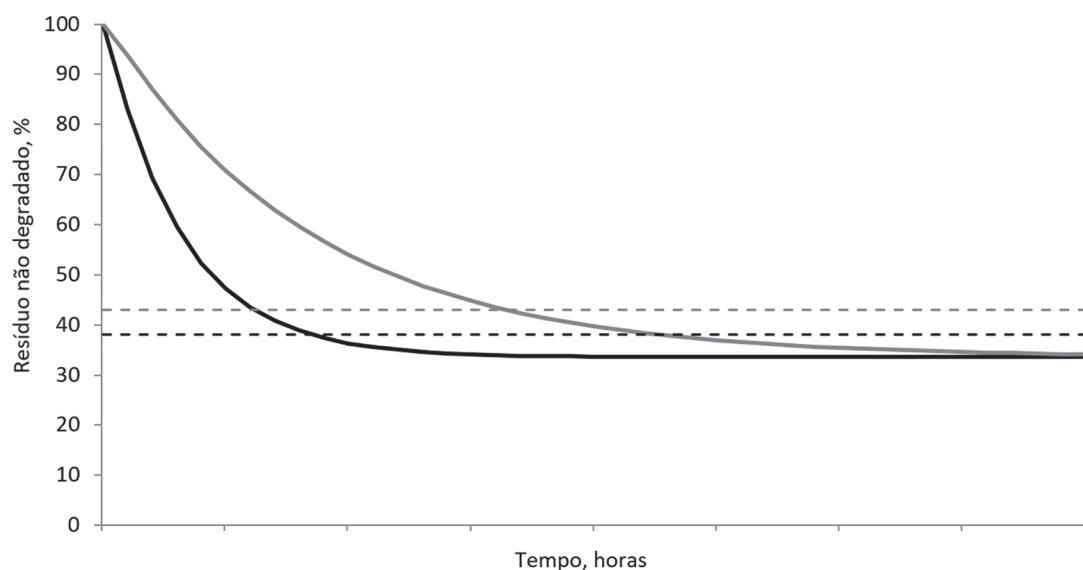


Figura 3.2 – Representações esquemáticas dos perfis esperados de resíduos não degradados de fibra em detergente neutro para diferentes alimentos, que foram ajustados exponencialmente ao longo do tempo para ovinos (—) e bovinos (—). As linhas tracejadas representam os limites superiores do intervalo de confiança assintótico a 95% para os parâmetros estimados para cada espécie. O tempo crítico (Tc) de cada fração indigestível foi estimado quando a linha tracejada cruzou sua respectiva linha contínua. (Adaptado de Reis *et al.*, 2017).

Energia Metabolizável

A EM é mensurada nos alimentos após a subtração das perdas na forma de energia química. A urina contém compostos nitrogenados incompletamente oxidados e os ruminantes apresentam perda de energia química na forma de metano. Em tese, o sistema de EM é capaz de predizer a quantidade de energia disponível para funções anabólicas, que representam a energia retida na forma de tecidos e produtos e para funções catabólicas quantificadas pela produção de calor (Kleiber, 1961).

Para estimativa da EM, o NASEM (2021) abandona a constante média de 0,82 para transformar ED em EM, ou mesmo a função linear $EM = (1,01 * ED) - 0,45$, e, assim, passa a utilizar estimativas específicas das perdas por gases e perdas urinárias, que serão descontadas da estimativa da ED final. As perdas por gases são calculas com base no consumo de matéria seca (CMS), nos teores de ácidos graxos e FDN digestível.

Já as perdas energéticas na urina são determinadas a partir do CMS e do teor de PB da dieta. Nessa modalidade de estimativa da EM, é necessário se determinar previamente o consumo de matéria seca esperado para os animais que receberão a dieta. Essa ferramenta pode ser útil para aumentar a precisão das estimativas de EM, entretanto, caso o CMS seja também estimado por modelo de predição, mais uma fonte de variação será inserida no modelo preditivo da energia da dieta.

Para conversão de ED em EM em bovinos de corte Zebuínos e cruzados, o BR-Corte (2023) utilizou-se de uma equação obtida em ensaio de balanço de energia realizado em câmara respirométrica com mensuração do metano entérico perdido na forma de gases (Borges *et al.*, 2016). Utiliza-se a regressão EM (Mcal/

kg) = $0,9455 \times ED - 0,30$ que gera valores similares aos obtidos por Galyean *et al.* (2016), tido como base para os sistemas americanos de avaliação energética para bovinos.

Teixeira *et al.* (2019), a partir de um trabalho meta analítico, identificaram que as perdas fecais médias em caprinos Saanen em crescimento são de 29,6% e as perdas urinárias são de 1,87% da EB consumida. No mesmo estudo, as perdas por gases foram em média 8,14% da EB. Estes autores relatam que as perdas fecais podem ser alteradas a partir de uma série de fatores, como dieta animal e outras manipulações que alterem o padrão fermentativo ruminal.

Já as perdas urinárias, que são principalmente contabilizadas a partir da ureia, estão sujeitas às variações na eficiência de uso do nitrogênio e sua reciclagem. Já as perdas por gases podem ser alteradas pelas variações na dieta, uso de aditivos, relação entre volumoso e concentrado e até mesmo pela metodologia utilizada para determinar esta fração.

Entretanto, os pesquisadores não identificaram efeito significativo da classe sexual dos caprinos na determinação destas perdas. Ao se aumentar o teor de concentrado de uma dieta, a eficiência de uso da EM aumenta devido à redução na produção de metano, redução da ruminação e diminuição do incremento calórico. Assim dietas com maior concentrado podem gerar menos perdas de nutrientes e maior eficiência energética.

Desta forma, considerando que a relação entre EM e ED podem variar, Teixeira *et al.* (2019) demonstraram que uso de uma constante, por exemplo de 0,82 como no NRC (2001), pode subestimar os valores de EM. Então os estudiosos propuseram uma relação linear para determinação desta relação EM:ED.

Teixeira *et al.* (2019) sugerem a seguinte equação: $EM \text{ (Mcal/dia)} = -0.0862 + 0.889 \times ED$, que será adotada pelo BR-Caprinos & Ovinos para determinação da EM para caprinos. Os valores preditos por este modelo variam entre 0,87 e 0,90, o que reforça a maior eficiência de caprinos e ovinos na redução de perdas na urina e por gases, em comparação aos bovinos.

Já Brito Neto *et al.* (2023) encontraram dados semelhantes para ovinos, uma vez que as perdas urinárias variaram entre 2,06 e 2,64% da EB consumida, e as perdas por gases ficaram entre 7,65 e 7,92% da EB consumida. Estes autores geraram a seguinte equação de predição $EM \text{ (MJ/dia)} = -0,1559 + 0.8503 \times ED$, que será adotada pelo BR-Caprinos & Ovinos para determinação da EM para ovinos.

Energia Líquida

O sistema de determinação de energia líquida dos alimentos, em tese, é capaz de prever a quantidade de energia disponível para o anabolismo, também chamada de energia retida. Para conversão da EM disponível em uma dieta para ELiq é necessária a mensuração do incremento calórico a partir desta dieta teste.

De acordo com Borges *et al.* (2016), para a mensuração do incremento calórico é necessário realizar teste em câmara respirométrica com animais tanto alimentados quanto em jejum. Para os animais em jejum, a mensuração das trocas gasosas ocorre após 48 horas de jejum de sólidos.

A diferença entre os valores obtidos a partir do animal alimentado e em jejum representam o incremento calórico. Este procedimento deve ser precedido do ensaio completo para mensurar o balanço energéti-

co, sendo que as coletas fecais e urinárias são requeridas para determinação prévia da EM.

O NRC (2001) utilizou a equação de Moe *et al.* (1972) para determinação da Eliq de lactação (EL_L) contida nos alimentos. Esta equação $EL_L = 0.703 \times DE - 0,19$ foi produzida a partir de um ensaio completo de balanço de energia, uma vez que os autores determinaram todas as perdas, inclusive a produção de calor, que foi determinada utilizando-se uma câmara respirométrica de circuito fechado.

Já a atualização no NASEN (2021) adotou o modelo de Moraes *et al.* (2015), que realizou estudo meta-analítico que partiu de dados também de ensaio de balanço de energia, e encontrou a eficiência média de 0,66 para conversão de EM em EL_L . Apesar de apresentar essa constante, o próprio sistema apresenta, em suas tabelas finais, valores de ED para os alimentos regulares do banco de dados. Demonstra que, de forma prática, os valores de ED são a base para determinação da EM e EL.

No Brasil ainda não há dados suficientes que apoiem o uso de estimativas da Eliq para valor energético de alimentos tropicais. Mesmo para bovinos existe escassez de dados com ensaios semelhantes aos realizados nos EUA.

SISTEMA SOMATIVO PARA DETERMINAÇÃO DOS NUTRIENTES DIGESTÍVEIS TOTAIS

Segundo Van Soest (1994), além do conhecimento da composição bromatológica dos alimentos, tem sido de suma importância determinar, também, a sua digestibilidade, aspecto que proporciona a obtenção do valor energético destes. Desta maneira, determi-

nações da digestibilidade têm contribuído, significativamente, para o desenvolvimento de sistemas, que visem descrever o valor nutritivo dos alimentos.

De forma alternativa aos métodos biológicos, que demandam tempo e recursos maiores, existe a alternativa de utilização da composição química dos alimentos como método de predição da digestibilidade em ruminantes, como sugerido por Weiss *et al.* (1992). Diante dessa perspectiva, o NRC (2001) sugeriu a adoção de um método com esse embasamento para estimar o teor de NDT dos alimentos para bovinos de leite a partir de um conjunto de equações somativas nas quais se considera cada uma das frações dos alimentos (PB, EE, CNF e FDN), utilizadas para determinar o teor de NDT.

Embora seja o sistema mais utilizado, esse conjunto de equações não tem apresentando eficiência de predição satisfatória quando aplicado a alimentos obtidos em condições tropicais, tornando as estimativas diferentes dos valores de fato observados (Rocha Jr. *et al.*, 2003; Costa *et al.*, 2005; Detmann *et al.*, 2006a; Detmann *et al.*, 2008; Chizzotti *et al.*, 2008; Azevêdo *et al.*, 2010).

Não há disponível uma avaliação do sistema clássico do NRC (2001) para caprinos e ovinos em condições tropicais. Entretanto, como a inadequação do sistema é verificada dentro da própria espécie de estudo, que são os bovinos, quando submetidos as condições brasileiras, é improvável que este sistema seja suportado para a predição do valor energéticos para espécies tão distintas como ovinos e caprinos.

Atualmente, submodelos destinados à predição das frações digestíveis da PB, EE, CNF e FDN foram desenvolvidos para bovinos e validados em condições tropicais (Detmann *et al.*, 2004; 2006a; 2006b; 2007).

A avaliação destes submodelos, mostrou-se mais eficaz em predizer o teor de NDT (Detmann *et al.*, 2008; Magalhães *et al.*, 2010), o que gerou uma alternativa à aplicação do modelo adotado pelo NRC (2001) para alimentos ou dietas ofertados a bovinos nos trópicos.

Todavia, nenhum dos sistemas de exigência utilizados para pequenos ruminantes apresenta equação similar de estimativa do valor energético ou do NDT, tão pouco em condições tropicais.

Da mesma forma que esse sistema somativo foi criado para bovinos, foi necessário desenvolver equações para predizer as frações digestíveis de CNF, EE, PB e FDN das dietas de pequenos ruminantes alimentados em condições tropicais, baseando-se na composição química dos alimentos, tendo como fonte de dados os experimentos realizados em Universidades brasileiras.

Equações de Predição do NDT para Ovinos e Caprinos em Condições Brasileiras

Todas as equações propostas neste sistema somativos foram desenvolvidas e previamente publicadas por Cruz *et al.* (2021). A base dos dados foi composta por 32 estudos com caprinos ($n = 11$) e ovinos ($n = 21$) conduzidos na Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Universidade Federal do Ceará e Universidade Estadual de Santa Cruz, entre 2013 e 2018.

Os detalhes e estatística descritiva dos dados podem ser consultados em Cruz *et al.* (2021). O banco de dados completo consegue animais das raças ovinas Santa Inês, mestiças Santa Inês x Dorper, e Santa Inês x SRD, e raças caprinas Boer, mestiças Boer x raças leiteiras, Saanen e Anglo-Nubiana.

Para elaboração dos modelos de previsão das frações digestíveis do EE, dos CNF e da PB foi utilizada como base a premissa da entidade nutricional ideal, também denominada teste de Lucas (Lucas; Smart, 1959). Neste modelo, a predição da digestibilidade pode ser conduzida utilizando-se de equações lineares.

Para verificar se determinado componente químico é uma entidade nutricional ideal, deve-se realizar o ajuste da regressão entre a quantidade de nutriente digestível em função da ingestão total do nutriente. Caso o ajuste confirme a característica linear desta relação, a inclinação da curva esteja próxima de 1 e o intercepto seja negativo, considera-se que o componente é uma entidade nutricional ideal.

Isso significa dizer que o nutriente ingerido tem digestibilidade constante, independentemente da quantidade presente na dieta. Para estes casos, o intercepto negativo significa que o nutriente teste possui uma fração metabólica fecal, ou seja, um componente de natureza endógena.

Os submodelos desenvolvidos para EE, PB e CNF seguiram o pressuposto baseado no teste de Lucas. Os dados coletados foram avaliados por meio de adaptação ao teste da entidade nutricional ideal com base em um ajuste de regressão linear simples, de acordo com o modelo:

$$Y_i = \beta X_i + \alpha + \varepsilon_i$$

onde: Y_i = Quantidade de EE, PB ou CNF aparentemente digeridos (g/dia); X_i = Ingestão de EE, PB ou CNF (g/dia); β = Coeficiente de digestibilidade verdadeiro; α = Fração metabólica fecal (g/dia); e ε_i = erro aleatório. Tanto EE quanto PB e CNF, no estudo de Cruz *et al.* (2021), foram consideradas entidades nutricionais ideais, pois atenderam as

condições necessárias para o intercepto e a inclinação. Dessa forma, foi implementada uma modificação no modelo para estudar o efeito da espécie, bem como foi utilizada uma variável binária para estudar esses efeitos.

Para todos os modelos ajustados não houve efeito das espécies, sendo que os nutrientes digestíveis para caprinos e ovinos podem ser estimados (Figuras 3.3, 3.4 e 3.5) utilizando-se os modelos a seguir:

Submodelo para EE Digestível

$$dEE = 0,9107 \times EE - 3,9885$$

onde: dEE = EE digestível, 0,9107 = estimativa do coeficiente de digestibilidade verdadeiro do EE, 3,9885 = estimativa da fração metabólica fecal do EE em ovinos e caprinos (g/dia).

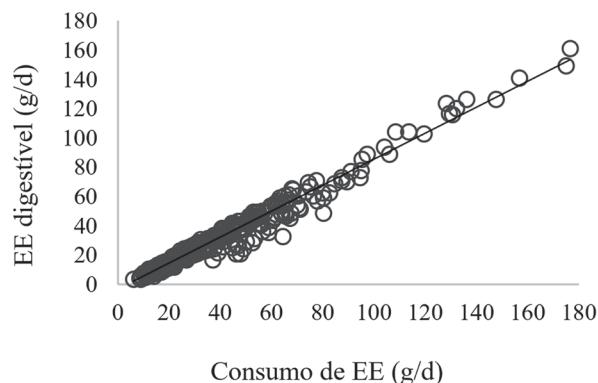


Figura 3.3 – Dados observados de extrato etéreo consumido e digerido por 353 animais, coletados em 16 experimentos com ovinos e caprinos consumindo forragem tropical.

Submodelo para CNF Digestível

$$dCNF = 0,9041 \times CNF - 28,2201$$

onde: $dCNF$ = CNF digestível, 0,9041 = estimativa do coeficiente de digestibilidade verdadeiro do CNF, 28,2201 = estimativa fração metabólica fecal do CNF em ovinos e caprinos (g/dia).

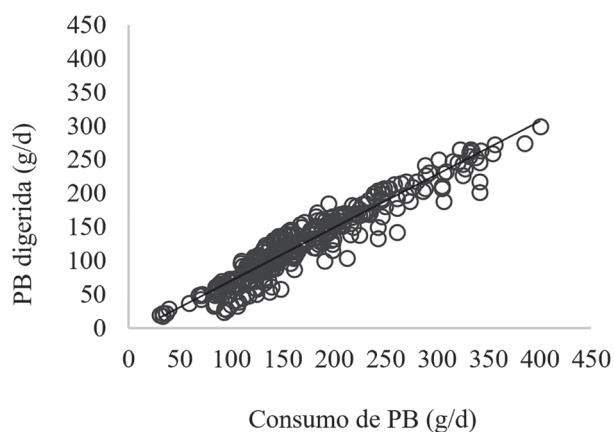


Figura 3.4 – Dados observados de carboidratos não-fibrosos consumidos e digeridos por 285 animais, coletados em 18 experimentos com ovinos e caprinos consumindo forragem tropical

Submodelo para PB Digestível

$$dPB = 0,7934 \times PB - 8,8040$$

onde: dPB = PB digestível, 0,7934 = estimativa do coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PB, 8,8040 = estimativa da fração metabólica fecal da PB em ovinos e caprinos (g/dia).

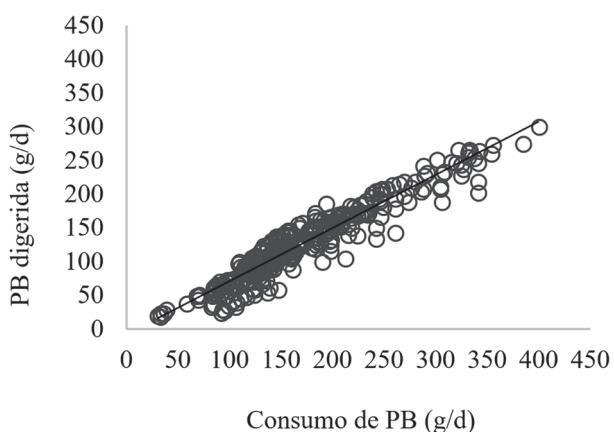


Figura 3.5 – Dados observados de proteína bruta consumida e digerida por 324 animais, coletados em 13 experimentos com ovinos e caprinos consumindo forragem tropical.

Para tornar essas equações utilizáveis para outras populações, as frações metabólicas fecais (FMF) foram convertidas em

porcentagem da dieta, que foi de 0,33; 3,22; e 0,44 % de MS, respectivamente, para EE, CNF e PB. Então, o valor total de FMF que pode ser usado para converter a digestibilidade verdadeira total em digestibilidade aparente total é de 4,0%, que representa a soma de todas as FMF dos nutrientes avaliados. O dEE, dCNF e dPB podem ser calculados em qualquer unidade que expresse os teores de EE, CNF e PB, como porcentagem.

A FDN foi analisada em duas abordagens (Figura 3.6). O primeiro modelo (abordagem 1) foi ajustado com uma reparametrização do modelo de Weiss (1992) baseado na lei de superfície (Kleiber, 1975). Para este modelo também não houve diferença entre as espécies e foi aplicada uma adaptação feita por Detmann *et al.*, (2004), na constante da relação entre lignina e FDN. Considerou-se a dieta baseada em forragens tropicais, conforme segue:

$$dFDN = \left\{ \begin{array}{l} 0,7646 \times (FDN - Lignina) + \\ + [1 - (Lignina \div FDN)^{0,85}] \end{array} \right\}$$

onde: dFDN = Fibra em detergente neutro digerida (g/dia); FDN = teor de FDN (g/kg MS); Lignina = Teor de lignina (g/kg MS); 0,7646 = parâmetro estimado para o coeficiente de digestibilidade da FDN potencialmente digestível (FDNpd) para ovinos e caprinos.

O valor de 0,667, anteriormente utilizado por Weiss (1992) e NRC (2001), foi substituído por 0,85, com base no trabalho de Detmann *et al.* (2004), que concluíram que este valor é adequado para a interação entre lignina e FDN de forrageiras tropicais. Essa relação em forrageiras tropicais, representada pelo valor 0,85 difere porque a proteção causada pela lignina na parede celular dessas forrageiras é mais fraca do que a adotada

pela lei de superfície, representada pelo valor 0,667 (Detmann *et al.*, 2004).

Para os modelos de FDN digestível não há distinção entre digestibilidade aparente e verdadeira, uma vez que este nutriente não apresenta contribuição metabólica fecal, o que também a exclui das condições determinadas para ser entidade nutricional de acordo com o teste de Lucas.

Outra avaliação (abordagem 2) foi realizada por meio da estimativa do coeficiente de digestibilidade da FDNpd, assumindo-se que esta fração pode ser calculada pela proporção da FDN ingerida que não foi excretada nas fezes, conforme segue:

$$FDN_{pd} = 1 - \frac{(FDN_F - iFDN_F)}{(FDN_c - iFDN_c)}$$

onde: FDN_F = fibra em detergente neutro excretada nas fezes (g/dia); $iFDN_F$ = fibra em detergente neutro indigestível excretada nas fezes (g/dia); FDN_c = Ingestão de fibra em detergente neutro (g/dia); $iFDN_c$ = Ingestão de fibra em detergente neutro indigestível (g/dia).

Para esta segunda abordagem foram gerados dois valores médios calculados para FDNpd, que representaram os β_1 para dietas de ovinos ($\beta_1 = 0,8139$) e caprinos ($\beta_1 = 0,7614$). Não houve diferença entre essas médias para espécie ($P = 0,96$), então, o valor médio pode ser usado para substituir β_1 (0,7877), formando-se a seguinte equação para abordagem 2:

$$dFDN = \left\{ 0,7877 \times (FDN - Lignina) + \right. \\ \left. + \left[1 - (Lignina \div FDN)^{0,85} \right] \right\}$$

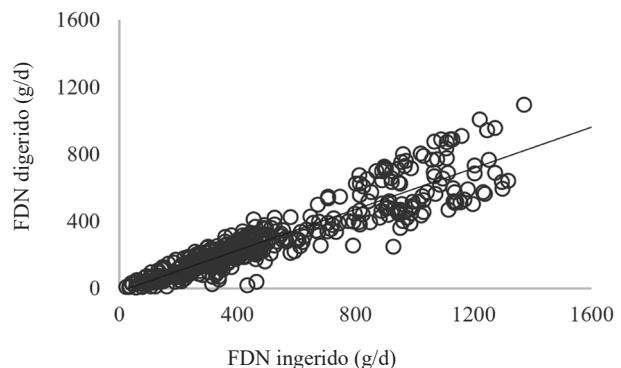


Figura 3.6 – Dados observados de Fibra em detergente neutro consumida e digerida por 260 animais, coletados em 10 experimentos com ovinos e caprinos consumindo forragem tropical.

Nota-se que entre as abordagens realizadas para determinação do FDNpq, foram obtidos valores próximos, sendo que o Sistema BR-Caprinos & Ovinos adota o valor da abordagem 2, em que a FDNpd = 0,7877, uma vez que este valor foi construído a partir de uma premissa mecanicista, em que os efeitos biológicos da digestão da FDN e excreção da FDNi foram considerados, sendo, portanto, mais adequada para as dietas contendo forragens tropicais.

Duas abordagens diferentes foram usadas para avaliar a digestibilidade da PB. A primeira (abordagem 1) já foi descrita acima, seguindo-se o princípio do teste de Lucas. Outra avaliação (abordagem 2) foi baseada na teoria de dois compartimentos, previamente utilizada para bovinos por Detmann *et al.* (2008).

Esta teoria bi-compartimental foi baseada nas diferenças da utilização ruminal e intestinal de compostos nitrogenados do conteúdo citoplasmático e da parede celular vegetal (Sniffen *et al.*, 1992; Van Soest, 1994), e baseada na teoria da lei de superfície (Kleiber, 1961), como segue:

$$PB_{ad} = PBCC_{ad} + PBPC_d$$

onde: PBad = PB aparentemente digerida (g/kg MS); PBCCad = PB aparentemente digerida a partir do conteúdo celular (g/kg MS); e PBPCd = PB digerida da parede celular (g/kg MS).

Segundo Detmann *et al.*, (2008), o PBP-Cd não deve receber o termo aparentemente digerido, pois esta fração não contribui com a FMF da PB. Este modelo adotou o pressuposto de que o primeiro compartimento (PBCCad) é completamente solúvel e que o segundo compartimento (PBPCd) é a proteína potencialmente digestível da parede celular.

Esses dois compartimentos foram decompostos da seguinte forma:

$$PBCC_{ad} = PB - PIDN$$

$$PBPC_d = PIDN - PIDA$$

onde: PB = teor de PB (g/kg MS); PIDN = proteína insolúvel em detergente neutro (g/kg MS); PIDA = proteína insolúvel em detergente ácido (g/kg MS).

Adotou-se 0,98 como coeficiente de digestibilidade para o primeiro compartimento relacionado ao conteúdo celular (Van Soest, 1994). Para o segundo compartimento relacionado à parede celular, o coeficiente de digestibilidade foi o mesmo estimado para FDNpd (0,7877). Assumiu-se que a PB da parede celular potencialmente digestível apresenta o mesmo padrão de degradação da FDNpd (Detmann *et al.*, 2008). A FMF foi a mesma estimada pela abordagem 1 (0,44%), gerando-se, então, a seguinte equação.

$$dPB = 0,98 \times (PB - PIDN) +$$

$$+ 0,7877 \times (PIDN - PIDA) - 0,44$$

onde: dPB = PB aparentemente digestível, 0,98 = coeficiente de digestibilidade do primeiro compartimento relacionado ao conteúdo celular, PIDN = proteína insolúvel em detergente neutro, 0,7877 = parâmetro estimado para coeficiente de digestibilidade da FDNpd, PIDA = proteína insolúvel em detergente ácido e 0,44 = fração metabólica fecal (% MS).

Assim, considerando as duas abordagens para PB, este sistema recomenda que ambas as equações podem ser utilizadas. Entretanto, deve-se considerar que, para utilização do modelo bi-compartimental deve-se necessariamente conhecer os valores de PIDN e PIDA, que não são rotineiramente avaliados em análises comerciais para avaliação de ingredientes.

Estes valores normalmente são obtidos em condições experimentais quando se realiza a análise da FDN corrigida para cinzas e proteína (FDNcp). Sendo assim, encontra-se maior facilidade na utilização da equação da primeira abordagem, em que apenas o conteúdo de PB do alimento deve ser conhecido para obtenção da PB digestível.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A soma dos nutrientes verdadeiramente digestíveis pode ser realizada para caprinos ou ovinos a partir dos seguintes submodelos: EEd (%) = [0,9107 × EE (%)]; CNFd (%) = 0,9041 × CNF (%); PBd (%) = 0,7934 × PB (%) ou PBd (%) = 0,98 × (PB - NIDN) + 0,7877 × (PIDN - PIDA); e FDNd (%) = {0,7877 × (FDN - Lignina) + [1 - (Lignina ÷ FDN)^{0,85}]}.

Dessa maneira, identificou-se que a conversão de nutrientes verdadeiramente di-

gestíveis para aparentemente digestíveis deve ser realizada pela subtração da constante – 4, sendo então o NDT calculado da seguinte forma: $NDT = EEd \times 2,25 + CNFd + PBd + FDNd - 4$.

Os modelos apresentados apresentam limitações pois o banco de dados utilizado para ajuste dos modelos ainda é escasso em informações de dietas predominantemente a base de concentrado ou dietas com alta

gordura. Além disso, ainda há escassez de dados para animais alimentados ao nível de manutenção.

Futuramente, deve-se investir no aprimoramento destes modelos tendo como base dietas com baixo ou alto concentrado, nível de alimentação e adição de gordura para que se proporcione ao usuário uma gama maior de opções de estimativas com elevada confiabilidade e exatidão.

RESUMO DE EQUAÇÕES

Cálculo da Proteína bruta aparentemente digestível:

$$PBad (\%) = 0,7934 \times PB (\%) - 0,44$$

$$PBad (\%) = 0,98 \times (PB (\%) - PIDN (\%)) + 0,7877 \times (PIDN (\%) - PIDA (\%)) - 0,44$$

Cálculo dos carboidratos não-fibrosos aparentemente digestíveis:

$$CNFad (\%) = 0,9041 \times CNF (\%) - 3,22$$

Cálculo do extrato etéreo aparentemente digestível:

$$EEad (\%) = 0,9107 \times EE (\%) - 0,33$$

Cálculo da fibra em detergente neutro digestível:

$$FDNd (\%) = \{0,7877 \times (FDN (\%) - Lignina (\%)) + [1 - (Lignina (\%) \div FDN (\%))]^{0,85}\}$$

Cálculo da energia digestível:

$$NDT (\%) = PBd + (EEd \times 2,25) + FDNd + CNFd - 4$$

$$ED (Mcal) = NDT (\%) \times 0,04409$$

Cálculo da energia metabolizável:

Caprinos: $EM \text{ (Mcal/dia)} = -0,0862 + 0,889 \times ED$ (Teixeira et al., 2019)

Ovinos: $EM \text{ (Mcal/dia)} = -0,1559 + 0,8503 \times ED$ (Brito Neto et al., 2023)

EXEMPLO DE CÁLCULO PARA UM ALIMENTO

Exemplo para Silagem de sorgo com a composição dada na tabela abaixo:

SILAGEM DE SORGO									
MS	MO	PB	EE	CNF	FDNcp	FDA	Lignina	PIDA	PIDN
29,76	93,59	6,45	2,53	26,02	58,59	31,27	5,1	0,93	2,37

Cálculo da Proteína bruta verdadeiramente digestível:

$$PBd \text{ (\%)} = 0,7934 \times 6,45 = 5,11$$

Cálculo dos carboidratos não-fibrosos verdadeiramente digestíveis:

$$CNFd \text{ (\%)} = 0,9041 \times 26,02 = 23,52$$

Cálculo do extrato etéreo verdadeiramente digestível:

$$EEd \text{ (\%)} = 0,9107 \times 2,53 = 2,30$$

Cálculo da fibra em detergente neutro digestível:

$$FDNd \text{ (\%)} = \{0,7877 \times (58,59 - 5,1) + [1 - (5,1) \div 58,59]^{0,85}\} = 43,01$$

Cálculo da energia digestível:

$$NDT \text{ (\%)} = [5,11 + 23,52 + (2,30 \times 2,25) + 43,01] - 4 = 72,8\%$$

$$ED \text{ (Mcal)} = 72,8 \times 0,04409 = 3,21 \text{ Mcal}$$

PROTOCOLO PARA DETERMINAÇÃO DA FDNI PARA CAPRINOS E OVINOS

- Utilizar saco de TNT 100 g/m², ou sacos Ankon F57 com densidade da amostra de 20 mg MS/cm²
- Utilizar incubação *in situ* em bovinos fistulados por 288 horas ou;
- Utilizar incubação *in situ* em ovinos fistulados por no mínimo 336 horas com limite de 36 sacos por animal simultaneamente.
- Outras recomendações que se aplicam a determinação da FDNi, realizadas pelo manual “Métodos para Análises de Alimentos (INCT-CA)”, por Detmann *et al.* (2021):
 - Relação entre volumoso e concentrado 80:20;
 - Nível de alimentação ad libtum;
 - Moagem das amostras a 2 mm;
 - Adaptar os animais a dieta basal por no mínimo 14 dias;

TABELAS DE VALOR ENERGÉTICO DE ALIMENTOS PARA OVINOS E CAPRINOS

	Fenos					
	Alfafa	Aveia	Braquiária brizantha	Braquiária decumbens	Coast cross	Tifton 85
MS	89.32	87.42	87.95	88.68	88.90	88.94
MO	88.38	91.82	93.30	93.26	92.91	92.20
PB	18.77	11.96	4.13	6.64	8.57	9.69
EE	2.85	1.77	1.22	1.77	1.48	1.55
CNF	23.77	27.93	8.82	6.64	10.14	9.92
FDNcp	42.99	50.16	79.13	78.21	72.72	71.04
FDA	37.52	41.13	49.59	46.52	40.59	38.72
Lig	9.74	7.04	7.26	6.82	6.05	6.13
PIDA	2.14	2.15	0.36	0.80	1.75	1.16
PIDN	3.94	3.63	0.58	3.83	3.45	4.74
NDT NRC (2001)	54.00	56.80	49.20	49.30	51.80	51.00
NDT BR-Corte (2023)	55.10	56.20	53.70	54.20	55.80	55.40
NDT BR-Caprinos & Ovinos (2024)	65.1	69.2	67.2	68.0	68.4	67.8
EE digestível	5.51	3.30	2.17	3.30	2.70	2.85
PB digestível	14.45	9.05	2.84	4.83	6.36	7.25
FDN digestível	26.91	34.78	57.48	57.11	53.40	52.00
CNF digestível	18.27	22.03	4.75	2.78	5.95	5.75
ED	2.87	3.05	2.96	3.00	3.02	2.99
EM caprinos Mcal/d	2.47	2.62	2.55	2.58	2.59	2.57
EM Ovinos Mcal/d	2.29	2.44	2.36	2.39	2.41	2.39

Todos os valores de composição química utilizados no cálculo dos valores energéticos foram extraídos das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. CQBAL 4.0. 2018, Disponível em: www.cqbal.com.br

TABELAS DE VALOR ENERGÉTICO DE ALIMENTOS PARA OVINOS E CAPRINOS

	Silagens					
	Cana-de-açúcar	Capim Elefante	Milho	Soja	Sorgo	Tifton pré secado
MS	26.12	27.7	31.11	25.83	29.76	47.76
MO	95.14	90.29	94.23	91.78	93.59	91.12
PB	3.77	5.47	7.24	17.79	6.45	16.62
EE	1.71	2.23	2.84	9.45	2.53	2.41
CNF	27.64	15.32	33.81	15.43	26.02	10.6
FDNcp	62.02	67.27	50.34	49.11	58.59	61.49
FDA	43.03	48.71	30.26	35.69	31.27	32
Lig	8.13	7.47	4.87	8.91	5.1	4.76
PIDA	0.38	0.76	0.87	1.95	0.93	1.14
PIDN	0.61	1.19	1.31	3.11	2.37	5.53
NDT NRC (2001)	55.5	50.5	63.3	62.8	59.2	55.4
NDT BR-Corte (2023)	58	52.5	63.2	65.1	61.2	57.8
NDT BR-Caprino e Ovinos (2024)	70.8	66.7	74.8	75.9	72.8	69.3
EE digestível	3.17	4.24	5.49	19.03	4.85	4.61
PB digestível	2.55	3.90	5.30	13.67	4.68	12.75
FDN digestível	43.27	47.95	36.68	32.43	43.01	45.57
CNF digestível	21.77	10.63	27.35	10.73	20.30	6.36
ED	3.12	2.94	3.30	3.35	3.21	3.06
EM caprinos Mcal/d	2.69	2.53	2.85	2.89	2.77	2.63
EM Ovinos Mcal/d	2.50	2.35	2.65	2.69	2.58	2.44

Todos os valores de composição química utilizados no cálculo dos valores energéticos foram extraídos das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. CQBAL 4.0. 2018, Disponível em: www.cqbal.com.br

TABELAS DE VALOR ENERGÉTICO DE ALIMENTOS PARA OVINOS E CAPRINOS

	Forragens					
	Alfafa	Azevém	Braquiária brizantha (0-30 d)	Braquiária brizantha (91-120d)	Braquiária decumbens (31-45 d)	Braquiária decumbens (46-60 d)
MS	25.3	19.43	17.15	27.72	22.39	27.14
MO	90.62	90.45	89.98	92.3	90.33	91.04
PB	23.0	18.78	12.32	4.8	11.66	9.39
EE	3.7	3.22	1.2	1.16	1.79	2.23
CNF	26.08	21.83	15.28	10.87	21.48	19.84
FDNcp	39.87	46.62	61.18	75.47	55.4	59.58
FDA	26.63	27.41	34.68	42.87	28.19	36.76
Lig	7.47	4.06	4.44	6.41	3.82	5.18
PIDA	1.69	0.72	2.55	1.59	0.9	2.28
PIDN	4.99	5.28	3	3.87	5.14	3.38
NDT NRC (2001)	60.1	60.9	54.7	49.4	57.1	56
NDT BR-Corte (2023)	62.2	60.5	55.5	54	58.2	56.8
NDT BR-Caprinos & Ovinos (2024)	71.7	71.6	67.6	67.3	69.9	69.7
EE digestível	7.25	6.27	2.13	2.05	3.34	4.24
PB digestível	17.81	14.46	9.33	3.37	8.81	7.01
FDN digestível	26.28	34.40	45.59	55.28	41.53	43.73
CNF digestível	20.36	16.52	10.59	6.61	16.20	14.72
ED	3.16	3.16	2.98	2.97	3.08	3.07
EM caprinos Mcal/d	2.72	2.72	2.57	2.55	2.65	2.65
EM Ovinos Mcal/d	2.53	2.53	2.38	2.37	2.46	2.46

Todos os valores de composição química utilizados no cálculo dos valores energéticos foram extraídos das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. CQBAL 4.0. 2018, Disponível em: www.cqbal.com.br

TABELAS DE VALOR ENERGÉTICO DE ALIMENTOS PARA OVINOS E CAPRINOS

	Forragens					
	Cana-de-açúcar fresca	Coast cross	Capim Elefante Cameroon (61-90 d)	Capim Tifton 85	Capim Tanzânia	Palma Forrageira
MS	28.77	32.62	16.68	26.96	23.31	11.3
MO	96.55	91.49	90.22	90.91	88.63	88.04
PB	2.76	12.03	8.89	12.91	9.45	4.24
EE	1.34	2.5	2.41	2	2.53	1.8
CNF	42.72	7.73	10.85	10.68	7.59	52.92
FDNcp	49.73	69.23	68.07	65.32	69.06	29.08
FDA	33.52	35.78	43.91	36.91	41.58	18.61
Lig	5.86	6.13	7.1	7.49	5.89	4.93
PIDA	0.12	1.93	0.97	3.75	1.31	0.82
PIDN	0.46	5.81	2.56	6.81	3.3	1.4
NDT NRC (2001)	63.1	51.8	50.4	51	50.1	62.8
NDT BR-Corte (2023)	63	56.7	53.4	55.5	52.7	63.2
NDT BR-Caprinos & Ovinos (2024)	75.0	68.2	66.7	66.4	66.2	70.7
EE digestível	2.42	4.79	4.61	3.77	4.85	3.36
PB digestível	1.75	9.10	6.61	9.80	7.06	2.92
FDN digestível	35.39	50.58	48.88	46.39	50.64	19.80
CNF digestível	35.40	3.77	6.59	6.44	3.64	44.62
ED	3.31	3.01	2.94	2.93	2.92	3.12
EM caprinos Mcal/d	2.85	2.59	2.53	2.52	2.51	2.69
EM Ovinos Mcal/d	2.65	2.40	2.34	2.33	2.33	2.49

Todos os valores de composição química utilizados no cálculo dos valores energéticos foram extraídos das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. CQBAL 4.0. 2018, Disponível em: www.cqbal.com.br

TABELAS DE VALOR ENERGÉTICO DE ALIMENTOS PARA OVINOS E CAPRINOS

Concentrados energéticos							
	Aveia	Casca de soja	Farelo de arroz	Farelo de trigo	Milheto grão	Sorgo grão	Polpa cítrica
MS	90.44	90.3	89.03	87.97	88.95	87.91	88.45
MO	93.59	94.18	89.17	93.32	94.19	97.54	91.72
PB	14.06	12.73	13.22	17.13	13.35	9.05	6.93
EE	3.82	2.2	16.32	3.51	4.49	4.02	2.94
CNF	48.09	15.88	39.02	33.07	53.95	72.48	73.9
FDNcp	27.62	63.37	20.6	39.61	22.4	11.99	11.36
FDA	22.92	49.15	11.88	13.19	7.21	4	6.07
Lig	3.51	3.64	4.49	3.8	1.41	1.18	1.8
PIDA	0.14	2.29	0.55	0.94	1.4	0.18	0.05
PIDN	1.57	5.61	1.81	0.28	2.41	1.39	0.87
NDT NRC (2001)	72.2	69.5	83.7	68.5	77.7	83.8	82.8
NDT BR-Corte (2023)	80.4	74.8	81	71.2	82.9	86.6	86
NDT BR-Caprinos & Ovinos (2024)	78.3	72.9	88.6	75.8	82.0	86.3	84.8
EE digestível	7.50	4.18	33.11	6.86	8.87	7.91	5.69
PB digestível	10.72	9.66	10.05	13.15	10.15	6.74	7.23
FDN digestível	19.82	47.96	13.42	29.07	17.44	9.38	8.32
CNF digestível	40.26	11.14	32.06	26.68	45.56	62.31	63.59
ED	3.45	3.22	3.91	3.34	3.62	3.81	3.74
EM caprinos Mcal/d	2.98	2.77	3.39	2.88	3.13	3.30	3.24
EM Ovinos Mcal/d	2.78	2.58	3.17	2.68	2.92	3.08	3.02

Predição do valor energético de alimentos e dietas para ovinos e caprinos

Todos os valores de composição química utilizados no cálculo dos valores energéticos foram extraídos das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. CQBAL 4.0. 2018, Disponível em: www.cqbal.com.br

TABELAS DE VALOR ENERGÉTICO DE ALIMENTOS PARA OVINOS E CAPRINOS

Concentrados protéicos							
	Caroço de algodão	Farelo de algodão 38	Torta de algodão	Farelo de girassol	Farelo de gluten 21	Glutonose	Farelo de amendoim
MS	90.76	89.92	90.68	91.06	88.77	90.57	89.23
MO	95.78	91.07	95.14	93	92.2	96.81	92.47
PB	22.99	39.63	29.74	31.81	23.93	63.9	58.38
EE	19.32	1.43	9.43	1.94	2.78	2.73	0.4
CNF	7.71	20.55	10.05	10.76	29.79	23.93	11.5
FDNcp	45.76	29.46	45.92	48.49	35.7	6.25	22.19
FDA	35.24	22.94	34.92	34.64	10.68	3.75	10.96
Lig	7.39	3.66	9.68	5.4	1.19	0.26	2.22
PIDA	2.06	1.05	1.67	0.91	0.25	2.13	1.12
PIDN	3.33	3.38	5.73	4.22	3.09	4.48	3.13
NDT NRC (2001)	84.9	67	71.04	67.5	70.2	85.75	74
NDT BR-Corte (2023)	87	66.7	84.73	66.5	77.3	84.84	77.8
NDT BR-Caprinos & Ovinos (2024)	91.8	70.1	77.3	69.7	75.8	79.6	70.1
EE digestível	39.26	2.60	18.99	3.65	5.37	5.26	0.49
PB digestível	17.80	31.00	23.16	24.80	18.55	50.26	45.88
FDN digestível	31.01	21.15	29.28	34.79	28.13	5.65	16.59
CNF digestível	3.75	15.36	5.87	6.51	23.71	18.42	7.18
ED	4.05	3.09	3.41	3.07	3.34	3.51	3.09
EM caprinos Mcal/d	3.51	2.66	2.94	2.65	2.88	3.03	2.66
EM Ovinos Mcal/d	3.29	2.47	2.74	2.46	2.68	2.83	2.47

Todos os valores de composição química utilizados no cálculo dos valores energéticos foram extraídos das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. CQBAL 4.0. 2018, Disponível em: www.cqbal.com.br

REFERÊNCIAS

- Azevêdo, J.A.G., Valadares Filho, S.C., Pina, D.S., Chizzotti, M.L., Valadares, R.F.D. A meta-analysis of dry matter intake in Nellore and Zebu-crosses cattle. *R. Bras. Zootec.*, v.39, n.8, p.1801-1809, 2010.
- Borges, A.L.C.C., Reis e Silva, R., Ferreira, A.L., Lage, H.F., Vivenza, P.A.D., Carvalho, P.H.A., Fonseca, M.P., Gonçalves, L.C., Rodriguez, N.M. Respirometria e exigências nutricionais de zebuíños e cruzados de leite, em diferentes níveis de alimentação e estádios fisiológicos. *BR-Corte: Tabela Brasileira De Exigências Nutricionais*; DZO/UFV: Viçosa, Minas Gerais, Brazil, 163-190, 2016.
- BR-Corte 2023. *Exigências de nutricionais de zebuíños puros e cruzados*. 4 ed. 2023. Suprema Gráfica, Viçosa, MG. 480p.
- Brito Neto, A.S., Herbster, C.J.L., Geraseev, L.C., Macedo Junior, G.L., Nascimento, D.R., Rocha, A.C., Pereira, M.I.B., Marcondes, M.I., Silva, L.P., Bezerra, L.R., Oliveira, R.L., Pereira, E. S. *Feed energy utilization by hair sheep: Does the 0.82 conversion factor of digestible to metabolizable energy need to be revised?* (In Press). 2023.
- Casali, A.O., Detmann, E., Valadares Filho, S.D.C., Pereira, J.C., Cunha, M.D., Detmann, K.D.S.C., Paulino, M.F. Estimação de teores de componentes fibrosos em alimentos para ruminantes em sacos de diferentes tecidos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 130-138, 2009.
- Casali, A.O., Detmann, E., Valadares Filho, S.D.C., Pereira, J.C., Henriques, L.T., Freitas, S.G.D., Paulino, M.F. Influence of incubation time and particles size on indigestible compounds contents in cattle feeds and feces obtained by in situ procedures. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 335-342. 2008.
- 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*, v.86, p.1588-1597, 2008.
- Costa, M.A.L., Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F.D., Mário Fonseca Paulino, M. F., Cecon, P. R., Paulino, P. V. R., Chizzotti, M. L., V., Paixão, M. L. Validation of NRC (2001) equations for estimation of energy value of feeds in Brazilian conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:280-287, 2005.
- Cruz, C.H., Santos, S.A., de Carvalho, G.G.P., Azevedo, J.A.G., Detmann, E., de Campos Valadares Filho, S., Alba, H.D.R. Estimating digestible nutrients in diets for small ruminants fed with tropical forages. *Livestock Science*, 249, 104532. 2021.
- Detmann, E., Silva, T. E., Valadares Filho, S.C., Sampaio, C.B., Palma, M.N.N. Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos. *BR-Corte: Tabela Brasileira De Exigências Nutricionais*; DZO/UFV: Viçosa, Minas Gerais, Brazil, 163-190. 2023.
- 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., Validation of predictive equations for neutral detergent fiber indigestible fraction in tropical grasses. *Revista Brasileira de Zootecnia* 33, 1866-1875. 2004.
- Detmann, E.; Valadares Filho, S.C.; Pina, D.S., Campos, J.M.S., Paulino, M.F., Oliveira, A.S., Silva, P.A. Estimação da fração digestível da proteína bruta em dietas para bovinos a partir dos teores dietéticos em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.4, p.1469-1478, 2006a.
- 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 Zootecniav*.35, n.4, p.1479-1486, 2006b.
- 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, 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* v.36, n.1, p.155-164, 2007.
- 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.
- Galyean, M.L.; Cole, N.A.; Tedeschi, L.O.; Branine, M. E. 2016. 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.

- Huhtanen, P., Kaustell, K., Jaakkola, S. The use of internal markers to predict total digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. *Animal Feed Science and Technology*, v.48, n.3-4, p. 211-227, 1994.
- Kleiber, M. *The fire of life*. An introduction to animal energetics. 1961.
- Lucas, H.L.; Smart, W.W.G. *Chemical composition and the digestibility of forages*. In: Pasture and crop improvement conference, 16., 1959, Mississippi. Proceedings... Mississippi: Mississippi State University, 1959. p.23-26.
- Machado, M.G., Detmann, E., Mantovani, H.C., Valadares Filho, S.C., Bento, C.B., Marcondes, M.I., Assunção, A.S. Evaluation of the length of adaptation period for changeover and crossover nutritional experiments with cattle fed tropical forage-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 132-148. 2016.
- Magalhães, K.A., Valadares Filho, S.C., Detmann, E., Diniz, L.L., Pina, D.S., Azevedo, J. A. G., 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. Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. *Forage cell wall structure and digestibility*, 535-570. 1993.
- Moe, P.W., Flatt, W.P., Tyrell, H.F. Net energy value of feeds for lactation. *Journal of Dairy Science*, v.55, n.7, p.945-958, 1972.
- Moraes, L.E., Kebreab, E., Strathe, A.B., Dijkstra, J., France, J., Casper, D.P., Fadel, J.G. Multivariate and univariate analysis of energy balance data from lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.98, n.6, p.4012-4029, 2015.
- NASEM – National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 8th ed. Animal nutrition series. Washington, DC: National Academy Press.
- Nocek, J.E. Evaluation of specific variables affecting in situ estimates of ruminal dry matter and protein digestion. *Journal of Animal Science*, v.60, n.5, p.1347-1358, 1985.
- NRC – National Requirements Council. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th ed. Animal nutrition series. Washington, DC: National Academy Press. 2001
- Paulino, M.F., Detmann, E., Silva, G.A., Almeida, M.A., Márquez, C.E.D., Moreno, S.P.D., Carvalho, V.V. Bovinocultura otimizada. *Simpósio de produção de gado de corte*, 9, 139-164, 2014.
- Reis, M.J., Santos, S.A., Prates, L.L., Detmann, E., Carvalho, G.G.P., Santos, A.C.S., Costa, E. Comparing sheep and cattle to quantify internal markers in tropical feeds using in situ ruminal incubation. *Animal Feed Science and Technology*, 232, 139-147, 2017.
- Rocha Jr., V.R.; Valadares Filho, S.C.; Borges, A.M.; Detmann, E., Magalhães, K.A., Valadares, RFD., Gonçalves, LC., Cecon, PREstimate of Energy Value of Feed and Validation of Equations Proposed by NRC (2001). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32:480-490. 2003.
- Santos, A.C.S.D. *Nutritional energy and protein requirements improvement of in situ incubation methods in goats and sheep*. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação da Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. 2021.
- Silva, L.A.S., Santos, S.A., de Carvalho, G.G.P., Leite, L.C., dos Santos Pina, D., de Oliveira Nascimento, C., Mariz, L.D.S. Diurnal variations and time to reach steady state of external markers used to estimate fecal excretion in sheep. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 1-11, 2021.
- Sniffen, C.J., O'connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G., Russell, J.B., 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* v.70, n.11, p. 3562-3577, 2021.
- Teixeira, I.A., Almeida, A.K., Fernandes, M.H., Resende, K.T. Applying the California net energy system to growing goats. *Translational Animal Science*, v.3, n.3, p.999-1010, 2019.
- Valente, T.N.P., Detmann, E., Queiroz, A.C.D., Valadares Filho, S.D.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*. Ithaca: Cornell University Press, 476p. 1994.
- Weiss, W.P. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 81, n.3, p. 830-839, 1998.
- Weiss, W.P., Conrad, H.R., Pierre, N.S. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Animal Feed Science and Technology*, v.39, n.1-2, p.95-110, 1992.

4

Predição da síntese de proteína microbiana ruminal a partir de dietas para ovinos e caprinos

*Stefanie Alvarenga Santos, Gleidson Giordano Pinto de Carvalho,
José Augusto Gomes Azevedo, Elzania Sales Pereira, Manuela Silva Libânio Tosto,
Gisele Rocha dos Santos, Lays Débora Silva Mariz, Henry Daniel Ruiz Alba,
Antônio Carneiro Santana dos Santos e Márcia Pereira da Silva*

APRESENTAÇÃO

As exigências nutricionais de proteína dos ruminantes são atendidas mediante absorção intestinal de aminoácidos e peptídeos, sendo a proteína microbiana sintetizada no rúmen a principal fonte deste nutriente. Assim, o conhecimento sobre a eficiência da síntese de proteína microbiana favorece a formulação de dietas precisas, sem desperdícios, o que gera economia para a produção animal.

A proteína de origem microbiana é sintetizada mediante a utilização da proteína e do carboidrato dietético, empregada para o próprio crescimento microbiano e reprodução. Com a passagem da digesta ruminal para o abomaso, o pool microbiano sofre lise celular e a digestão do pool proteico microbiano é feita no duodeno, liberando-se aminoácidos e peptídeos para absorção intestinal.

Os aminoácidos absorvidos serão utilizados pelos ruminantes em suas funções fisiológicas de manutenção e de produção, juntamente com proteína dietética não degradada. Forma-se, assim, a proteína metabolizável (PM). A proteína microbiana que chega ao intestino delgado para absorção é chamada de proteína degradável no rúmen (PDR) e a proteína dietética que escapa da degradação microbiana é chamada de proteína não degradável no rúmen (PNDR).

Assim para que se converta as exigências de PM em proteína bruta (PB) dietética é necessário se conhecer a quantidade de proteína microbiana (PBmic) que pode ser sintetizada a partir de determinada dieta. Dessa forma, neste capítulo serão descritas equações para determinação da síntese de PBmic em caprinos e ovinos, para, assim, possibilitar a conversão de exigências de PM

em PB dietética, possibilitando, assim, recomendações práticas para formulação de dietas para ovinos e caprinos.

INTRODUÇÃO

Após ingestão, a PB dietética é degradada pelos microrganismos no rúmen, promovendo modificação do perfil aminoacídico em relação ao ingerido. Os microrganismos ruminais são os principais modificadores da proteína dietética, de modo que não somente a exigência de PB do animal deve ser considerada, como também a quantificação do nitrogênio exigido para síntese de PBmic ruminal.

Associados à PNDR e a proteína endógena, a PBmic representa maior parte dos aminoácidos que chegam ao duodeno, e, assim, denota a importância desta fração para o desempenho dos ruminantes. Além da quantidade, a qualidade da proteína microbiana também é superior, com alto valor biológico e perfil aminoacídico ideal para os ruminantes. Fornece aminoácidos necessários para o crescimento e síntese proteica em processos anabólicos.

Portanto, observa-se que a quantificação da síntese microbiana no rúmen é de grande importância para a nutrição de ruminantes. Tal quantificação, sob diferentes condições dietéticas, permite o adequado balanceamento dos compostos nitrogenados no rúmen, com consequente reduções nos custos e perdas de N das dietas.

A quantificação da síntese microbiana pode ser realizada direta ou indiretamente. Os microrganismos que chegam o duodeno por intermédio da digesta podem ser identificados de forma direta por meio de marcadores internos, a exemplo do DNA, RNA, ou

marcadores externos como ^{15}N e ^{35}S . Devido à necessidade de utilização de animais fistulados, as técnicas diretas podem ser questionadas quanto ao bem-estar animal.

Além disso, a técnica baseada no isótopo ^{15}N é uma técnica de alto custo, pois demanda equipamento de espectroscopia de massa, que representa o alto custo de aquisição e manutenção (Carro e Miller, 2002). Assim, estuda-se cada vez mais as técnicas que possam minimizar as práticas invasivas para mensuração da PBmic.

O uso dos derivados de purina (DP) como marcadores microbianos internos proporcionou uma mensuração indireta e menos invasiva da produção de proteína microbiana, sendo amplamente utilizado, já que sua excreção pode ser mensurada na urina (Fujihara *et al.*, 1987, Chen e Gomes, 1992).

A quantificação dos DP excretados via urina é uma das metodologias mais utilizadas atualmente para determinação da síntese de PBmic ruminal no Brasil. A absorção das purinas está diretamente relacionada à quantidade de PBmic produzida e a quantidade de DP excretados (Hristov *et al.*, 2019).

Diante disso, este capítulo tem como objetivo apresentar a técnica dos DP aplicada à determinação da PBmic em caprinos e ovinos, bem como apresentar equações de predição da síntese de PBmic a partir de dietas fornecidas aos pequenos ruminantes no Brasil.

SÍNTSE E EFICIÊNCIA MICROBIANA RUMINAL

O rúmen é um compartimento digestivo que apresenta epitélio absorutivo, fornece um habitat propício ao desenvolvimento

microbiano e, consequentemente traz a possibilidade de utilização de compostos fibrosos como fonte de energia. Os pré-estomagos dos ruminantes são colonizados por uma variedade de microrganismos, dentre eles bactérias, protozoários e fungos.

O estabelecimento desta simbiose permite a degradação de alimentos fibrosos e aproveitamento energético dos produtos da fermentação, como os ácidos graxos voláteis (AGV) pelo animal hospedeiro (Krause *et al.*, 2013). Os AGV são os principais substratos energéticos para os animais ruminantes, sendo convertidos em glicose e ácidos graxos no fígado ou em tecidos extra-hepáticos após a absorção ruminal.

Os microrganismos do rúmen têm a capacidade de aproveitar os nutrientes de baixa qualidade, como por exemplo, convertendo a proteína vegetal dietética em proteína microbiana, que possui alto valor biológico e perfil de aminoácidos compatível com aquele retido no tecido animal (NRC, 2001). Já os α -cetoácidos advindos dos carboidratos, associando-os à amônia fornecida pela proteína dietética, são utilizados para produção dos aminoácidos microbianos.

Assim, os microrganismos necessitam de fontes de carboidrato e proteína em equilíbrio para uma melhor eficiência da síntese microbiana (Leng e Nolan, 1982). Dessa maneira, o processo de degradação e síntese de proteína no rúmen sofre interferência direta da dieta, principalmente da disponibilidade de energia e sincronicidade do fornecimento entre estes nutrientes (Tamminga, 1979, Clark *et al.*, 1992, e Bach *et al.*, 2005).

De acordo com Dewhurst *et al.* (2000), os fatores dietéticos que interferem na eficiência microbiana são: o nível de alimentação, a sincronização entre substratos energéticos e

proteico, a qualidade da forragem e a composição da dieta tanto de forma quantitativa, quanto de forma qualitativa. Em termos práticos, a sincronização dos substratos energético e proteico é uma ferramenta prática tanto para avaliar e eficiência microbiana quanto para predizê-la.

Em condições brasileiras, tendo como base o uso da forragem tropical, Detmann *et al.* (2014a) observaram que um valor inferior a 191 g de PB por kg de matéria orgânica degradável (MOd) impacta negativamente na retenção de nitrogênio corporal em bovinos, aspecto que ocasiona o balanço nitrogenado negativo.

Por outro lado, um valor acima de 218 g de PB por kg de MOd não é capaz de melhorar a retenção de nitrogênio corporal. Estes valores são reflexo de como a proporção entre proteína e energia altera diretamente a eficiência microbiana. Há impacto no nitrogênio total, que é absorvido e metabolizado pelos ruminantes.

Conhecer esses índices é de suma importância para a formulação de dietas precisas para ruminantes, pois evita-se perdas financeiras. Entretanto, não se conhece qual é o nível crítico de nitrogênio que impacta negativamente o balanço nitrogenado em caprinos e ovinos.

Dessa maneira, Lazzarini *et al.* (2009), ao avaliarem níveis crescentes de PB (de 5,3 até 13,7% PB) e forragem de baixa qualidade, observaram que 7% de PB é o nível mínimo necessário para sustentar o crescimento microbiano ruminal.

Por outro lado, Detmann *et al.* (2014b), ao revisarem dados de diversos experimentos, elevaram o nível crítico para 8 % de PB, e, assim, afirmaram que este valor é requerido

para otimizar o balanço entre o consumo de nitrogênio e síntese microbiana.

Entretanto, não se sabe se caprinos e ovinos em condições tropicais também apresentam os mesmos índices para maximização da PBmic a partir de consumo de forragem tropical, então mais estudos são requeridos para que se possa inferir sobre esse tema.

A velocidade e extensão da degradação da proteína também varia de acordo com a fonte proteica, sua disponibilidade e solubilidade (Xiros *et al.*, 2019). A solubilidade das proteínas é fator crítico para determinar a susceptibilidade às proteases microbianas e sua degradação; por exemplo, as prolaminas e gluteínas são insolúveis e lentamente degradadas, enquanto as globulinas são altamente solúveis (Romagnolo *et al.*, 1994).

Alguns tipos de ligações peptídicas também interferem na degradação microbiana, por exemplo aquelas formadas entre lisina e prolina, são degradadas cinco vezes mais lentamente que aquelas entre lisina e alanina. As ligações entre prolina e metionina são degradadas 2,5 vezes mais lentamente que aquelas formadas entre metionina e alanina (Yang & Russel, 1992).

Há, portanto, diferença na eficiência microbiana frente a determinados peptídeos alimentares, formando, assim, o perfil da composição da PDR. A população microbiana também se beneficia do sistema digestivo simbótico. A mastigação e ruminação auxiliam a produção microbiana, diminuindo o tamanho das partículas e tornam os nutrientes mais acessíveis para os microrganismos.

Além disso, a constante ingestão de alimentos permite o fornecimento de nutrientes aos microrganismos, favorecendo o crescimento e renovação contínua da população

microbiana. Já o ambiente ruminal também contribui significativamente, mantendo a anaerobiose, o pH ótimo, o suprimento de nutrientes e extração dos resíduos do metabolismo microbiano, seja por meio da absorção ruminal dos compostos para o sistema porta hepático, seja pela passagem da digesta para o abomaso (Nocek & Russell, 1988).

Ao adentrarem no rúmen, as partículas alimentares sofrem ação dos microrganismos, formando-se um filme microbiano. A população microbiana se adere às partículas de alimentos, de modo que a PB dietética é degradada a pequenos peptídeos e aminoácidos. Aproximadamente 70 – 80% dos microrganismos ruminais permanecem aderidos às partículas alimentares (Bach *et al.*, 2005 e Prins *et al.*, 1983).

A degradação é realizada a partir de um sistema multienzimático presente na membrana microbiana, o que degrada os polipeptídeos a peptídeos e esses a aminoácidos (Bach *et al.*, 2005). Os peptídeos e aminoácidos podem ser incorporados durante o crescimento microbiano sendo, portanto, utilizados diretamente na síntese da PBmic. Estes mesmos aminoácidos de origem dietética também podem ser deaminados, promovendo-se, assim, a liberação de nitrogênio amoniacial ($N\text{-NH}_3$) livre.

Este $N\text{-NH}_3$, por sua vez, pode ser utilizado para síntese de novos aminoácidos, bem como pode ser absorvido pelo sistema porta hepático, sendo transformado em ureia pelo fígado para posterior excreção, ou, então, conservado no corpo do animal pelo fenômeno da reciclagem de nitrogênio (Bach *et al.*, 2005).

O pool proteico oriundo da biomassa microbiana (PDR) somado às proteínas e peptídeos não degradados (PNDR) e a proteína

endógena oriunda de processos de descamação e produção enzimática, compondo a PM, seguem para o abomaso e, em seguida, para o duodeno, onde são digeridos por peptidases e proteases, liberando os aminoácidos para absorção epitelial e utilização nos processos metabólicos pós-absortivos (Leng & Nolan, 1982).

A proteína microbiana contribui com uma parcela significativa do pool proteico da digesta, pois pode chegar a 80% dos aminoácidos absorvidos no intestino delgado. Assim, demonstra-se a importância dessa fração proteica para nutrição dos ruminantes (Bach *et al.*, 2005). Desta forma, o conhecimento sobre a eficiência microbiana e a quantificação da sua produção pode auxiliar no fornecimento adequado de dietas, minimizando-se os custos e as perdas de nitrogênio.

De forma geral, uma das principais metas nutricionais para ruminantes é alcançar a maximização do crescimento microbiano e elevar a quantidade de PDR, que pode ser capturada pela microbiota. Isso pode elevar a quantidade de aminoácidos microbianos que chegam ao intestino delgado.

Em geral, a principal forma de expressar a eficiência microbiana é pela determinação da massa de nitrogênio de origem microbiana por unidade de energia disponível no rúmen, usualmente expressa em matéria orgânica ou carboidratos fermentáveis (Bach *et al.*, 2005).

DERIVADOS DE PURINA COMO MARCADORES DE PRODUÇÃO MICROBIANA

Em vários estudos confirmou-se a relação direta entre síntese de proteína microbiana ruminal e excreção de DP na urina. Rennó *et al.* (2000), que trabalharam com bovinos

fistulados, observaram que não houve diferença entre a produção PBmic quantificada pelo método das purinas no abomaso e pela excreção urinária de derivados de purinas. Já Vagnoni *et al.* (1997) e Johnson *et al.* (1998) constataram que a excreção urinária de DP apresentou correlação positiva com o fluxo de N microbiano no abomaso.

Por este motivo, Fujihara *et al.* (1987) propuseram um método para quantificação da proteína microbiana ruminal em que se utilizam os DP para estimar a síntese microbiana no rúmen. Este método assume que o fluxo duodenal de ácidos nucléicos é essencialmente de origem microbiana e, após digestão intestinal das bases purinas, elas são catabolizadas e excretadas proporcionalmente à quantidade absorvida (Chen & Gomes, 1992).

As bases purinas, adenina e guanina, são componentes estruturais do DNA e RNA, e estão envolvidas em processos de síntese destes ácidos nucléicos e biossíntese de aminoácidos, sendo também utilizadas como carreadores e suplementos de energia para a célula na forma de ATP (adenosina trifosfato) e GTP (guanosina trifosfato). As bases purinas absorvidas pelo intestino delgado dos animais são catabolizadas a derivados de purinas (hipoxantina, xantina, ácido úrico e alantoína) e excretadas na urina (Topp & Elliott, 1965).

Segundo McAllan e Smith (1973), os alimentos utilizados para ruminantes possuem baixo conteúdo de purinas, sendo, portanto, possível inferir que os ácidos nucleicos (DNA e RNA) que chegam ao intestino são, predominantemente, de origem microbiana ruminal. Assim, a concentração de ácidos nucleicos presentes na alimentação dos ruminantes é baixa, representando de 1 a

2% dos alimentos concentrado e 5 a 10% dos alimentos volumosos (Fujihara; Shem, 2011).

Dessa forma, as purinas originárias dos ácidos nucleicos microbianos, que chegam ao abomaso, são as fontes diretas de purinas absorvidas no intestino delgado (Chen e Gomes, 1992). Sendo assim, existe uma relação positiva entre a síntese de proteína microbiana e a excreção urinária dos DP, sendo possível, então, utilizá-los para quantificar o fluxo de proteína microbiana no rúmen (Zhou *et al.*, 2017).

Os ácidos nucleicos são compostos por ácido fosfórico, açúcares (desoxirribose e ribose) e bases nitrogenadas. No rúmen, os ácidos nucleicos dietéticos são degradados através das nucleases bacterianas extracelulares (desoxirribonucleases ou ribonucleases), hidrolisados a nucleosídeos, e degradados a purinas e pirimidinas, as quais são captadas e metabolizadas pelos microrganismos (Nagara, 2016).

Os ácidos nucleicos microbianos ruminais que chegam ao intestino sofrem ação das polinucleases, nucleosidases e fosfatases intestinais. Como resultado, tem-se bases nitrogenadas livres, purinas e pirimidinas. As bases nitrogenadas púricas, ou purinas livres são prontamente absorvidas pelos enterócitos e sofrem degradação das enzimas: guanina deaminase, adenina deaminase e xantina oxidase (Chen; Gomes, 1992).

Após a absorção, as purinas são catabolizadas e excretadas na forma dos derivados de purina, compostos por hipoxantina, xantina, ácido úrico e alantoína (Giesecke *et al.*, 1994). Segundo NRC (2001), cerca de 20% da proteína microbiana que alcança o intestino é composta por ácidos nucleicos, sendo considerado um valor constante. O coeficiente

de digestibilidade fica entre 80 e 90% para RNA e 75 a 85% para DNA.

A alantoína é o derivado de purina mais abundante nos ruminantes, sendo o principal metabólito derivado do metabolismo das purinas, acompanhado do ácido úrico, xantina e hipoxantina, que são totalmente excretados na urina (Rennó *et al.*, 2000). Já a xantina e a hipoxantina são resultados da reação final do catabolismo das purinas nos enterócitos, e podem ser transformadas em ácido úrico pela xantina oxidase.

Posteriormente, a uricase transforma o ácido úrico em alantoína. Em bovinos e bubalinos, devido à alta atividade da enzima xantina oxidase, as excreções de alantoína e ácido úrico constituem cerca de 98% dos derivados urinários, obtendo-se quantidades irrigórias de xantina e hipoxantina. Em pequenos ruminantes, a enzima xantina oxidase tem baixa atividade, o que dificulta a transformação dos derivados xantina e hipoxantina em ácido úrico.

Assim, além do ácido úrico (10 a 30%) e da alantoína, que é predominante (cerca de 60 a 80% de todo o DP), a urina dos caprinos e ovinos apresenta uma significativa quantidade de xantina e hipoxantina (5 a 10%) (Chen e Gomes *et al.*, 1992, Belenguer *et al.*, 2002, e Santos *et al.*, 2018). Este fenômeno provoca a necessidade de quantificação de todos os DP excretados por estas espécies animais.

Além da urina, os DP também são excretados pelo leite, sendo a alantoína o derivado de maior expressão, seguida do ácido úrico. Os DP secretados no leite são advindos do plasma como resultado da difusão passiva através dos alvéolos. A excreção desses derivados por meio da glândula mamária é pequena, cerca de 1 a 4% da alantoína total excretada (Gieseck *et al.*, 1994).

Dessa maneira, Cheng *et al.* (2021) verificaram que a quantidade dos DP varia de acordo com a produção leiteira, e, mesmo pequena em relação a excreção urinária, a absorção de purinas pode ser subestimada em até 7% caso esses valores sejam descartados, mostrando a importância da sua contabilização.

A principal vantagem do método dos DP é que a estimativa da síntese de PBmic pode ser realizada a partir de coleta urinária. Além disso, a técnica dispensa a necessidade de animais fistulados, o que configura a metodologia como pouco invasiva, um aspecto que preza pelo bem-estar animal. Entretanto, a metodologia é indireta, e, por isso, apresenta também desvantagens.

Esta técnica considera que a relação entre N-purina e N-total dos microrganismos é constante. Entretanto, nas populações microbianas esta relação é variada. Sofre a interferência da dieta, genética, idade e estado fisiológico do animal. Além disso, a população microbiana de um mesmo animal pode variar entre uma refeição e outra, entre os dias de alimentação e entre os animais com igual alimentação em um mesmo ambiente.

Tais situações influenciam na quantidade e na digestibilidade da proteína microbiana produzida. Nessa perspectiva, Chen e Gomes (1992) consideraram a relação N-purina:N-total como sendo constante, 0,116, e a digestibilidade das purinas microbianas fixada em 83%.

Porém, outros autores encontraram resultados divergentes para a relação N-purina:N-total, como 0,134 (Valadares *et al.*, 1999) e 0,117 (Rennó *et al.*, 2000). Este último representou a média de cinco experimentos realizados no Brasil para determinação desta relação. Todavia, não são conhecidos

trabalhos brasileiros desta natureza realizados com caprinos e ovinos.

Ainda sobre estas possíveis interferências, deve-se considerar os ácidos nucleicos dietéticos. Apesar de ser considerada mínima, a influência dos ácidos nucléicos dietéticos pode ter importância no volume de bases purinas que são absorvidas no duodeno. A depender da dieta, trabalhos relataram uma contribuição de 13 a 27% de purinas dietéticas no pool total de purinas no duodeno de ovinos (Pérez *et al.*, 1997), chegando a 33% (Vicente *et al.*, 2004).

Tal consideração pode influenciar a contabilização da síntese microbiana, o que superestima seus valores. Além disso, a contribuição endógena dos derivados de purina ajuda a superestimar a produção microbiana por não ser um valor constante para todos os ruminantes ou entre os indivíduos

Contribuição Endógena

As secreções endógenas podem representar uma parcela considerável do fluxo duodenal de nitrogênio em ruminantes, entre 15 e 20% (Cheng *et al.*, 2021). A fração endógena dos DP compreende uma pequena proporção excretada na urina, oriunda do processo metabólico contínuo que ocorre nos tecidos.

Neste processo, os nucleotídeos de purinas são quebrados e, novamente, sintetizados a partir da síntese *de novo* de purinas ou da utilização de purinas pré-formadas (Chen; Gomes, 1992).

Deve ser ressaltado que a hipoxantina pode ser reutilizada para a síntese de novos nucleotídeos, mas, quando a hipoxantina é oxidada pela xantina oxidase para produzir

ácido úrico, esse último não pode ser reutilizado, sendo, portanto, excretado na urina.

Assim, a atividade da xantina oxidase nos tecidos afeta diretamente a produção endógena de DP que é excretada (Chen & Ørskov, 2004). Este fato permite inferir que em pequenos ruminantes, onde a xantina oxidase é menos ativa, provavelmente há maior conservação da hipoxantina, que, ao ser reutilizada na síntese de nucleotídeos, pode causar redução na fração endógena de pequenos ruminantes quando comparada aos bovinos.

Assim, a utilização de valores de fração endógena dos DP obtidos em experimentos com bovinos para caprinos ou ovinos não é indicada. A magnitude da fração endógena não é constante entre espécies, sendo que resultados de Fujihara *et al.* (1987) e de Chen *et al.* (1990), indicaram excreção endógena diária três vezes maior em novilhos holandeses do que em cordeiros (150 e $530 \mu\text{mol/kg PV}^{0,75}$ por dia para ovinos e bovinos, respectivamente).

Na literatura nacional, poucos trabalhos foram realizados para estudar a técnica de DP em pequenos ruminantes. Assim, Fonseca *et al.* (2006) consideraram a técnica de DP adequada para determinação da proteína microbiana para caprinos. Os autores calcularam a fração endógena por meio da equação descrita por (Chen & Gomes, 1992) para ovinos. Todavia, até aquele momento, não havia trabalhos que determinassem se havia diferença entre as espécies de pequenos ruminantes.

Dentre as técnicas utilizadas para se determinar a fração endógena pode-se utilizar a infusão abomasal com ^{15}N ou com RNA, de modo a se estabelecer o fluxo abomasal de purinas (Orellana *et al.*, 2001; Gonzalez-Ronquillo *et al.*, 2003).

A infusão intragástrica de ácidos graxos voláteis e caseína foi utilizada por Chen *et al.* (1990). No estudo, variou-se do jejum completo até o suprimento do nível de manutenção para determinar a fração endógena. Assim, a nutrição intragástrica possibilitou o completo controle do suprimento de nutrientes ao animal, não havendo fermentação microbiana no rúmen.

As técnicas descritas acima estão limitadas ao uso de animais fistulados no rúmen e abomaso, o que vai de encontro a tendência atual de preservação do bem-estar e da saúde animal. Além disso, sabe-se que caprinos são animais extremamente sensíveis a utilização de cânulas, o que torna inviável a reprodução de ensaios tradicionais, principalmente aqueles que envolvem cânulas abomasais.

De fato, as cânulas abomasais para pequenos ruminantes, em geral, representam um grande entrave nos estudos do metabolismo de purinas nestes animais. Por isso, deve-se buscar alternativas viáveis para se determinar tanto as purinas absorvidas quanto a magnitude da fração endógena. Em caprinos, onde não há estudos disponíveis, o uso de métodos matemáticos com relações lineares e não-lineares representa a alternativa ideal.

Entretanto, como a relação entre purinas absorvidas e purinas totais de origem microbiana não obedecem a uma relação linear, em função do uso de xantina e hipoxantina para síntese “de novo”, a relação entre purinas totais e purinas excretadas na urina (absorvidas) não obedece a uma relação linear.

Desta forma, esta estimativa de fração endógena não pode ser realizada por intermédio de um valor fixo como ocorre em bovinos. Outrossim, a fração endógena estimada por intermédio da relação linear entre purinas excretas e consumo de matéria orgânica degradável (M_{Od}) deve ser consi-

derada potencial, pois à medida que se eleva a produção de PBmic ruminal e absorção de purinas, reduz-se a contribuição endógena na urina de caprinos e ovinos.

O presente sistema, BR-Caprinos & Ovinos, considera a contribuição endógena do DP de caprinos e ovinos diferente, a partir de um experimento conduzido em condições brasileiras. Assim, Silva (2023) conduziu estudo para determinar a contribuição endógena dos DP em ambas as espécies, e observou diferença significativa (Figura 4.1).

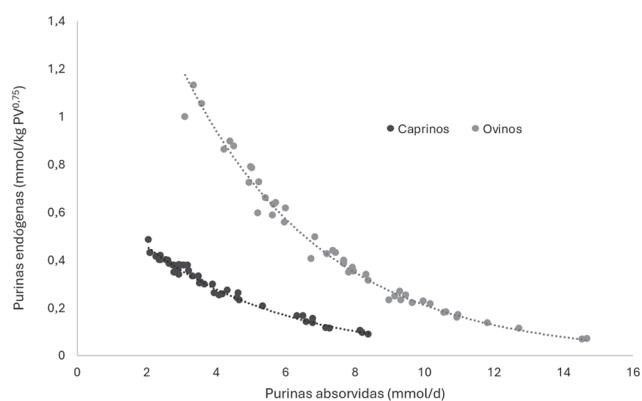


Figura 4.1 – Relação entre purinas endógenas (PEnd) e purinas absorvidas (PAbs) (mmol/dia) em caprinos e ovinos estimadas a partir do modelo de Chen e Gomes (1992), com adaptação para a contribuição endógena estimada por Silva (2023): $P_{\text{End}} = 0,082 \times PV^{0,75} \times e^{-0,25 \times PAbs}$ em caprinos e $P_{\text{End}} = 0,243 \times PV^{0,75} \times e^{-0,25 \times PAbs}$ para ovinos.

Após obtenção do total de purinas excretadas na urina, procede-se ao cálculo da síntese microbiana, conforme Chen e Gomes (1992). As purinas microbianas absorvidas (Pabs, mmol/ dia) devem ser calculadas a partir da excreção de DP totais na urina (DP, mmol/dia), por intermédio da equação:

$$DP = 0,84 \times Pabs + 0,150 \times PV^{0,75} \times e^{-0,25 \times Pabs}$$

onde: 0,84 é a recuperação de purinas absorvidas como derivados urinários de purinas e $0,150 \times PV^{0,75}$, a contribuição endógena para

a excreção de purinas, que, em pequenos ruminantes, tem um componente exponencial [$e^{-0,25 \times Pabs}$] por tender a zero conforme eleva-se as purinas absorvidas.

Esta equação pode ser adaptada para condições brasileiras de acordo com Silva (2023):

Para caprinos

$$DP = 0,84 \times Pabs + 0,082 \times PV^{0,75} \times e^{-0,25 \times Pabs}$$

Para ovinos

$$DP = 0,84 \times Pabs + 0,243 \times PV^{0,75} \times e^{-0,25 \times Pabs}$$

O fluxo intestinal de compostos nitrogenados microbianos (Nmic, g N/dia) deve ser calculado em função das purinas microbianas absorvidas (Pabs, mmol/dia), utilizando-se a equação (Chen & Gomes, 1992):

$$Nmic = (70 \times Pabs) / (0,83 \times 0,116 \times 1000)$$

onde: 70 representa o conteúdo de N nas purinas (mg N/mmol); 0,83, a digestibilidade das purinas microbianas; e 0,116, a relação N purina:N total dos microrganismos ruminais.

Mesmo com limitações, a determinação dos DP é amplamente difundida. Isso ocorre por ser uma técnica barata, de fácil execução, isto é, utiliza-se de equipamentos comuns a vários laboratórios. Além disso, os erros na quantificação são considerados mínimos para a maioria das pesquisas realizadas, não havendo interferência significativa nos resultados, principalmente considerando a comparação entre tratamentos.

COLETA DE AMOSTRAS PARA QUANTIFICAÇÃO DOS DERIVADOS DE PURINA

Para quantificação laboratorial dos derivados de purina excretados diariamente por

caprinos e ovinos, é necessária a obtenção de uma alíquota representativa do volume urinário total excretado diariamente para que se possa determinar o valor total de DP em mmol/dia.

A amostra urinária destinada a quantificação dos DP deve passar por acidificação para evitar perdas por degradação bacteriana e precipitação do ácido úrico (Oliveira *et al.*, 2001, Chizzotti *et al.*, 2006). Sendo assim, ao se realizar coleta de urina, durante 24h, deve-se preservar o *pool* urinário pela manutenção de gelo envolto ao galão principal (Van Niekerk *et al.*, 1963) ou com adição de 100 ml de H₂SO₄ a 20% (Santos *et al.*, 2018) ao recipiente coletor.

A partir dessa amostra, deve-se preparar uma alíquota que deve passar por diluição na proporção 1:5, sendo 1 parte de urina e 4 partes de uma solução de H₂SO₄ a 0,036 N (Valadares *et al.*, 1999, Chen *et al.*, 1995). Esta solução pode ser preparada a partir da adição de 1 ml de H₂SO₄ em um volume total de 1L de água destilada. Essa amostra deve ser armazenada a – 20°C até que se destine a análise química final.

A coleta a amostra representativa pode se dar por intermédio de coleta total durante 24 horas ou por coleta spot (pontual).

Determinação do Volume Urinário

Para aplicação do método de coleta Spot (pontual) de urina em ruminantes a creatinina é utilizada como indicador do volume total excretado durante 24 horas (Oliveira *et al.*, 2007; Magalhães *et al.*, 2005; Rennó *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2010; Teixeira *et al.*, 2007). Entretanto pouco se conhece sobre o nível de excreção deste metabólito na urina de caprinos e ovinos em função da massa muscular.

Dessa forma, Fonseca *et al.* (2006) estimaram a excreção de creatinina de 26,05 mg/kg de peso vivo (PV) em caprinos leiteiros. Tem-se um valor inferior aos 11 mg de N-creatina por kg de PV, obtida por Lindberg (1989). No entanto, estes valores devem ser obtidos em estudos mais aprofundados.

Sendo, então, a creatinina um produto do metabolismo do tecido muscular, surge o interesse em estudar seu padrão de excreção em função do ganho de peso do animal. O uso da creatinina como uma ferramenta precisa para estimativa do volume urinário nas diferentes categorias animais torna prático o processo de estimativa da proteína microbiana ruminal por meio do uso do DP excretado na urina.

A creatinina é formada no músculo pela remoção de água da creatina-fosfato, originada do metabolismo do tecido muscular (Harper *et al.*, 1982). A molécula de creatina-fosfato é degradada espontaneamente a taxas relativamente constantes, e, assim, forma a creatinina. A creatinina é um produto metabólico residual, portanto, não é utilizada para formação de novas moléculas, sendo excretada pelos rins.

A produção diária de creatina muscular e, consequentemente, a excreção de creatinina, depende da massa muscular e, portanto, é proporcional ao peso do animal (Costa e Silva *et al.*, 2012). Assim, uma vez determinada a excreção diária de creatinina em função ao peso do animal, e considerando esta concentração constante ao longo do dia, é possível estimar o volume urinário diário. Isso é possível a partir da concentração de creatinina em uma amostra de urina coletada de um animal de peso conhecido.

Atualmente, muito se conhece 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 proteína, carboidratos não-fibrosos ou nitrogênio não-proteico da dieta (Oliveira *et al.*, 2001; Rennó *et al.*, 2001; Valadares *et al.*, 1999), assim, não são esperadas variações decorrentes da dieta.

Alguns trabalhos ainda são responsáveis pelo ajuste de equações capazes de predizer a excreção de creatinina para determinadas categorias de bovinos (Chizzotti *et al.*, 2006).

Em condições brasileiras, O BR-Corte (2023) conduziu meta-análise com bovinos com objetivo de estudar a relação da excreção de creatinina em função do peso corporal, utilizando dados de 25 experimentos (Santos *et al.*, 2023). Os autores testaram alguns efeitos como a classe sexual e os grupos genéticos, porém estas variáveis não influenciaram no modelo.

A seguinte equação foi recomendada para estimar a excreção diária de creatinina na urina (ECU; mg/dia) de bovinos em função do peso vivo (PV; kg): $ECU = 66,2158 \times PC^{0,8384}$. Esta equação foi derivada de um modelo alométrico, que pode ser ajustado quando há dados que contemplam ampla faixa de peso corporal. No caso deste estudo, o peso mínimo foi de 113 kg e máximo de 743 kg.

Sobre horários e número de coletas de urina em bovinos em condições brasileiras, alguns autores avaliaram de que forma a coleta spot pode ser utilizada para estimar o volume urinário, os DP e os compostos nitrogenados totais. Sendo assim, a partir de alguns trabalhos em confinamento e em pastejo (Pereira, 2009; Silva Júnior *et al.*, 2018 e Silva Júnior *et al.*, 2021), o BR-Corte descreveu que não há diferença nas

estimativas entre os diferentes dias de coleta (Santos *et al.*, 2023), avaliando-se um período de coleta de 5 dias.

Além disso, os autores (Santos *et al.*, 2023) demonstraram que uma única amostra spot de urina é suficiente para estimar o volume urinário em bovinos. Ainda, os autores não observaram diferença na relação entre DP e creatinina ao longo de 24h, o que permite inferir que os DP podem ser avaliados em coleta spot obtida em qualquer horário do dia.

Nessa perspectiva, o BR-Corte (2023) recomendou duas coletas pontuais, 4h antes e 4h após o fornecimento da alimentação (Santos *et al.*, 2023) para estimar a excreção total de nitrogênio na urina, uma vez que existe variação na excreção deste nutriente ao longo do dia.

Assim, Santos *et al.* (2017) avaliaram a creatinina como marcador do volume urinário em caprinos Boer, utilizando modelo linear e alométrico. Os autores não encontraram diferença entre os modelos, com banco de dados variando entre 20 e 29 kg de peso corporal nos caprinos do estudo (Figura 4.2).

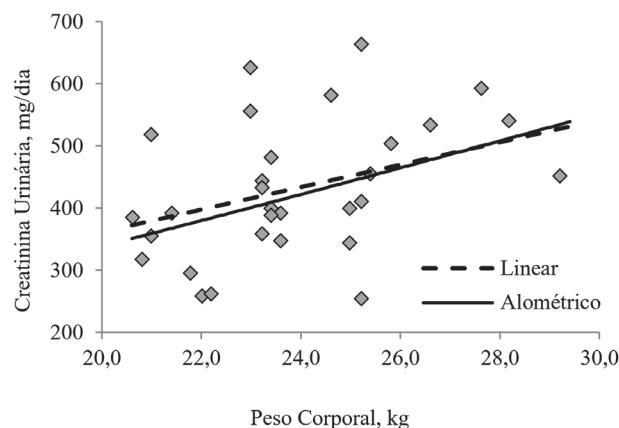


Figura 4.2 – Valores observados de excreção de creatinina urinária (ECU) obtidos por intermédio de coleta total, em função do PV de caprinos Boer, utilizando-se ajuste linear: $ECU = 17,39 \times PV$; ou alométrico $ECU = 23,5 \times PV^{0,9059}$ (Santos *et al.*, 2017).

Neste estudo, os autores também não encontraram diferença entre o volume urinário obtido durante 24h de coleta total, e o volume estimado pela coleta spot 4h após a alimentação. Dessa forma, recomendaram a seguinte equação para estimativa da excreção de creatinina urinária (ECU) para caprinos em crescimento:

$$\text{ECU caprinos} = 17,39 \times \text{PC} (r^2 = 0,96)$$

Outro estudo mais completo, conduzido por Santos *et al.*, (2018), avaliou a adequação do indicador creatinina tanto para ovinos Dorper quanto caprinos Boer. Os pesquisadores não encontraram diferença na estimativa da creatinina entre as espécies, de modo que recomendam um único modelo para estimativa do volume urinário nas duas espécies

$$\text{ECU}_{\text{caprinos e ovinos}} = 19,82 \times \text{PC} (r^2 = 0,98)$$

Mesmo havendo constância na excreção da creatinina urinária, sabe-se que há variação na concentração urinária ao longo do dia e da noite. No mesmo estudo acima, Santos *et al.* (2018) demonstraram que a coleta urinária em horários diurnos (06:00 às 18:00 h) é mais adequada em caprinos e ovinos em relação ao período noturno (18:00 às 06:00 h), pois não difere da concentração observada na coleta total (Figura 4.3).

Os autores atribuíram essas diferenças às variações circadianas de filtração glomerular, reabsorção, e processos de secreção nos néfrons (Muszczyński *et al.*, 2015), que causam alterações na diurese. Dessa forma, Skotnicka *et al.* (2007) apontam que a quantidade de creatinina excretada na urina em mamíferos é menor à noite do que quando estão ativos durante o dia, o que justificaria maiores concentrações de creatinina urinária à noite que durante o dia.

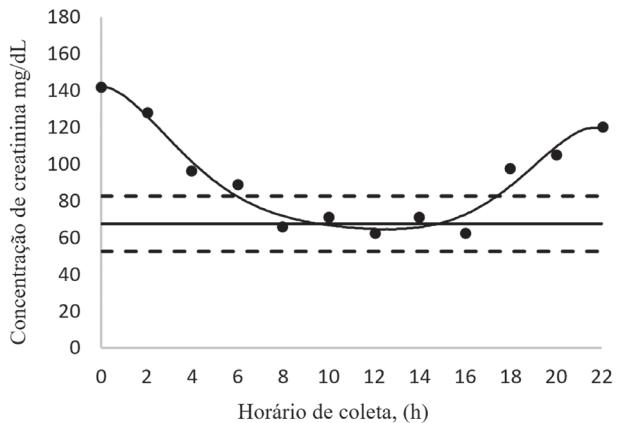


Figura 4.3 – Valores observados de concentração de creatinina em urina spot coletada em intervalos de 2 horas, durante 24h (●); e média observada da concentração de creatinina da coleta total de 24 horas (—), com seu respectivo intervalo de confiança (---) ($\alpha = 95\%$), avaliada em ovinos e caprinos.

Os autores sugeriram realizar coleta spot durina para quantificar as excreções de DP pelo menos 3 horas após a alimentação matinal.

Além disso, para estimar adequadamente a excreção de compostos nitrogenados, recomenda-se, pelo menos, 2 amostras pontuais após a alimentação em caprinos (3 e 5 horas após a alimentação) e 3 amostras pontuais após a alimentação em ovinos (3, 5 e 7 horas após a alimentação).

Os autores relataram que estas variações estão de acordo com o padrão alimentar das espécies, e, assim, destacaram que caprinos apresentam um comportamento ingestivo mais uniforme durante o dia do que os ovinos.

ESTIMATIVA DA EFICIÊNCIA MICROBIANA EM CAPRINOS E OVINOS

Em condições brasileiras, existem modelos para determinação da eficiência microbiana para bovinos de corte. O BR-corte

2010 (Pina *et al.*, 2010), para a obtenção das exigências de PDR de bovinos em condições brasileiras, utilizou-se da eficiência de síntese de proteína microbiana de 120 g de PBmic/kg de NDT consumido, obtida a partir da compilação de dados nacionais, e da taxa de conversão de nitrogênio degradado no rúmen para nitrogênio microbiano de 90%.

Desta forma, as exigências de PDR neste sistema foram calculadas como $1,11 \times \text{PBmic}$. O BR-Corte 2023 (Santos *et al.*, 2023) atualizou o modelo de predição para uma equação que considera ainda o consumo de PB da dieta para realizar a estimativa da eficiência microbiana, considerando assim os seguintes modelos para consumo de NDT (CNDT) e consumo de MOd (CMOD): $\text{PBmic} = -53,07 + 304,9 \times \text{CPB} + 90,8 \times \text{CNDT} - 3,13 \times \text{CNDT}^2$; $\text{PBmic} = -93,62 + 381,7 \times \text{CPB} + 90,7 \times \text{CMOD} - 3,13 \times \text{CMOD}^2$.

Neste sistema, o cálculo da PDR deve ser realizado em conjunto com o cálculo da exigência de PM para compatibilização dos valores de exigência de PDR. Dessa maneira, o software online do BR-corte realiza esses cálculos de forma simultânea.

O NRC (2007) não considera a eficiência microbiana para o cálculo da exigência de PDR para caprinos e ovinos. Este sistema utiliza um modelo simplificado em que considera que a PM representa de 64 a 80% da PB consumida, sendo esta premissa adaptada do NRC (1996) para bovinos de corte. Já o NRC (2007) adaptou um equação para atender a esta premissa, sendo calculada a exigência de PB da seguinte forma: $\text{PB} = \text{PM}/((64 + (0,16 \times \% \text{PNDR}))/100)$.

Esse modelo, portanto, possui várias desvantagens, pois, além de utilizar uma média ampla de valores para conversão de PM em PB, o modelo foi gerado para bovinos

de corte. Ainda, o usuário do sistema precisa conhecer qual será o teor de PNDR da dieta que será fornecida aos animais.

O sistema australiano CSIRO (2007) propôs uma equação baseada no consumo de EM para bovinos e ovinos. Aplicou-se um ajuste para o nível de consumo acima da manutenção. Assim, o modelo proposto considerou a ingestão de EM fermentável (EMF) e o nível de ingestão acima da manutenção (L) como parâmetro exponencial, sendo calculado da seguinte forma: $\text{PBmic} = \text{EMF} \times 7 + 6 \times (1 - e^{-0,35 L})$. Este sistema propôs alguns ajustes para a latitude da região, dia do ano e tipo de forragem.

Em condições brasileiras, Santos *et al.* (2021) desenvolveram equações para realizar a estimativa da síntese microbiana ruminal a partir de variáveis relacionadas ao consumo de energia de caprinos e ovinos, que serão adotadas para os cálculos de exigências proteicas pelo BR-Caprinos & Ovinos.

Dessa maneira, para se conhecer as variáveis que influenciam efetivamente a produção de PBmic em caprinos e ovinos 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 19 trabalhos publicados no Brasil e no exterior (Figuras 4, 5 e 6), oriundos de Universidades do nordeste brasileiro, sendo Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Deste total, 6 estudos foram conduzidos com caprinos, 12 estudos com ovinos e 1 estudo com ambas as espécies. Totalizou-se 668 informações individuais de caprinos ($n = 176$) e ovinos ($n = 492$).

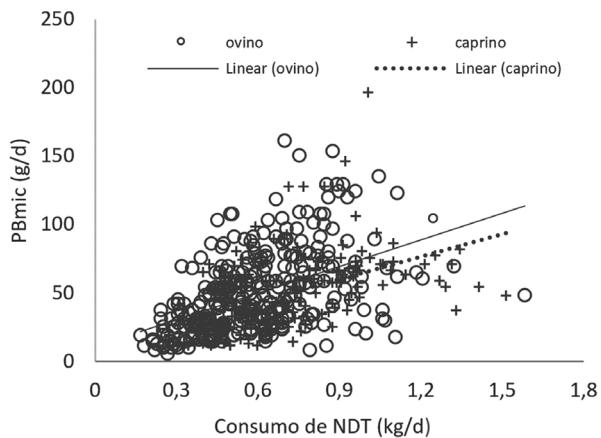


Figura 4.4 – Banco de dados total utilizado para estabelecer a relação entre o consumo de nutrientes digestíveis totais (NDT) (kg/dia) e a proteína bruta microbiana (PBmic) (g/dia) produzida no rúmen de ovinos e caprinos, realizada a partir de 19 experimentos ($n = 668$).

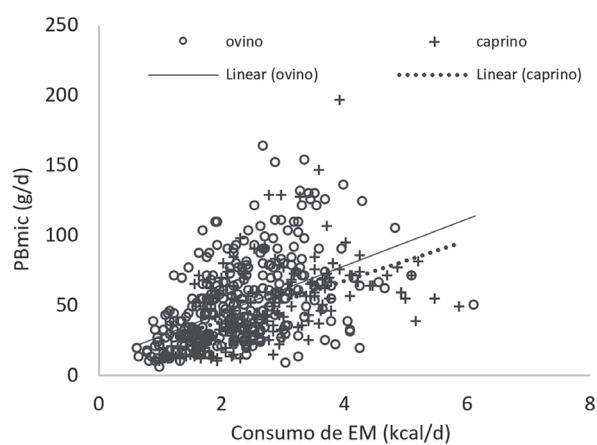


Figura 4.6 – Banco de dados total utilizado para estabelecer a relação entre o consumo de energia metabolizável (EM) (Mcal/dia) e a proteína bruta microbiana (PBmic) (g/dia) produzida no rúmen de ovinos e caprinos, realizada a partir de 19 experimentos ($n = 668$).

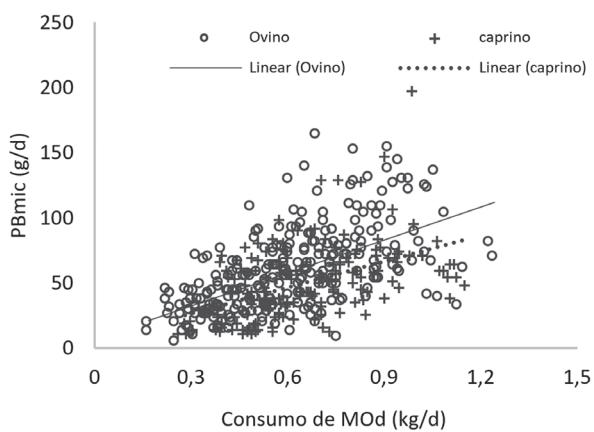


Figura 4.5 – Banco de dados total utilizado para estabelecer a relação entre o consumo de matéria orgânica digestível (MOD) (kg/dia) e a proteína bruta microbiana (PBmic) (g/dia) produzida no rúmen de ovinos e caprinos, realizada a partir de 19 experimentos ($n = 668$).

O estudo não identificou diferença estatística entre as espécies durante a modelagem das equações, dessa forma os autores recomendaram modelos que podem ser utilizados para ambas as espécies, baseados no consumo de NDT (CNDT), consumo de matéria orgânica digestível (CMOD) ou consumo de energia metabolizável (CEM).

Os dados de NDT (Figura 4.4) foram convertidos em EM pelas constantes 4,404 (NRC, 2001), que convertem NDT em energia digestível (DE); e 0,88 (Teixeira *et al.*, 2019), que converte ED em EM para caprinos em condições brasileiras, o que resultou no fator de conversão: consumo de EM (Mcal/dia) = $3,87552 \times$ consumo de NDT (kg/dia).

Desta forma, as seguintes equações podem ser utilizadas:

$$PBmic (g/d) = 12,73 + 59,29 \times CNDT (kg/d)$$

$$PBmic (g/d) = 15,77 + 62,26 \times CMOD (kg/d)$$

$$PBmic (g/d) = 12,73 + 15,30 \times CEM (Mcal/d)$$

RESUMO DE EQUAÇÕES

Cálculo da síntese microbiana a partir do NDT:

$$PB_{mic} \text{ (g/d)} = 12,73 + 59,29 \times CNDT \text{ (kg/d)}$$

Cálculo da síntese microbiana a partir da MOd:

$$PB_{mic} \text{ (g/d)} = 15,77 + 62,26 \times CMOD \text{ (kg/d)}$$

Cálculo da síntese microbiana a partir da EM:

$$PB_{mic} \text{ (g/d)} = 12,73 + 15,30 \times CEM \text{ (Mcal/d)}$$

Cálculo das purinas absorvidas em caprinos:

$$DP = 0,84 \times Pabs + 0,082 \times PV^{0,75} \times e^{-0,25 \times Pabs}$$

Cálculo das purinas absorvidas em ovinos:

$$DP = 0,84 \times Pabs + 0,243 \times PV^{0,75} \times e^{-0,25 \times Pabs}$$

Cálculo do nitrogênio microbiano:

$$Nm_{mic} = (70 \times Pabs) / (0,83 \times 0,116 \times 1000)$$

Cálculo da estimativa do volume urinário

- ECU caprinos e ovinos (mg/dia) = $19,82 \times PC$ ($r^2 = 0,98$)
- Amostra de urina destinada à análise de DP – coletar em qualquer horário do período diurno.
- Amostra de urina destinada à análise de compostos nitrogenados totais – coletar pelo menos 2 amostras pontuais após a alimentação em caprinos (3 e 5 horas após a alimentação) e 3 amostras pontuais após a alimentação em ovinos (3, 5 e 7 horas após a alimentação).

EXEMPLO DE CÁLCULO DA SÍNTESE DE PROTEÍNA MICROBIANA

Exemplo: Um ovino de 30 kg que excreta diariamente 12,0 mmol/dia de derivados de purinas totais na urina:

Cálculo das purinas absorvidas em ovinos:

- $DP = 0,84 \times Pabs + 0,243 \times PV^{0,75} \times e^{-0,25 \times Pabs}$
- $12,0 = 0,84 \times Pabs + 0,243 \times 30^{0,75} \times e^{-0,25 \times Pabs}$

Este cálculo deve ser realizado em planilha do Excel de forma iterativa para que se encontre o valor de Pabs (coluna A) que torna o resultado de DP = 12,0 mmol/dia (coluna B), conforme exemplo abaixo:

	A Pabs	B DP	Fórmula para a coluna B
1	14.00	11.85406	$=(0.84*A1)+(0.243*(30^{0,75})*(EXP(-0.25*A1)))$
2	14.10	11.93574	$=(0.84*A2)+(0.243*(30^{0,75})*(EXP(-0.25*A2)))$
3	14.11	11.94391	$=(0.84*A3)+(0.243*(30^{0,75})*(EXP(-0.25*A3)))$
4	14.12	11.95208	$=(0.84*A4)+(0.243*(30^{0,75})*(EXP(-0.25*A4)))$
5	14.13	11.96025	$=(0.84*A5)+(0.243*(30^{0,75})*(EXP(-0.25*A5)))$
6	14.14	11.96843	$=(0.84*A6)+(0.243*(30^{0,75})*(EXP(-0.25*A6)))$
7	14.15	11.9766	$=(0.84*A7)+(0.243*(30^{0,75})*(EXP(-0.25*A7)))$
8	14.16	11.98477	$=(0.84*A8)+(0.243*(30^{0,75})*(EXP(-0.25*A8)))$
9	14.17	11.99295	$=(0.84*A9)+(0.243*(30^{0,75})*(EXP(-0.25*A9)))$
10	14.18	12.00112	$=(0.84*A10)+(0.243*(30^{0,75})*(EXP(-0.25*A10)))$

Dessa forma, após 10 tentativas, observou-se que o valor de 14,18 mmol/dia corresponde ao total de Pabs por este animal nestas condições. Aplica-se, então, a fórmula para o cálculo do N microbiano e determina-se a síntese de proteína microbiana (PBmic) a partir da multiplicação da constante 6,25:

- $Nmic = (70 \times Pabs) / (0,83 \times 0,116 \times 1000)$
- $Nmic = Pabs \times 0,727$
- $Nmic = 14,18 \times 0,727$
- $Nmic = 10,31 \text{ g/dia}$
- $PBmic = 10,31 \times 6,25$
- $PBmic = 64,43 \text{ g/dia}$

EXEMPLO DE CÁLCULO DE EXIGÊNCIA DE PDR

A fim de demonstrar a aplicação dos modelos apresentados nesse capítulo, será realizada a estimativa das exigências de PDR para um **ovino macho inteiro e castrado**, utilizando também as equações de exigência de energia para ovinos do Capítulo 8, que contém o exemplo da mesma situação. Dessa forma, considerando um **macho inteiro de 30 kg, ganhando 0,150 kg/dia**, em confinamento, tem-se a exigência de EM de 2,60 Mcal/dia.

Cálculo da Síntese de PB microbiana e exigência de PDR:

- $PB_{mic} (g/d) = 12,73 + 15,30 \times CEM (Mcal/d)$
- $PB_{mic} = 12,73 + 15,30 \times 2,60 = 52,51 g/dia$
- $PDR (g/dia) = 52,51 g/dia$

EXEMPLO DE CÁLCULO DO VOLUME URINÁRIO

Ovino de 30 kg com amostra de urina spot contendo 62 mg/dL de creatinina

ECU caprinos e ovinos = $19,82 \times PC$

$ECU\ caprinos\ e\ ovinos = 19,82 \times 30 = 594,6\ mg/dia$

620 mg creatinina ----- 1000 ml urina

594,6 mg creatinina ----- X

X = volume urinário diário = 960 ml de urina

REFERÊNCIAS

- Bach, A.; Calsamiglia, S.; Stern, M.D. Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 88, E9-E21, 2005.
- Belenguer, A.; Yanez, D., Balcells, J.; Baber, N. O.; Ronquillo, M. G. Urinary excretion of purine derivatives and prediction of rumen microbial outflow in goats. *Livestock Production Science*, 77, 127-135, 2002.
- 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.
- CSIRO. Nutrient requirements of domesticated ruminants. commonwealth scientific and industrial research organization Collingwood, Australia: CSIRO Publishing, 2007.
- Chen, X.B.; Hovell, F.D.; Ørskov, E.R.; Brown, D.S. Excretion of purine derivatives by ruminants: effect of exogenous nucleic acid supply on purine derivatives excretion in sheep. *British journal of Nutrition*. 63:131-142. 1990.
- 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*. 1992.
- Chen, X.B.; Mejia, A.T.; Kyle, D.J.; Ørskov, E.R. Evaluation of the use of the purine derivative: creatinine ratio in spot urine and plasma samples as an index of microbial protein supply in ruminants: studies in sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 125, 137-143, 1995.
- Chen, X.B.; Ørskov, E.R. Research on urinary excretion of purine derivatives in ruminants: past, present, and future. Estimation of microbial protein supply in ruminants using urinary purine derivatives, 180-210, 2004.
- Cheng, L.; Cantalapiedra-Hijar, G.; Meale, S.J.; Rugoho, I.; Jonker, A.; Khan, M. A.; Dewhurst, R. J. Markers and proxies to monitor ruminal function and feed efficiency in young ruminants. *Animal*, 15, 100337, 2021.
- Chizzotti, M.L.; Valadares Filho, S.D.C.; Valadares, R.F.D.; Chizzotti, F.H.M.; Campos, J.M.; Marcondes, M.I.; Fonseca, M.A. Consumo, digestibilidade e excreção de ureia 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.
- Silva, L.F.C.; Valadares Filho, S.D.C.; Chizzotti, M.L.; Rotta, P.P.; Prados, L.F.; Valadares, R.F.D.; Braga, J.M. Creatinine excretion and relationship with body weight of Nellore cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, 807-810. 2012.
- Detmann, E.; Valente, É.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., Paulino, M.F., de Campos Valadares Filho, S., Huhtanen, P. *Nutritional aspects applied to grazing cattle in the tropics: a review based on Brazilian results*. Semina: Ciências Agrárias, 35, 2829-2854, 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.
- Fonseca, C.E.M.D.; Valadares, R.F.D.; Valadares Filho, S.D.C.; Leão, M.I.; Cecon, P.R.; Rodrigues, M.T.; Araújo, A. M. Microbial protein synthesis in lactating goats fed diets with increasing levels of dietary protein. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 1169-1177, 2006.
- 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. *The Journal of Agricultural Science*, 109, 7-12, 1987.
- Fujihara, T.; Shem, M.N. Metabolism of microbial nitrogen in ruminants with special reference to nucleic acids. *Animal Science Journal*, 82, 198-208, 2011.
- Giesecke, D.; Ehrentreich, L.; Stangassinger, M.; Ahrens, F. Mammary and renal excretion of purine metabolites in relation to energy intake and milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 77, 8, 2376-2381, 1994.
- Gonzalez-Ronquillo, M.; Balcells, J.; Guada, J.A.; Vicente, F. Purine derivative excretion in dairy cows: Endogenous excretion and the effect of exogenous nucleic acid supply. *Journal of Dairy Science*, 86, 1282-1291. 2003.
- Harper, H.A.; Rodwell, V.W.; Mayes, P. A. *Manual de Química Fisiológica*. 28° ed. São Paulo: Atheneu. 2013. 736p.
- Hristov, A.N.; Bannink, A.; Crompton, L.A.; Huhtanen, P.; Kreuzer, M.; McGee, M.; Yu, Z. Invited review: Nitrogen in ruminant nutrition: A review of measurement techniques. *Journal of Dairy Science*, 102, 5811-5852, 2019.
- Johnson, L.M.; Harrison, J.H.; Riley, R. E. Estimation of the flow of microbial nitrogen to the duodenum using urinary uric acid or allantoin. *Journal of Dairy Science*, 81, 2408-2420, 1998.

- Krause, D.O.; Nagaraja, T.G.; Wright, A.D.G.; Callaway, T.R. Board-invited review: rumen microbiology: leading the way in microbial ecology. *Journal of Animal Science*, 91, 331-341. 2013.
- Lazzarini, I.; Detmann, E.; Sampaio, C.B.; Paulino, M.F.; Valadares Filho, S.C.; Souza, M.A.D.; 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.
- Leng, R.A.; Nolan, J.V. Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of dairy science*, 67, 1072-1089. 1984.
- Lindberg, J.E. Nitrogen metabolism and urinary excretion of purines in goat kids. *British Journal of Nutrition*, 61, 309-321, 1989.
- Magalhães, K.A.; Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F. D.; Paixão, M.L.; Pina, D.D.S.; Paulino, P.V.R.; 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: 1400-140, 2005.
- McAllan, A.B.; Smith, R.H. Degradation of nucleic acid derivatives by rumen bacteria in vitro. *British Journal of Nutrition*, 29, 467-474, 1973.
- Muszczynski, Z.; Skotnicka, E.; Jankowiak, D. Diurnal variations of renal activity in goats. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 39, 455-464, 2015.
- Nagaraja, T.G. Microbiology of the rumen. *Rumenology*, 39-61, 2016.
- Nocek, J.E.; Russell, J. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *Journal of Dairy Science*, 71, 2070-2107, 1988.
- NRC. National Research Council. Nutrient requirements of beef cattle. 7th ed. *National Academy Press*, Washington, DC. 1996.
- NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th. ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001.
- NRC. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. 6th. ed. *National Academy Press*, Washington, DC. 2007.
- Oliveira, A.S.; Valadares, R.F.D.; Valadares Filho, S.D.C.; Cecon, P.R.; Rennó, L.N.; Queiroz, A.C.D.; 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, 1621-1629, 2001.
- 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.
- Orellana, B.P.; Balcells, J.; Martn-Orue, 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.
- Pérez, J.F.; Balcells, J.; Guada, J.A.; Castrillo, C. Rumen microbial production estimated either from urinary purine derivative excretion or from direct measurements of ¹⁵N and purine bases as microbial markers: effect of protein source and rumen bacteria isolates. *Animal Science*, 65, 225-236, 1997.
- 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 – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 2009.
- Pina, D.S.; Valadares, R.F.D.; de Campos, S. Degradação ruminal da proteína dos alimentos e síntese de proteína microbiana. Exigências Nutricionais de Zebuíños Puros e Cruzados, BR-Corte, 2^a edição, 45. 2010.
- Prins, R.A.; Van Rheenen, D.L.; Van Klooster A.T. Characterization of microbial proteolytic enzymes in the rumen. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 49, 585–595. 1983.
- Rennó, L.N.; Valadares, R.F.D.; Leão, M.I.; Valadares Filho, S. C.; Silva, J. F. C. D.; Cecon, P. R.; Oliveira, R. V. D. Estimativa da produção de proteína microbiana pelos derivados de purinas na urina em novilhos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29, 1223-1234, 2000.
- Silva, R.M.N.; Valadares, R.F.D.; Valadares Filho, S.C.; Cecon, P.R.; Rennó, L.N.; Silva, J.M. Uréia para Vacas em Lactação. 2. Estimativas do Volume Urinário, da Produção Microbiana e da Excreção de Ureia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 1948-1957, 2001.
- Romagnolo, L.C.; Polan C.E.; Barbeau W.E. Electrophoretic analysis of ruminal degradability of corn proteins. *Journal of Dairy Science* 77, 1093-1099, 1994.
- Santos, S. A.; Campos, J.M.; 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.

Santos, S.A.; Prates, L.L.; Carvalho, G.G.P.; Santos, A.C.S.; Valadares Filho, S.C.; Tosto, M.S.L.; Sampaio, M.Q. Creatinine as a metabolic marker to estimate urinary volume in growing goats. *Small Ruminant Research*, 154, 105-109, 2017.

Santos, A.C.S.; Santos, S.A.; Carvalho, G.G.P.; Mariz, L.D.S.; Tosto, M.S.L.; Valadares Filho, S.C.; Azevedo, J.A.G. A comparative study on the excretion of urinary metabolites in goats and sheep to evaluate spot sampling applied to protein nutrition trials. *Journal of Animal Science*, 9, 3381-3397, 2018.

Santos, S.A.; Rotta, P.P.; Costa e Silva, L.F.; Menezes, A.C.B.; Valadares Filho, S.C. Degradação ruminal da proteína dos alimentos e síntese de proteína microbiana. Exigências Nutricionais de Zebuíños Puros e Cruzados, BR-Corte, 4^a edição, 2023.

Santos, S.A.; Carvalho, G.G.P.; Azevêdo, J.A.G.; Zanetti, D.; Santos, E.M.; Pereira, M.L.A.; Mariz, L.D.S. Metabolizable protein: 1. Predicting equations to estimate microbial crude protein synthesis in small ruminants. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 650248, 2021.

Silva, M.P. Endogenous fraction of purine derivatives excreted in the urine of small ruminants. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 136 p.2023.

Silva Júnior, J.M.; Rennó, L.N.; Valadares Filho, S.C.; Paulino, M.F.; Detmann, E.; Menezes, G.C.; Martins, T.S.; Paula, R.M.; Rodrigues, J.P.P.; Marcondes, M.I. Evaluation of collection days and times to estimate urinary excretion of purine derivatives and nitrogen compounds in grazing Nellore cattle. *Livestock Science*, 217, 85-91, 2018.

Silva Júnior, J.M.; Rodrigues, J.P.P.; Valadares Filho, S.C.; Detmann, E.; Paulino, M.F.; Rennó, L.N. Estimating purine derivatives and nitrogen compound excretion using total urine collection or spot urine samples in grazing heifers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105, 861-873, 2021.

Skotnicka, E.; Muszczyński, Z.; Dudzinska, W.; Suska, M. A review of the renal system and diurnal variations of renal activity in livestock. *Irish Veterinary Journal*, 60, 1-8, 2007.

Tamminga, S. Protein degradation in the forestomachs of ruminants. *Journal of Animal Science*, 49, 1615-1630, 1979.

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.

Teixeira, I.A.; Almeida, A.K.; Fernandes, M.H.; Resende, K.T. Applying the California net energy system to growing goats. *Translational Animal Science*, 3, 999-1010, 2019.

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.

Vagnoni, D.B.; Broderick, G.A.; Clayton, M.K.; Hatfield, R.D. Excretion of purine derivatives by Holstein cows abomasally infused with incremental amounts of purines. *Journal of Dairy Science*, 80, 1695-1702, 1997.

Valadares, R.F.D.; Broderick, G.A.; Valadares Filho, S.D.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. Effect of replacing.

5

Exigências de energia em caprinos

*Marcia Helena Machado da Rocha Fernandes, Carla Joice Härter,
Anaiane Pereira Souza, Julián Andrés Castillo Vargas, Kleber Tomás de Resende e
Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira*

INTRODUÇÃO

A energia é essencial para assegurar a sobrevivência dos organismos vivos e é definida como a chama da vida (Kleiber, 1961). Os animais obtêm energia por meio da digestão e do metabolismo dos alimentos. Assim, a compreensão das exigências energéticas implica em conhecimento da forma como a energia é utilizada no organismo.

Os sistemas de alimentação existentes para caprinos expressam os valores energéticos com base no fluxo idealizado de energia em um animal, conforme descrito na Figura 5.1, o qual concilia os métodos tradicionais da partição de energia no animal com o conhecimento das etapas intermediárias da utilização dos nutrientes da dieta (NRC, 1981).

Dessa forma, a energia provém dos alimentos por meio de processos digestivos e metabólicos, que não são energeticamente muito eficientes devido às perdas que ocorrem ao longo das vias de assimilação dos nutrientes.

No entanto, nutricionistas, em muitos países, a exemplo do Brasil, padronizaram a caloria como a unidade de preferência e de maior conveniência para expressar o conteúdo energético dos alimentos. Assim, o BR-Caprinos & Ovinos adotou a caloria (1 cal = 4,184 joules), a quilocaloria (1 kcal=1,000 cal) e a megacaloria (1 Mcal=1,000 kcal) como unidades energéticas.

No BR-Caprinos & Ovinos, as exigências energéticas de caprinos são expressas em termos de energia líquida (EL) e energia metabolizável (EM), com base nas diretrizes estabelecidas pelo Sistema de Energia Líquida da Califórnia (CNES, California Net Energy System), o qual foi desenvolvido no final da década de 1950 (Garrett *et al.*, 1959).

O CNES tem sido a base para as recomendações de exigências energéticas dos sistemas de alimentação norte-americanos (NRC, 1984, NRC, 2000, NRC, 2001, NRC, 2007, NASEM, 2016, NASEM, 2021) e dos sistemas de alimentação brasileiros (BR-Corte, 2016; 2010).

O CNES baseia-se, principalmente, em dados que utilizam a técnica do abate comparativo para mensurar a energia retida no corpo de bovinos de corte. Sua principal contribuição é a adoção de diferentes valores de EL de acordo com a proporção de EL utilizada para manutenção e ganho de peso (Lofgreen & Garrett, 1968).

A aplicação do CNES em caprinos tem servido de base para expressar as exigências de energia para manutenção e produção em uma série de experimentos realizados desde a década de 1980 no Brasil. Assim, Teixeira *et al.* (2019) ilustraram a contribuição histórica desses experimentos realizados no Brasil, que serve de base para esse sistema de alimentação.

A série de experimentos para avaliar as exigências nutricionais em caprinos no Brasil teve início na década de 1980, na Universidade Federal de Viçosa, com as teses de doutorado dos Drs. Kleber Tomás de Resende e Américo Garcia da Silva Sobrinho. Posteriormente, ambos os cientistas foram contratados Universidade Estadual Paulista (UNESP) e continuaram dedicando-se a aprimorar nosso conhecimento sobre as exigências nutricionais de pequenos ruminantes.

O Dr. Silva Sobrinho concentrou-se em ovinos, enquanto o Dr. Resende dedicou toda a sua carreira ao trabalho com as exigências nutricionais de caprinos, especialmente caprinos em crescimento. O Dr. Resende orientou várias teses e dissertações, cujos orientados deram continuidade ao seu legado, pesquisando as exigências nutricionais de caprinos nos estados do Sudeste e Nordeste do Brasil.

No sistema BR-CAPRINOS & OVINOS, o cálculo das exigências é baseado no método fatorial, que envolve a estimativa das exigências de energia e nutrientes para cada

função separadamente. Posteriormente, essas estimativas são agregadas para determinar as exigências totais para um determinado animal.

Por esta razão, as exigências de energia e de nutrientes para manutenção, ganho e gestação serão abordadas em diferentes seções de cada capítulo, como Capítulo 5 para a energia, o Capítulo 6 para proteína e o Capítulo 7 para os minerais.

DESCRIÇÃO DOS BANCOS DE DADOS

As estimativas das exigências energéticas dos caprinos no BR-Caprinos & Ovinos foram determinadas com base em 15 estudos desenvolvidos nas condições brasileiras (Tabela 5.1). Os dados destes estudos foram compilados em diferentes bancos de dados de acordo com as exigências que se pretendia estimar (ou seja, manutenção, crescimento, gestação) ou o efeito que se pretendia avaliar (ou seja, sexo, genótipo, tipo de gestação).

Nesse contexto, registra-se que os critérios para a inclusão de um estudo no banco de dados foram a disponibilidade de dados individuais sobre a ingestão de nutrientes, a composição corporal e a composição de produtos, como produtos de gestação.

Assim sendo, o banco de dados utilizado para avaliar o efeito do sexo (machos inteiros, machos castrados e fêmeas) nas exigências de energia dos caprinos em crescimento incluía sete estudos que aplicaram a técnica do abate comparativo (Tabela 5.1).

O banco de dados utilizado para avaliar o efeito do genótipo (leite, corte e nativo – este último incluindo raças nativas e cruzamentos com raça não definida, SRD) nas exigências de energia de caprinos em crescimento incluía 11 estudos que também utilizaram a técnica de abate comparativo.

As estatísticas descritivas das bases de dados utilizada são apresentadas na Tabela 5.2 e 5.3.

Os dados utilizados determinar as exigências de energia para manutenção durante a gestação envolveram cabras Saanen e Alpina (Härter *et al.*, 2017). Os dados utilizados para estimar as exigências de energia para a gestação foram provenientes de dois estudos,

de modo que abrangeu-se 82 observações individuais de cabras Saanen, Alpina e seus cruzamentos (Tabela 5.1; Härter *et al.*, 2017).

A estatística descritiva dos bancos de dados utilizados para estimar as exigências para manutenção e gestação está apresentada na Tabela 5.4.

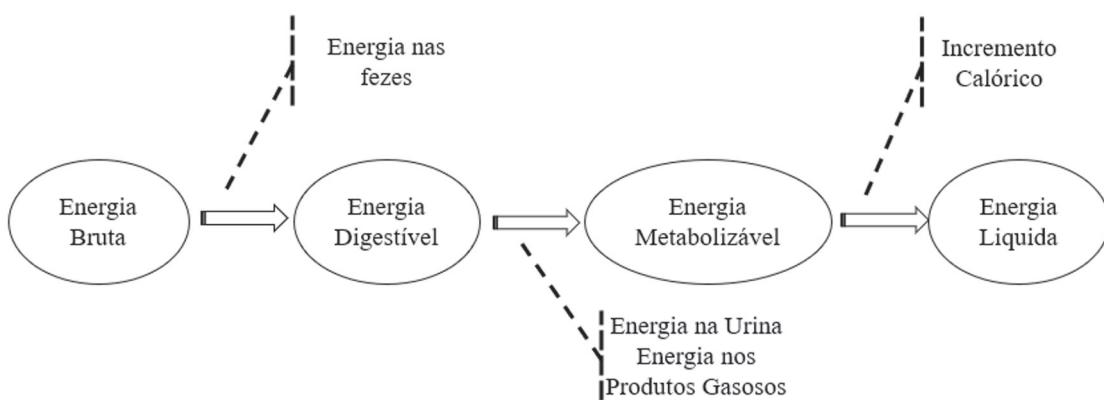


Figura 5.1 – Fluxo de energia no animal.

Tabela 5.1 – Descrição dos estudos utilizados para estimar as exigências energéticas de caprinos no Brasil.

Estudo	n ¹	Raça/Cruzamento	Genótipo ²	Sexo ³
Efeito do sexo nas exigências de energia para manutenção e ganho				
Gomes (2011)	42	Saanen	Leite	M
	19	Saanen	Leite	C
Bompadre <i>et al.</i> (2014)	33	Saanen	Leite	M
	28	Saanen	Leite	F
Medeiros <i>et al.</i> (2014)	41	Saanen	Leite	M
	45	Saanen	Leite	C
Almeida <i>et al.</i> (2015)	40	Saanen	Leite	M
	47	Saanen	Leite	F
Ferreira <i>et al.</i> (2015)	45	Saanen	Leite	C
Figueiredo <i>et al.</i> (2016)	30	Saanen	Leite	F

¹Número total de registros individuais por estudo. Estes estudos foram utilizados para a estimativa de exigências de manutenção, crescimento e gestação. ²Corte (> 50% Boer), genótipo nativo refere-se a raças nativas ou cruzamentos com caprinos sem raça definida (SRD). ³M = macho inteiro, F = fêmea, C = macho castrado.

Tabela 5.1 – Descrição dos estudos utilizados para estimar as exigências energéticas de caprinos no Brasil.
(Continuação).

Estudo	n¹	Raça/Cruzamento	Genótipo²	Sexo³
Figueiredo <i>et al.</i> (2016)	39	Saanen	Leite	C
	40	Saanen	Leite	M
	36	Saanen	Leite	F
Efeito do genótipo nas exigências de energia para manutenção e ganho				
Fernandes <i>et al.</i> (2007)	34	¾ Boer ¼ Saanen	Corte	M
Alves <i>et al.</i> (2008)	26	Moxotó	Nativo	M
Nobrega <i>et al.</i> (2009)	24	½ Boer ½ SRD	Corte	M
Busato (2010)	20	½ Boer ½ SRD	Corte	M
Busato (2010)	20	Canindé	Nativo	M
Busato (2010)	20	Moxotó	Nativo	M
Gomes (2011)	42	Saanen	Leite	M
Bompadre <i>et al.</i> (2014)	33	Saanen	Leite	M
Medeiros <i>et al.</i> (2014)	41	Saanen	Leite	M
Almeida <i>et al.</i> (2015)	40	Saanen	Leite	M
Figueiredo <i>et al.</i> (2016)	40	Saanen	Leite	M
Teixeira <i>et al.</i> (2017)	53	½ Boer ½ Saanen	Corte	M
Resende <i>et al.</i> (2018)	38	SRD	Nativo	M
Exigências de energia para gestação				
Härter <i>et al.</i> (2016)	50	Saanen, Alpina	Leite	F
Härter <i>et al.</i> (2016)	32	Saanen, Alpina	Leite	F
Härter <i>et al.</i> (2017)	66	Saanen, Alpina	Leite	F

¹Número total de registros individuais por estudo. Estes estudos foram utilizados para a estimativa de exigências de manutenção, crescimento e gestação. ²Corte (> 50% Boer), genótipo nativo refere-se a raças nativas ou cruzamentos com caprinos sem raça definida (SRD). ³M = macho inteiro, F = fêmea, C = macho castrado.

Tabela 5.2 – Estatística descritiva da composição corporal de energia metabolizável de caprinos. Estes bancos de dados foram utilizados para estimar o efeito do sexo e do genótipo nas exigências de energia para manutenção de caprinos.

Variáveis ¹	n ¹	Média	DP ²	Mínimo	Máximo
Efeito do sexo nas exigências de energia para manutenção					
Machos castrados					
Peso corporal (kg)	80	27,7	8,25	7,7	40,2
Peso de corpo vazio (kg)	80	22,2	8,56	4,1	39,7
Ganho médio diário (g/day)	80	95	68,4	-16,8	259
Ganho de peso vazio (g/d)	80	83,8	60,5	-8,7	239
Energia retida (kcal/PCV ^{0,75})	80	33,1	27,0	-8,7	120,7
IEM ³ (kcal/PCV ^{0,75})	80	196,7	50,7	106,2	325,2
Machos inteiros					
Peso corporal (kg)	98	24,6	11,5	7,9	42,1
Peso de corpo vazio (kg)	98	21,3	10,6	5,1	41,7
Ganho médio diário (g/day)	98	111,4	64,5	-13,6	264
Ganho de peso vazio (g/d)	98	90,6	53,1	-16	219
Energia retida (kcal/PCV ^{0,75})	98	28,9	17,7	-8,75	69,5
IEM (kcal/PCV ^{0,75})	98	196,5	60,2	65,7	363,8
Fêmeas					
Peso corporal (kg)	60	31,0	8,00	8,0	39,6
Peso de corpo vazio (kg)	60	24,2	9,94	6,6	40,4
Ganho médio diário (g/day)	60	74,4	50,2	-18,8	186
Ganho de peso vazio (g/d)	60	67,5	43,8	-10,3	171
Energia retida (kcal/PCV ^{0,75})	60	29,8	19,6	-8,37	64,9
IEM (kcal/PCV ^{0,75})	60	177,3	52,1	54,8	284,3
Efeito do genótipo nas exigências de energia para manutenção					
Leite					
Peso corporal (kg)	98	24,6	11,5	7,9	42,1
Peso de corpo vazio (kg)	98	21,3	10,6	5,1	41,7
Ganho médio diário (g/day)	98	111,4	64,5	-13,6	264
Ganho de peso vazio (g/d)	98	90,6	53,1	-16	219
Energia retida (kcal/PCV ^{0,75})	98	28,9	17,7	-8,75	69,5
IEM (kcal/PCV ^{0,75})	98	196,5	60,2	65,7	363,8

Tabela adaptada de Souza *et al.*, 2020 e Almeida *et al.*, 2020. ¹ n = Número de registros individuais. ² DP = desvio padrão. ³ IEM = ingestão de energia metabolizável, PCV = peso de corpo vazio.

Tabela 5.2 – Estatística descritiva da composição corporal de energia metabolizável de caprinos. Estes bancos de dados foram utilizados para estimar o efeito do sexo e do genótipo nas exigências de energia para manutenção de caprinos. (*Continuação*).

Variáveis ¹	n ¹	Média	DP ²	Mínimo	Máximo
Nativo					
Peso corporal (kg)	55	19,0	6,76	4,99	31,9
Peso de corpo vazio (kg)	55	15,6	6,04	4,46	28,6
Ganho médio diário (g/day)	55	70,2	61,8	-47,9	208
Ganho de peso vazio (g/d)	55				
Energia retida (kcal/PCV ^{0,75})	55	25,1	21,7	-11,8	71,7
IEM (kcal/PCV ^{0,75})	55	185,2	72,2	79,1	352,3
Corte					
Peso corporal (kg)	87	22,5	7,85	4,30	36,6
Peso de corpo vazio (kg)	87	17,9	6,65	6,18	31,3
Ganho médio diário (g/day)	87	120	94,0	-32,8	391
Ganho de peso vazio (g/d)	87				
Energia retida (kcal/PCV ^{0,75})	87	36,3	23,7	-9,89	80,1
IEM (kcal/PCV ^{0,75})	87	207,2	71,7	87,7	412,5

Tabela adaptada de Souza *et al.*, 2020 e Almeida *et al.*, 2020. ¹ n = Número de registros individuais. ² DP = desvio padrão. ³ IEM = ingestão de energia metabolizável, PCV = peso de corpo vazio.

Tabela 5.3 – Estatística descritiva da composição corporal de caprinos. Estes bancos de dados foram utilizados para estimar o efeito do sexo e do genótipo nas exigências de energia para crescimento de caprinos.

Variáveis ¹	n ¹	Média	DP ²	Mínimo	Máximo
Efeito do sexo nas exigências de energia para ganho					
Machos castrados					
Peso corporal (kg)	73	27,7	8,25	7,7	40,2
Peso de corpo vazio (kg)	73	22,2	8,56	4,1	39,7
Proteína corporal (g/kg PCV ³)	73	176,3	18,0	114,0	258,4
Gordura corporal (g/kg PCV)	73	144,0	69,0	8,5	345,7
Energia corporal (kcal/kg PCV)	73	2220,6	632,9	936,2	4143,2

Tabela adaptada de Souza *et al.*, 2020 e Almeida *et al.*, 2020. ¹ n = Número de registros individuais. ² DP = desvio padrão. ³ PCV = peso de corpo vazio.

Tabela 5.3 – Estatística descritiva da composição corporal e da ingestão de caprinos. Estes bancos de dados foram utilizados para estimar o efeito do sexo e do genótipo nas exigências de energia para crescimento de caprinos. (*Continuação*).

Variáveis ¹	n ¹	Média	DP ²	Mínimo	Máximo
Machos inteiros					
Peso corporal (kg)	94	24,6	11,5	7,9	42,1
Peso de corpo vazio (kg)	94	21,3	10,6	5,1	41,7
Proteína corporal (g/kg PCV)	94	178,1	18,3	120,4	264,3
Gordura corporal (g/kg PCV)	94	107,2	51,6	12,9	257,9
Energia corporal (kcal/kg PCV)	94	1935,7	457,3	963,2	3330,4
Fêmeas					
Peso corporal (kg)	71	31,0	8,00	8,0	39,6
Peso de corpo vazio (kg)	71	24,2	9,94	6,6	40,4
Proteína corporal (g/kg PCV)	71	167,2	18,5	123,4	222,5
Gordura corporal (g/kg PCV)	71	188,4	88,5	21,0	390,4
Energia corporal (kcal/kg PCV)	71	2586,9	790,0	1085,7	4519,6
Efeito do genótipo nas exigências de energia para ganho					
Leite					
Peso corporal (kg)	94	24,6	11,5	7,9	42,1
Peso de corpo vazio (kg)	94	21,3	10,6	5,1	41,7
Proteína corporal (g/kg PCV)	94	178,1	18,3	120,4	264,3
Gordura corporal (g/kg PCV)	94	107,2	51,6	12,9	257,9
Energia corporal (kcal/kg PCV)	94	1935,7	457,3	963,2	3330,4
Nativo					
Peso corporal (kg)	67	19,0	6,76	4,99	31,9
Peso de corpo vazio (kg)	67	15,6	6,04	4,46	28,6
Proteína corporal (g/kg PCV)	67	175,9	16,6	123,2	212,5
Gordura corporal (g/kg PCV)	67	110,5	43,9	50,2	199,3
Energia corporal (kcal/kg PCV)	67	499,5	93,9	346,6	685,9
Corte					
Peso corporal (kg)	79	22,5	7,85	4,30	31,9
Peso de corpo vazio (kg)	79	17,6	6,65	6,18	28,6
Proteína corporal (g/kg PCV)	79	185,8	9,94	167,6	212,5
Gordura corporal (g/kg PCV)	79	108,5	35,1	67,4	199,3
Energia corporal (kcal/kg PCV)	79	2038,7	320,6	1579,8	2772,5

Tabela adaptada de Souza *et al.*, 2020 e Almeida *et al.*, 2020. ¹ n = Número de registos individuais. ² DP = desvio padrão. ³ PCV = peso de corpo vazio.

Tabela 5.4 – Estatísticas descritivas do útero grávido e da glândula mamária de cabras com gestação simples ou gemelar dos 50 aos 140 dias de gestação.

Tipo de gestação/ Dias de gestação										
	Simples					Gemelar				
	50	80	100	110	140	50	80	100	110	140
<i>Útero</i>										
Peso (kg)										
Média	0,379	1,84	2,8	3,93	7,01	0,733	3,51	5,02	6,56	11,0
Mínimo	0,279	1,44	2,41	2,95	5,83	0,588	2,99	4,37	5,37	8,96
Máximo	0,471	2,23	3,82	5,12	7,82	0,866	4,95	5,52	8,30	13,25
DP ¹	0,0279	0,129	0,257	0,486	0,3115	0,046	0,23	0,218	0,392	0,652
Energia (kcal)										
Média	146	683	1458	1900	4561	229,5	1312	2739	3029	7124,5
Mínimo	107	581	1210	1410	3632	175	1016	2150	2138	6039,5
Máximo	181	796	1547	2583	5532	289	2269	3195	4322	8322,5
DP	10,8	34,8	62,5	201	284,5	16,4	152	189	291	407,5
<i>Glândula Mamária</i>										
Peso (kg)										
Média	0,101	0,471	0,610	1,18	2,21	0,335	0,907	1,16	1,41	2,48
Mínimo	0,058	0,131	0,403	0,55	1,03	0,162	0,415	0,733	0,646	1,72
Máximo	0,153	0,870	0,893	2,14	3,95	0,572	1,69	2,24	2,07	3,61
DP	0,014	0,130	0,092	0,203	0,383	0,0585	0,139	0,228	0,224	0,294
Energia (kcal)										
Média	552	1163	2629	3200	4634	794	2246	3121	3143	5534
Mínimo	252	882	1303	1910	2977	358,5	1003	1536	1044	4004
Máximo	955	1452	3309	4383	7211	1334,5	4042	4274	4546	7918
DP	103	132	348	333	650	169,5	341	441	534	658

Tabela adaptada de Härter *et al.*, 2016; ¹DP = Desvio padrão.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA MANTENÇA

Conceitualmente, a exigência de energia para manutenção é definida como a quantidade de energia necessária para manter os processos vitais de um animal. Na prática, ela reflete a energia do alimento necessária para manter os tecidos do corpo sem nenhuma perda ou ganho [energia retida (ER) = 0] (NRC, 2000). A exigência de energia para manutenção inclui a energia usada para o metabolismo basal (também conhecida como produção de calor em jejum) e o incremento calórico (ou seja, o calor produzido devido ao consumo de alimento) (NRC, 1981).

Os processos ou funções incluídas nas exigências de energia para manutenção incluem a regulação da temperatura corporal, os processos metabólicos essenciais (ou seja, a energia necessária para a circulação sanguínea, a respiração, a atividade celular vital etc.) e a atividade física (ou seja, o calor produzido durante atividades como levantar-se, ficar em pé, deitar-se, mover-se para obter alimento, beber etc.).

As exigências de energia de manutenção dos caprinos no BR-Caprinos & Ovinos foram estimadas por meio da técnica do abate comparativo, cujos resultados foram expressos em termos de EL para manutenção (ELm) e EM para manutenção (EMm). A técnica do abate comparativo estima a produção de calor (PCa) indiretamente, subtraindo a ER da ingestão de energia metabolizável (IEM; PCa = IEM – ER).

A ER é medida como a variação no conteúdo de energia corporal de animais alimentados com vários níveis de IEM, que podem ser alcançados por restrição alimentar quantitativa (diferentes quantidades da mes-

ma dieta (Fernandes *et al.*, 2007; Almeida *et al.*, 2015; Teixeira *et al.*, 2017) ou por restrição alimentar qualitativa (proporção variável de ingredientes da dieta, como a proporção de volumoso da dieta; Chizzotti *et al.*, 2007).

Embora a restrição qualitativa promova diferentes níveis de IEM, de modo que permite estimar a EL da dieta, é importante observar que diferentes dietas resultam em diferentes eficiências de utilização da EM. Isso pode influenciar a determinação das eficiências parciais de utilização da EM pelo animal.

Independentemente da abordagem adotada para a obtenção dos diferentes níveis de IEM, os resultados permitem o cálculo de uma relação entre a PCa e a IEM, descrita por uma equação não linear (Equação 5.1), a ELm é o β_0 , que é a PCa quando a IEM é igual a 0 (zero). Originalmente, Lofgreen & Garrett (1968) ajustaram a relação linearizada entre PCa e IEM, usando uma equação semi-logarítmica (Equação 5.2).

A abordagem linearizada foi amplamente utilizada, no entanto, os avanços nos softwares estatísticos facilitaram a aplicação de modelos não lineares (Teixeira *et al.*, 2019).

$$PCa = \beta_0 \times \exp(\beta_1 \times IEM) \quad \text{Eq. 5.1}$$

$$\log PCa = \beta_0 + \beta_1 \times IEM \quad \text{Eq. 5.2}$$

A maioria dos sistemas de alimentação para caprinos baseia-se em EM que são estimados a partir da conversão de EL em EM, utilizando-se da eficiência de utilização (k), ou da estimativa direta das exigências de EM obtidas por meio da regressão da ER em função da IEM (também com base em estudos de abate comparativo).

Esta abordagem permite calcular as exigências de EM para manutenção (EMm) por meio da resolução iterativa da Equação 5.1,

assumindo que a EMm é igual ao valor em que PCa é igual a IEM, e a eficiência da utilização de EM para manutenção (k_m) é calculada como ELM/EMm.

Os gastos energéticos de manutenção variam de acordo com vários fatores, como peso corporal, raça ou genótipo, sexo, idade, estação do ano, temperatura ambiente, estado fisiológico e nutrição prévia. No Brasil, esforços têm sido feitos para avaliar os efeitos de muitos destes fatores, e os resultados obtidos em estudos realizados no país foram incorporados a este sistema de alimentação, quando aplicáveis.

O efeito do sexo nas exigências energia para manutenção em caprinos leiteiros em crescimento foi investigado em uma meta-análise que envolveu sete estudos utilizando o abate comparativo (Tabela 5.1). Nestes estudos, o peso corporal (PC) dos caprinos variou de 5 a 45 kg, a EM das dietas desses estudos variou de 2,4 a 2,9 Mcal/kg de matéria seca (MS) e os animais foram alimentados com diferentes níveis de ingestão, variando de consumo *ad libitum* a, aproximadamente o nível de manutenção.

Esses estudos foram compilados em uma meta-análise (Souza *et al.*, 2020), que revelou que os parâmetros β_0 e β_1 diferiram entre os sexos (Figura 5.1).

Indicou-se que a ELM de machos Saanen inteiros e castrados ($75,0 \text{ kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV}$; Equação 5.3) foi aproximadamente 15% maior do que as fêmeas ($63,6 \text{ kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV}$; Equação 5.4). Essa diferença na ELM entre machos e fêmeas está em consonância com o que tem sido relatado por diferentes sistemas de alimentação (ARC, 1980; NRC, 2007; NASEM, 2016).

$$\begin{aligned} \text{Machos: PCa (kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV)} &= 75,0 \\ &(\pm 1,76) \times \exp^{(0,00395 (\pm 0,000104) \times \text{IEM})} \\ &(\text{kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 5.3}$$

$$\begin{aligned} \text{Fêmeas: PCa (kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV)} &= 63,6 \\ &(\pm 2,89) \times \exp^{(0,00458 (\pm 0,000221) \times \text{IEM})} \\ &(\text{kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 5.4}$$

A EMm de machos inteiros e castrados ($120,9 \text{ kcal/kg}^{0,75} \text{ PC}$) é semelhante e aproximadamente 16% maior em comparação com as fêmeas ($101,2 \text{ kcal/kg}^{0,75} \text{ PC}$; Souza *et al.*, 2020). A k_m foi 0,62 para machos e 0,63 para fêmeas.

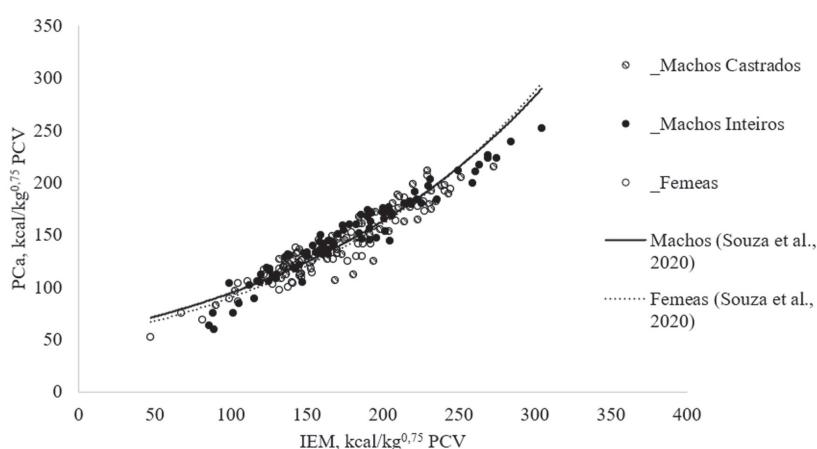


Figura 5.2. Relação entre produção de calor (PCa) e ingestão de energia metabolizável (IEM) de caprinos leiteiros de diferentes sexos: $\text{PCa}_{\text{machos}} = 75,0 (\pm 1,76) \times \exp^{(0,00395 (\pm 0,000104) \times \text{IEM})}$; $\text{PCa}_{\text{femeas}} = 63,6 (\pm 2,89) \times \exp^{(0,00458 (\pm 0,000221) \times \text{IEM})}$. Os parâmetros da equação não diferiram entre machos castrados e machos inteiros ($P > 0,10$). Adaptada de Souza *et al.*, 2020.

As diferenças observadas em ELM e EMm entre sexos podem ser atribuídas às diferenças na composição corporal, como, por exemplo, à maior concentração de proteína corporal nos machos e à maior concentração de gordura corporal nas fêmeas. Além disso, as diferenças no grau de maturidade ao comparar animais de diferentes sexos em um determinado peso corporal também podem estar relacionadas a estas diferenças entre sexos (Souza *et al.*, 2020).

Desta forma, Souza *et al.* (2020) realizaram uma análise para contabilizar o grau de maturidade no modelo de estimativa de ELM, e, para tanto, aplicou-se uma abordagem semelhante à utilizada por Freetly *et al.* (2002). Nesta avaliação, investigaram a relação não-linear entre o PCa e a proporção entre peso de corpo vazio (PCV) e PCV à maturidade. Para tal, adotou-se o PCV à maturidade de caprinos Saanen recomendados por Almeida *et al.* (2016), que é 34,9 kg para machos castrados, 42,6 para machos inteiros e 26,0 kg para fêmeas.

Com essa abordagem, a ELM, obtida a partir da equação não linear (Equação 5.5) considerando o grau de maturidade, deixou de apresentar diferenças entre os sexos (Souza *et al.*, 2020).

$$\text{PCa (kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV)} = 95,2 (\pm 3,78) \times \\ \times \exp^{(-0,621 (\pm 0,0647) \times \text{Razão PCV/PCV a maturidade})} \quad \text{Eq. 5.5}$$

O NRC (2007) agrupou diferentes raças de caprinos em quatro principais grupos: corte ($\geq 50\%$ Boer), leite, Angorá e nativos, e, então, avaliou possíveis efeitos destes grupos nas exigências energéticas. O NRC (2007) recomendou maior EMm para os caprinos leiteiros, seguidos por aqueles da raça Angorá, que, por sua vez, foram maiores do que para os caprinos de corte e nativos.

Conduzindo um estudo meta-analítico, Almeida *et al.* (2020) também avaliaram os efeitos de genótipo nas exigências de energia para manutenção. Para tal, os autores consideraram três genótipos: corte ($\geq 50\%$ Boer), leite (Saanen) e nativos (raças nativas como Moxotó e Canindé, assim como cruzamentos com animais sem raça definida (SRD).

Os efeitos de genótipos na ELM e EMm foram avaliados somente em machos inteiros, devido à ausência de dados de fêmeas e machos castrados em todos os genótipos avaliados. Almeida *et al.* (2020) também constataram que a ELM de caprinos de corte foi 8,5% maior (Equação 5.7, $80,3 \text{ kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV}$) do que em outros genótipos (leite e nativo).

Os parâmetros da equação não diferiram entre os genótipos de caprinos leiteiros e nativos, o que resultou em ELM de $74,0 \text{ kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV}$ para os animais desses genótipos (Equação 5.6, Figura 5.3).

$$\text{Leite e nativos: PCa (kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV)} = 74,0 \\ (\pm 1,96) \times \exp^{(0,00398 (\pm 0,000102) \times \text{IEM})} \\ (\text{kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV}) \quad \text{Eq. 5.6}$$

$$\text{Corte: PCa (kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV)} = 80,3 (\pm 2,58) \\ \times \exp^{(0,00355 (\pm 0,000120) \times \text{IEM})} \\ (\text{kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV}) \quad \text{Eq. 5.7}$$

Lofgreen e Garrett (1968) relataram que a ELM de bovinos de corte como sendo $77 \text{ kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV}$, sem fazer distinção entre genótipos. Posteriormente, foram consideradas diferenças entre raças de bovinos de corte, com o NASEM (2016). Sugeriu-se que *Bos indicus*, exceto Nelore, requerem até 10% menos ELM do que *Bos taurus*, enquanto os animais cruzados apresentando um valor intermediário de ELM.

No entanto, em algumas circunstâncias, como melhoramento genético ou altas taxas

de crescimento, esse ajuste de 10% pode não ser necessário. Além disso, as interações genótipo-ambiente podem resultar em uma população de animais mais adaptados a um determinado ambiente (NASEM, 2016), e, assim, afeta a ELM esperada.

Esse conceito pode ser particularmente relevante para os caprinos, pois estes animais são criados em uma ampla gama de sistemas de criação em todo o mundo (Cannas *et al.*, 2008), o que reforça a necessidade de estudos que avaliem a ELM entre diferentes raças ou genótipos de caprinos.

A EMm dos caprinos machos leiteiros e nativos é semelhante ($118,8 \text{ kcal/kg}^{0,75}$ PC) e é aproximadamente 5% inferior à dos caprinos machos de corte ($125,2 \text{ kcal/kg}^{0,75}$ PC; Almeida *et al.*, 2020), o que resulta em k_m de 0,62 para os caprinos machos leiteiros e nativos, e 0,64 para caprinos de corte.

As variações na EMm estão diretamente relacionadas às variações nas estimativas de ELM e k_m (Teixeira *et al.*, 2019). Enquanto os sistemas de alimentação têm mostrado que o k_m pode variar de 0,56 a 0,75 para caprinos (Cannas *et al.*, 2008), os valores estimados

de k_m nos estudos compilados do BR-CA-PRINOS & OVINOS (Tabela 5.1) mostraram uma variação mais reduzida, entre 0,62 e 0,64 (Teixeira *et al.*, 2019). Isso pode ser uma consequência da adoção de dietas semelhantes nos seus estudos.

Almeida *et al.* (2020) também buscaram incorporar o grau de maturidade no modelo para a estimativa de ELM. Empregaram uma abordagem semelhante à utilizada por Souza *et al.* (2020). No entanto, os autores enfrentaram o desafio da falta de informações sobre o peso a maturidade para diferentes genótipos de caprinos.

Para que resolvessem essa questão, foi aplicado o conceito proposto por Emmans (1989) para estimar o peso a maturidade com base no peso proteico corporal. No entanto, a escassez de informações sobre o peso corporal proteico na maturidade entre os genótipos continua sendo um desafio.

Dada a atual limitação de informações sobre o peso maduro dos caprinos, esta edição do BR-CAPRINOS & OVINOS optou por não considerar o grau de maturidade nas exigências nutricionais dos caprinos.

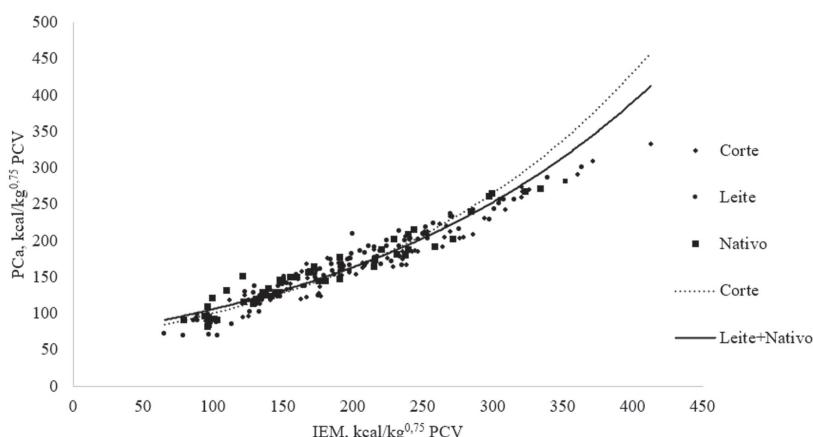


Figura 5.3 – Relação entre a produção de calor (PCa) e a ingestão de energia metabolizável (IEM) de caprinos machos de diferentes genótipos: $\text{PCa}_{\text{corte}} = 80,3 (\pm 2,58) \times \exp(0,00355 (\pm 0,000120) \times \text{IEM})$; $\text{PCa}_{\text{leite,nativo}} = 74,0 (\pm 1,96) \times \exp(0,00398 (\pm 0,000102) \times \text{IEM})$. Os parâmetros da equação não diferiram entre leite e nativo ($P > 0,10$). PCV = peso corporal. Figura adaptada de Almeida *et al.* (2020).

É consenso geral que as exigências de energia de manutenção diminuem à medida que os animais envelhecem (NRC, 2007). Souza *et al.* (2020) confirmaram esse comportamento aplicando a abordagem de regressão da PCa em relação PC/PC a maturidade (Equação 5.5).

Seus resultados mostraram que a ELM diminuiu de 84 kcal/kg^{0,75} PCV quando os caprinos apresentavam grau de maturidade igual a 0,2 para 51 kcal/kg^{0,75} PCV quando atingiram a maturidade (grau de maturidade igual a 1,0).

Tal aspecto também foi corroborado por Härter *et al.* (2017), que investigaram a ELM tendo como base um banco de dados com cabras leiteiras adultas (cabras das raças Saanen e Alpina com aproximadamente 4 anos de idade).

As exigências de energia de manutenção de cabras adultas durante a gestação foram estimadas por meio da aplicação da relação não linear entre a PCa diário e a IEM diário. A PCa foi estimada como a diferença entre a IEM e a ER no corpo materno (corpo da cabra gestante; desconsiderou-se o útero grávido e a glândula mamária).

A ELM destas cabras foi estimada em 47,1 kcal/kg^{0,75} PCV (Equação 5.8), que foi próxima a ELM relatada por Souza *et al.* (2020) para caprinos maduros (51,0 kcal/kg^{0,75} PCV para o grau de maturidade 1,0).

Mais uma vez, devido à falta de informações sobre o peso maduro nos diferentes genótipos de caprinos, esta edição da BR-CAPRINOS & OVINOS não considera o efeito de idade nas exigências nutricionais dos caprinos.

Isso destaca a importância e a necessidade de melhorar nosso conhecimento sobre o peso maduro nesta espécie.

Cabras adultas gestantes:

$$\begin{aligned} \text{PCa (kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV)} = 47,1 (\pm 5,4) \times \\ \times \exp^{(0,00149 (\pm 0,00018) \times \text{IEM})} \\ (\text{kcal/kg}^{0,75} \text{ PCV}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 5.8}$$

A EMM de cabras adultas gestantes foi de 75,3 kcal/kg^{0,75} PCV, o que resultou em k_m de 0,63 (Härter *et al.*, 2017). As menores exigências energéticas observadas por Härter *et al.* (2017) podem estar relacionadas à diminuição da taxa metabólica basal (TMB) observada com o envelhecimento.

Estudo anterior demonstrou que a TMB de ovelhas adultas diminui 8% ao ano a medida que o animal envelhece (Graham *et al.*, 1974). Essa observação está de acordo com a idade das cabras usadas no estudo de Härter *et al.* (2017), as quais estavam aproximadamente em seu terceiro ou quarto parto.

As variações na temperatura ambiente desafiam diretamente a capacidade do animal de manter o equilíbrio energético e térmico, pois ele precisa dissipar o calor gerado pelo metabolismo (Khaliq & Hof, 2018).

No contexto do metabolismo energético, a aclimatação refere-se às respostas adaptativas a mudanças em condições climáticas não extremas, e, portanto, inclui-se as mudanças comportamentais e fisiológicas na produção e dissipação de calor dentro da zona de termoneutralidade (CSIRO, 2007 & NRC, 2007).

As adaptações fisiológicas compreendem alterações no metabolismo basal, na taxa respiratória, no consumo de ração e água, entre outros (Renaudeau *et al.*, 2012). A última edição do NRC para caprinos (NRC, 2007)

recomendou o ajuste opcional da ELM para aclimatação, uma prática geralmente adotada por outros sistemas de alimentação (NRC, 2000; CSIRO, 2007; NASEM, 2016).

Esses ajustes foram baseados na temperatura média dos últimos 30 dias e na temperatura média da zona de termoneutralidade de 20°C, de modo que recomendou-se a adição de 0,69 kcal/kg^{0,75} PC na ELM para cada grau que a temperatura anterior diferisse de 20°C.

Esses ajustes foram compilados a partir de dois estudos que consideram apenas temperaturas ambientes abaixo de 20°C (NRC, 2007).

Por conseguinte, é necessário cautela ao extrapolar essas recomendações para regiões tropicais onde as temperaturas acima dos 20°C são mais frequentes. Além disso, estudos anteriores sugeriram que a faixa de temperatura termoneutra mais adequada pode diferir entre espécies, clima e genótipos (Patra *et al.*, 2009; Helal *et al.*, 2010).

Os efeitos da temperatura, variando de 10 a 35°C, sobre o balanço energético de cabras Saanen e Anglo-Nubiana, foram investigados em um estudo realizado no sudeste brasileiro (Lima *et al.*, 2020). Ao contrário das recomendações do NRC (2007), os resultados dessa pesquisa sugeriram que esses ajustes deveriam ser considerados de forma diferente para cada grau abaixo ou acima de 20°C.

Esses resultados levantaram a questão apontada por Sahlu *et al.* (2004) sobre a temperatura média apropriada da zona termoneutra. Todavia, estudos futuros devem ser conduzidos para confirmar ou estabelecer novos padrões para a zona de termoneutralidade dos caprinos, de modo que se leve em conta as diferentes genótipos.

Além disso, Lima *et al.* (2020) indicaram que o k_m diminuiu em animais submetidos a altas temperaturas (i.e., ambientes com estresse por calor), levando a um aumento na EMm. Portanto, são necessários mais estudos no Brasil que avaliem o efeito do ambiente sobre as exigências nutricionais de caprinos.

Diante disso, ajustes para fatores ambientais ainda não foram adotados nesta edição BR-CAPRINOS & OVINOS.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA GANHO

As exigências de energia para o crescimento referem-se à quantidade de energia armazenada no corpo de um animal como resultado do consumo de uma determinada quantidade de ração acima do necessário para a manutenção (ou seja, ER positiva). A energia líquida para crescimento (ELg) é calculada como a energia retida, armazenada como proteína e gordura no corpo.

Envolve-se a mensuração do conteúdo de energia corporal em diferentes PCV, de acordo com a técnica de abate comparativo (Lofgreen & Garrett, 1968). Para estimar a ELg, primeiramente, uma equação alométrica é ajustada com o PCV como variável independente e a energia corporal como variável dependente.

Essa equação pode ser ajustada na sua forma original (não linear, Equação 5.9) ou linearizada (utiliza-se a transformação logarítmica, Equação 5.10). A ELg (kcal/kg de ganho de PCV) é determinada pela derivada das equações alométricas.

$$\text{Energia do corpo} = \beta_0 \times \text{PCV}^{\beta_1} \quad \text{Eq. 5.9}$$

$$\text{Log}_{10} \text{ Energia do corpo} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{Log}_{10} \text{ PCV} \quad \text{Eq. 5.10}$$

A escolha entre a forma não linear ou log-transformada depende de vários fatores, como o padrão dos resíduos condicionais padronizados inerentes ao banco de dados (Souza *et al.*, 2017; Teixeira *et al.*, 2019). Por exemplo, a equação alométrica linearizada (transformação log-log) é mais fácil de convergir, mas o processo de linearização também apresenta seus próprios problemas.

Ao utilizar o SAS para analisar os dados, procedimentos como NLMIXED, NLIN e a macro %NLINMIX (SAS Inst. Inc.; versão 9.4) podem ser aplicados quando os critérios de convergência são atendidos e as estimativas dos parâmetros são confiáveis. Contudo, isso pode não acontecer em vários casos.

Nesse sentido, a equação alométrica não linear pressupõe que os erros sejam aditivos na escala original (ou seja, variação homogênea em relação à PCV). Enquanto a linearização é apropriada no caso de erros multiplicativos na escala original (ou seja, variação proporcional ao PCV). Uma equação não linear foi utilizada para estimar o ganho de peso do corpo vazio (GPCV) a partir do ganho médio diário (GMD) em caprinos; a equação para estimar o GPCV está apresentada no Capítulo 1.

O efeito do sexo sobre as exigências energia para crescimento em caprinos leiteiros foi investigado. Fez-se uso de um banco de dados composto por de sete estudos de abate comparativo (Tabela 5.1), totalizando 238 registros individuais de caprinos Saanen (Tabela 5.3), com PC variando de 4,6 a 51,0 kg (Souza *et al.*, 2017). A ELg diferiu entre machos castrados, machos inteiros e fêmeas,

e, assim, resultou na recomendação de três diferentes equações:

Machos castrados:

$$\text{ELg (Mcal/d)} = 1,014 \times \text{PCV}^{0,359} (\text{kg}) \times \text{GPCV} (\text{kg/d}) \quad \text{Eq. 5.11}$$

Machos inteiros:

$$\text{ELg (Mcal/d)} = 1,206 \times \text{PCV}^{0,240} (\text{kg}) \times \text{GPCV} (\text{kg/d}) \quad \text{Eq. 5.12}$$

Fêmeas:

$$\text{ELg (Mcal/d)} = 0,953 \times \text{PCV}^{0,442} (\text{kg}) \times \text{GPCV} (\text{kg/d}) \quad \text{Eq. 5.13}$$

Considerando a variação de PC entre 5 e 45 kg, a ELg variou de 1,74 a 3,75 Mcal/kg GPCV para machos castrados (Equação 5.11), de 1,73 a 2,90 Mcal/kg GPCV para machos inteiros (Equação 5.12) e de 1,86 a 4,76 Mcal/kg GPCV para fêmeas (Equação 5.13) variou. Portanto, em um determinado peso corporal, as fêmeas leiteiras apresentaram maior ELg do que os machos, e os machos castrados precisam mais ELg do que os machos inteiros.

Essa diferença foi associada a variações na composição da gordura corporal, que foi mais alta nas fêmeas (95,1 g/kg PCV), seguida por machos castrados (69,8 g/kg PCV) e machos inteiros (51,3 g/kg PCV). Isso significa que as fêmeas têm mais gordura corporal do que os machos, quando avaliadas num determinado PCV.

No entanto, se os animais apresentam composição corporal semelhante em um mesmo grau de maturidade (NASEM, 2016), as diferenças na ELg podem ser anuladas se os caprinos forem avaliados em um determinado grau de maturidade (ou seja, de 0,1 a 1,0).

Portanto, utilizando o peso à maturidade de caprinos Saanen de diferentes sexos estimado por Almeida *et al.* (2016), Souza *et al.* (2017) sugeriram uma equação geral para todos os sexos (Equação 5.14), baseada no grau de maturidade (relação PCV:PCV à maturidade):

$$\text{ELg (Mcal/d)} = 1,265 + (2,312 \times \text{Razão PCV/ PCV a maturidade} (\text{kg}) \times \text{GPCV} (\text{kg/d})) \quad \text{Eq. 5.14}$$

O efeito do genótipo sobre a ELm em caprinos machos em crescimento foi avaliado utilizando um bando de dados composto por 11 estudos (Tabela 5.1), incluindo 240 registros individuais de caprinos machos de três genótipos (corte, leite e nativos) (Tabela 5.3).

A ELg não diferiu entre caprinos machos de corte e nativos (Equação 5.15), mas ambos diferiram dos caprinos leiteiros (Equação 5.16):

$$\text{Corte e Nativos: ELg (Mcal/d)} = 1,068 \times \text{PCV}^{0,350} (\text{kg}) \times \text{GPCV} (\text{kg/d}) \quad \text{Eq. 5.15}$$

$$\text{Leite: ELg (Mcal/d)} = 1,206 \times \text{PCV}^{0,240} (\text{kg}) \times \text{GPCV} (\text{kg/d}) \quad \text{Eq. 5.16}$$

A partir de uma variação de PC entre 5 e 45 kg, a ELg aumentou de 1,73 para 2,90 Mcal/kg GPCV nos caprinos leiteiros e de 1,75 para 2,75 Mcal/kg GPCV nos caprinos de machos de corte e nativos. Almeida *et al.* (2020) também avaliaram se o grau de maturidade anularia as diferenças de ELg entre os genótipos caso fosse considerado no modelo.

Conforme mencionado anteriormente, a falta de informações sobre o peso maduro nos genótipos levou-os a ajustar a equação alométrica da energia corporal total à proteína corporal total. Os autores relataram que essa abordagem cancelou as diferenças de ELg entre os genótipos de caprinos; no entanto, mostrou uma grande variação entre os indivíduos.

Pelas mesmas razões mencionadas anteriormente (ou seja, falta de informações sobre o peso maduro entre os genótipos e os sexos dentro dos genótipos de caprinos), esta edição do BR-CAPRINOS & OVINOS não considera o grau de maturidade nas exigências de energia para o crescimento em caprinos.

A abordagem mais simples para estimar a eficiência de EM para o crescimento (k_g) envolve a regressão da ER em função da IEM (Equação 5.17; Tedeschi *et al.*, 2010), cujo o coeficiente de regressão (inclinação) representa a eficiência parcial da utilização de EM para manutenção e crescimento (k_{m+g}), e não somente k_g .

Por outro lado, k_g pode ser conceitualmente estimado como a inclinação da equação de regressão entre ER em função da IEM acima do nível de manutenção (IEM-EMm). Assume-se que o intercepto do modelo é igual a 0 (Equação 5.18). Assim, espera-se que os valores de k_{m+g} sejam maiores que os valores de k_g , uma vez que k_m costuma ser maior que k_g .

A partir desta última abordagem (Equação 5.18), Souza *et al.* (2020) reportaram k_g de 0,26, 0,32 e 0,31 para machos inteiros, machos castrados e fêmeas, respectivamente. Já Almeida *et al.* (2020) relataram k_g de 0,30 para caprinos nativos e de corte.

$$\text{ER} = \text{EMm} + k_{m+g} \times \text{IEM} \quad \text{Eq. 5.17}$$

$$\text{ER} = k_g \times (\text{IEM} - \text{EMm}) \quad \text{Eq. 5.18}$$

As abordagens descritas nas equações 5.17 e 5.18 implicam uma dependência do k_g quase que exclusivamente da energia da dieta (Tedeschi, 2023). No entanto, a composição corporal do ganho (deposição tecidual) é um dos principais fatores que afeta k_g .

Nesse sentido, as eficiências relacionadas à retenção de energia como gordura (k_{gor}) e proteína (k_{ptn}) foram modeladas por meio

de uma regressão linear múltipla da IEM em função da energia retida como gordura (ERg) e energia retida como proteína (ERp) (Equação 5.19; Birkett & Lange, 2001).

$$\begin{aligned} \text{IEM} &= \text{EMm} + (1/k_{\text{ptn}}) \times \\ \text{ERp} &+ (1/k_{\text{gor}}) \times \text{ERf} \end{aligned} \quad \text{Eq. 5.19}$$

Em geral, os valores relatados de k_{ptn} e k_{gor} indicam que a retenção de energia como proteína em animais em crescimento é energeticamente menos eficiente do que retenção de energia como gordura (Tedeschi *et al.*, 2010). Isso é atribuído ao custo energético mais elevado do turnover proteico, que aumenta a PCa, diminuindo a eficiência de utilização da EM (Chizzotti *et al.*, 2008).

As eficiências de deposição de proteína e gordura para bovinos foram estimadas em 0,20 e 0,75, respectivamente (Geay, 1984). Outro estudo, relatou k_{ptn} de 0,34, enquanto k_{gor} foi 0,79 para bovinos de corte, sem diferenças entre raças ou sexos (Chizzotti *et al.*, 2007).

Com base na composição do ganho, a relação entre k_g e as eficiências de retenção de energia como proteína e gordura, associada à proporção de energia retida como proteína no ganho, Tedeschi (2023) desenvolveu o seguinte modelo teórico (Equação 5.20):

$$k_g = k_{\text{gor}} \times k_{\text{ptn}} / (k_{\text{ptn}} + ERp \times (k_{\text{gor}} - k_{\text{ptn}})) \quad \text{Eq. 5.20}$$

Os resultados de estudos com caprinos indicaram que o k_{ptn} ($0,21 \pm 0,015$) foi menor que o k_{gor} ($0,81 \pm 0,21$) e ambas as eficiências não diferiram entre os sexos (Souza *et al.*, 2020). Os autores ainda discutiram que a variabilidade nas estimativas para k_{gor} é maior do que para k_{ptn} (Souza *et al.*, 2020).

As variações em k_{ptn} e k_{gor} podem ser resultado da colinearidade entre gordura, proteína e ER inerente ao método de regressão

múltipla, o que dificulta a partição da ingestão de energia entre deposição de gordura e proteína. Assumindo k_{ptn} e k_{gor} para caprinos como 0,21 e 0,81, respectivamente (Souza *et al.*, 2020), a aplicação destas à Equação 5.20a, foi possível estimar k_g de caprinos como:

$$k_g = 17/(21 + ERp (\text{Mcal}) \times 60) \quad \text{Eq. 5.21}$$

A proporção de energia retida como proteína no ganho é estimada pela Equação 5.22:

$$\text{ERp (\text{Mcal})} = (\text{PLg (\text{kg/kg de ganho})} \times 5,686) / \text{ELg (\text{Mcal/kg de ganho})} \quad \text{Eq. 5.22}$$

Em que, ERp é a energia retida como proteína, PLg é a proteína líquida para crescimento (kg/kg PC ganho), ELg é a energia líquida para crescimento (Mcal/kg PC ganho) e 5,686 é o valor energético da proteína (Mcal/kg proteína) (Garrett *et al.*, 1959).

A energia metabolizável para crescimento é estimada pela Equação 5.23:

$$\text{EMg (\text{Mcal/d})} = \text{ELg (\text{Mcal/d})} / k_g \quad \text{Eq. 5.23}$$

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA GESTAÇÃO

As exigências líquidas de energia para gestação foram determinadas por meio da retenção de energia no útero grávido (fetos + fluido fetal + tecido uterino com a placenta e placentomas) e na glândula mamária (Härter *et al.*, 2016). Para determinar a retenção líquida de energia nos produtos de gestação, ajustou-se o modelo exponencial ($y = W_0 e^{kt}$) ao conteúdo energético total do útero grávido e da glândula mamária desde o dia do acasalamento até 140 dias de gestação (Härter *et al.*, 2017).

As exigências líquidas de energia para a gestação (ELp, kcal/d) foram obtidas pela derivada do modelo exponencial aplicado ao útero grávido (Equações 5.24 e 5.25) e à glândula mamária (Equações 5.26 e 5.27), considerando gestações simples e gemelares (Härter *et al.*, 2016).

Útero grávido:

$$\text{Simples Energia}_{\text{Útero grávido}} \text{ (kcal)} = 45 e^{0,03396 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 5.24}$$

$$\text{Gemelar Energia}_{\text{Útero grávido}} \text{ (kcal)} = 68 e^{0,03396 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 5.25}$$

Glândula mamária:

$$\text{Simples Energia}_{\text{Glândula mamária}} \text{ (kcal)} = 263 e^{0,0211 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 5.26}$$

$$\text{Gemelar Energia}_{\text{Glândula mamária}} \text{ (kcal)} = 312 e^{0,0211 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 5.27}$$

Em que Energia_{Útero grávido} é a energia total no útero grávido (kcal) em um dado dia de gestação e Energia_{Glândula mamária} é a energia total na glândula mamária (kcal) em um dado dia de gestação.

A eficiência da utilização de EM para gestação (k_{gest}) foi estimada por meio da regressão da retenção diária de energia no corpo materno mais os produtos da gestação em função da IEM diário acima da manutenção. Esta regressão foi definida com intercepto igual a 0, e a k_{gest} foi obtida utilizando o inverso da inclinação para a retenção de produtos da gestação.

Assim, Härter *et al.* (2017) indicaram que a k_{gest} aumentou com o progresso da gestação, sendo 0,058 aos 80 dias de gestação (DOP); 0,10 aos 110 DOP; e 0,19 aos 140 DOP. Já a metabolizabilidade (EM/Energia

bruta) foi de $0,633 \pm 0,0216$ (Härter *et al.*, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O BR-CAPRINOS & OVINOS contribui para o conhecimento das exigências energéticas dos caprinos, e, assim, possibilita o desenvolvimento de um sistema de alimentação adaptado para caprinos criados no Brasil. Esta edição adotou uma abordagem conservadora, visto que recomendou ajustes apenas para sexo e genótipo para caprinos em crescimento, além do tipo e dias de gestação para cabras gestantes.

A consideração do grau de maturidade proporciona uma melhor compreensão do efeito da composição corporal sobre as exigências de energia de animais em crescimento, como foi demonstrado em caprinos leiteiros de diferentes sexos. Entretanto, a correção das exigências para o grau de maturidade não foi possível para caprinos de diferentes genótipos, sendo necessários mais estudos para avaliar o grau de maturidade entre os genótipos, o que poderia permitir de ajustes na ELm e ELg em edições futuras do BR-CAPRINOS & OVINOS.

Outros ajustes não adotados nesta edição, devido à falta de informações, requerem atenção para melhorias em edições futuras. Por exemplo, os efeitos das condições ambientais e do tamanho do trato gastrointestinal são particularmente relevantes, principalmente para ELm e EMm.

Nesta edição do BR-CAPRINOS & OVINOS, os dados disponíveis eram predominantemente de caprinos confinados. No entanto, tendo em vista a diversidade de ambientes em que os caprinos são criados e seu comportamento de pastoreio, é essencial

avaliar o gasto de energia em caprinos em pastejo.

Os ajustes na ELM e na EMm de caprinos em pastejo exigem uma abordagem mais abrangente, considerando a variedade das dietas, a atividade inerente durante o pastejo e os gastos energéticos correspondentes. Além disso, os futuros estudos devem ampliar a variedade de dietas para melhorar as estimativas de eficiência da utilização de EM.

Esta edição não aborda as exigências para a lactação devido à falta de informações disponíveis. Entretanto, são necessários esforços para atender as exigências de lactação.

Embora o BR- CAPRINOS & OVINOS se baseie principalmente em modelos empíricos, reconhecemos as limitações desse tipo de modelos.

Esfórcos futuros devem explorar técnicas alternativas para análise de dados, com aplicação de modelos mecanísticos e dinâmicos, sempre que possível.

RESUMO DOS MODELOS

Um resumo dos modelos utilizados para estimar as exigências de energia para manutenção, crescimento e gestação em caprinos está apresentado nas Tabelas 5.5 e 5.6.

Tabela 5.5 – Resumo dos modelos adotados pelo BR-CAPRINOS & OVINOS para estimar as exigências de energia de caprinos em crescimento.

Variável	Sexo/Genótipo	Modelos
CTGI (g/kg PC)	<i>Vide Capítulo 1</i>	$525,5 \times PC^{-0,33}$
PCV (kg)		$PC - (CTGI \times PC/1000)$
GPCV (g/d)	<i>Vide Capítulo 1</i>	$1,126 \times GMD^{0,941}$
	Leite:	
ELm (Mcal/d)	Fêmeas	$0,0636 \times PCV^{0,75}$
	Machos	$0,0750 \times PCV^{0,75}$
	Nativo	$0,0740 \times PCV^{0,75}$
	Corte	$0,0803 \times PCV^{0,75}$
	Leite:	
ELg (Mcal/d)	Fêmeas	$0,953 \times PCV^{0,442} \times GPCV$
	Machos castrados:	$1,014 \times PCV^{0,359} \times GPCV$
	Machos inteiros:	$1,206 \times PCV^{0,240} \times GPCV$
	Nativo e Corte	$1,068 \times PCV^{0,350} \times GPCV$

CTGI = conteúdo trato gastrointestinal; PCV = peso do corpo vazio; GPCV = ganho de peso do corpo vazio; GMD = ganho de peso médio diário; ELm = exigência líquida de energia para manutenção; ELg = exigência líquida de energia para ganho; k_m = eficiência de utilização de energia para manutenção; ERp = energia retido como proteína

PLg = exigência líquida de proteína para ganho; k_g = eficiência de utilização de energia para crescimento; EMm = exigência metabolizável de energia para manutenção; EMg = exigência metabolizável de energia para ganho; Total EM = exigência metabolizável total; PC = peso corporal

Tabela 5.5 – Resumo dos modelos adotados pelo BR-CAPRINOS & OVINOS para estimar as exigências de energia de caprinos em crescimento. (*Continuação*).

Variável	Sexo/Genótipo	Modelos
k_m	Leite:	
	Fêmeas	0,630
	Machos	0,620
	Nativo	0,620
	Corte	0,640
ERp		(PLg × 5,686) / ELg
<i>Vide Capítulo 6</i>		
PLg (kg/kg PC ganho)	Leite: Machos	$168,84 \times PCV^{0,0150} \times GPCV$
	Females	$181,40 \times PCV^{-0,0414} \times GPCV$
	Nativo e Corte	$181,4 \times PCV^{0,02} \times GPCV$
k_g		$k_g = 17/(21 + ERp \times 60)$
EMm (Mcal/d)		EL_m/k_m
EMg (Mcal/d)		ELg/k_g
EM Total (Mcal/d)		$EM_m + EM_g$

CTGI = conteúdo trato gastrointestinal; PCV = peso do corpo vazio; GPCV = ganho de peso do corpo vazio; GMD = ganho de peso médio diário; ELm = exigência líquida de energia para manutenção; ELg = exigência líquida de energia para ganho; k_m = eficiência de utilização de energia para manutenção; ERp = energia retido como proteína

PLg = exigência líquida de proteína para ganho; k_g = eficiência de utilização de energia para crescimento; EMm = exigência metabolizável de energia para manutenção; EMg = exigência metabolizável de energia para ganho; Total EM = exigência metabolizável total; PC = peso corporal

Tabela 5.6 – Resumo dos modelos adotados pelo BR-CAPRINOS & OVINOS para estimar as exigências de energia de cabras gestantes.

Variável	Dias de gestação/Número de fetos	Modelos
CGTI (g/kg PC)	<i>Vide Capítulo 1</i>	$525,5 \times PC^{-0,33}$
PCV (kg)		$PC - (CTGI \times PC/1000)$
ELm (Mcal/d)		$0,0471 \times PCV^{0,75}$
k_m		0,63
EMm (Mcal/d)		EL_m/k_m

CTGI = conteúdo trato gastrointestinal; PCV = peso do corpo vazio; ELm = exigência líquida de energia para manutenção; ELp = exigência líquida de energia para gestação; k_m = eficiência de utilização de energia para manutenção; k_{gest} = eficiência de utilização de energia para gestação; EMm = exigência metabolizável de energia para manutenção; EMp = exigência metabolizável de energia para gestação; Total EM = exigência metabolizável total; PC = peso corporal.

Tabela 5.6 – Resumo dos modelos adotados pelo BR-CAPRINOS & OVINOS para estimar as exigências de energia de cabras gestantes. (*Continuação*).

Variável	Dias de gestação/Número de fetos	Modelos
ELp (kcal/d)	Gestação Simples	$EL_{\text{Útero grávido}} = 45 \times e^{0,03396 \times \text{dias de gestação}}$ $EL_{\text{Glândula mamária}} = 263 \times e^{0,0211 \times \text{dias de gestação}}$
	Gestação Gemelar	$EL_{\text{Útero grávido}} = 68 \times e^{0,03396 \times \text{dias de gestação}}$ $EL_{\text{Glândula mamária}} = 312 \times e^{0,0211 \times \text{dias de gestação}}$
k_{gest}	80	0,058
	110	0,10
	140	0,19
EMp (Mcal/d)		ELp/ $k_{\text{gest}}/1000$
EM Total (Mcal/d)		EMm + EMp

CTGI = conteúdo trato gastrointestinal; PCV = peso do corpo vazio; ELm = exigência líquida de energia para manutenção; ELp = exigência líquida de energia para gestação; k_m = eficiência de utilização de energia para manutenção; k_{gest} = eficiência de utilização de energia para gestação; EMm = exigência metabolizável de energia para manutenção; EMp = exigência metabolizável de energia para gestação; Total EM = exigência metabolizável total; PC = peso corporal.

EXEMPLO DE CÁLCULO DE EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA LÍQUIDA E METABOLIZÁVEL DE CAPRINOS EM CRESCIMENTO E EM GESTAÇÃO

Para demonstrar a aplicação das equações de predição das exigências de energia (Tabela 5.5) para um cabrito Saanen macho inteiro, pesando 30 kg e com ganho médio diário (GMD) de 200 g/dia, será realizado o seguinte:

Para estimativa de PCV, foi adotada a abordagem indicada no Capítulo 1 do BR-CAPRINOS & OVINOS. Cálculo da estimativa de ganho em peso de corpo vazio também foi indicada no Capítulo 1.

$$CTGI (\text{g/kg PC}) = 525,5 \times PC^{-0,33}$$

$$CTGI (\text{g/kg PC}) = 525,5 \times 30^{-0,33}$$

$$CTGI = 171,05 \text{ g/kg PC}$$

$$PCV (\text{kg}) = PC - (CTGI \times PC / 1000)$$

$$PCV (\text{kg}) = 30 - (171,05 \times 30 / 1000)$$

$$PCV = 24,9 \text{ kg}$$

$$\text{GPCV (g/d)} = 1,126 \times \text{GMD}^{0,941}$$

$$\text{GPCV (g/d)} = 1,126 \times 200^{0,941}$$

$$\text{GPCV (g/d)} = 164,7 \text{ g}$$

$$\text{GPCV} = 0,1647 \text{ kg/d}$$

$$\text{ELm (Mcal/d)} = 0,0750 \times \text{PCV}^{0,75}$$

$$\text{ELm (Mcal/d)} = 0,0750 \times 24,9^{0,75}$$

$$\text{ELm} = 0,836 \text{ Mcal/d}$$

$$\text{EMm (Mcal/d)} = \text{ELm} / k_m$$

$$\text{EMm (Mcal/d)} = 0,836 / 0,62$$

$$\text{EMm} = 1,348 \text{ Mcal/d}$$

$$\text{ELg (Mcal/d)} = 1,206 \times \text{PCV}^{0,240} \times \text{GPCV}$$

$$\text{ELg (Mcal/d)} = 1,206 \times 24,9^{0,240} \times 0,1647$$

$$\text{ELg} = 0,43 \text{ Mcal/d}$$

$$\text{PLg (kg/d)} = (168,84 \times \text{PCV}^{0,0150} \times \text{GPCV}) / 1000$$

$$\text{PLg (kg/d)} = (168,84 \times 24,9^{0,0150} \times 0,1647) / 1000$$

$$\text{PLg (kg/d)} = 0,0292$$

$$\text{ERp (Mcal)} = (\text{ELg} \times 5,686) / \text{ELg}$$

$$\text{ERp (Mcal)} = ((0,0292 \times 5,686) / 0,43)$$

$$\text{ERp} = 0,37 \text{ Mcal}$$

$$k_g = 17 / (21 + \text{REp} \times 60)$$

$$k_g = 17 / (21 + 0,37 \times 60)$$

$$k_g = 0,39$$

$$EMg \text{ (Mcal/d)} = ELg/kg$$

$$EMg \text{ (Mcal/d)} = 0,43/0,39$$

$$EMg = 1,092 \text{ Mcal/d}$$

$$\text{Total EM (Mcal/d)} = EMm + EMg$$

$$\text{Total EM (Mcal/d)} = 1,348 + 1,092$$

$$\text{Total EM} = \mathbf{2,44 \text{ Mcal/d}}$$

Para demonstrar a aplicação das equações de estimativa das exigências energéticas de uma cabra leiteira gestante com 68 kg de PC, com gestação gemelar aos 110 dias de gestação (DOP), o cálculo é o seguinte:

$$CTGI \text{ (g/kg PC)} = 525,5 \times PC^{-0,33} \text{ (kg)}$$

$$CTGI \text{ (g/kg PC)} = 525,5 \times 68^{-0,33}$$

$$CTGI \text{ (g/kg PC)} = 130,57$$

$$CTGI \text{ (g)} = CTGI \text{ (g/kg PC)} \times PC \text{ (kg)}$$

$$CTGI \text{ (g)} = 130,57 \times 68$$

$$CTGI \text{ (g)} = 8878,79$$

$$CTGI \text{ (kg)} = 8,88$$

$$PCV \text{ (kg)} = PC \text{ (kg)} - CTGI \text{ (kg)}$$

$$PCV \text{ (kg)} = 68 - 8,88$$

$$PCV = 59,1 \text{ kg}$$

$$ELm \text{ (Mcal/d)} = 0,0471 \times PCV^{0,75}$$

$$ELm \text{ (Mcal/d)} = 0,0471 \times 59,1^{0,75}$$

$$ELm = 1,004 \text{ Mcal/d}$$

$$EMm \text{ (Mcal/d)} = ELm/k_m$$

$$EMm (\text{Mcal/d}) = 1,004 / 0,63$$

$$EMm = 1,594 \text{ Mcal/d}$$

As exigências de energia líquida desta cabra gestante serão determinadas pela soma das derivadas dos modelos de estimativa do conteúdo de energia líquida do útero grávido e do conteúdo de energia líquida da glândula mamária, como se segue:

$$\text{Conteúdo de energia no útero grávido (kcal)} = 68 \times e^{0,03396 \times \text{dias de gestação}}$$

$$\text{Conteúdo de energia no útero grávido aos 110 dias de gestação (kcal)} = 2,850 \text{ kcal}$$

Exigência de energia para o desenvolvimento do utero gravidico (derivada do modelo)

$$EL_{\text{Útero grávido}} (\text{kcal/d}) = 2,30928 \times e^{0,03396 \times 110 \text{ dias de gestação}}$$

$$EL_{\text{Útero grávido}} (\text{kcal/d}) = 2,30928 \times e^{3,7356}$$

$$EL_{\text{Útero grávido}} (\text{kcal/d}) = 96,7892$$

$$\text{Conteúdo de energia da glândula mamária (kcal)} = 312 \times e^{0,0211 \times \text{dias de gestação}}$$

$$\text{Conteúdo de energia na glândula mamária aos 110 dias de gestação (kcal)} = 3178 \text{ kcal}$$

Exigencia líquida de energia para o desenvolvimento da glândula mamaria (Derivada do modelo) (kcal/d): $6,5832 \times e^{0,0211 \times \text{dias de gestação}}$

$$EL_{\text{Glândula mamária}} (\text{kcal/d}) = 6,5832 \times e^{0,0211 \times 110 \text{ dias de gestação}}$$

$$EL_{\text{Glândula mamária}} (\text{kcal/d}) = 6,5832 \times e^{2,321}$$

$$EL_{\text{Glândula mamária}} (\text{kcal/d}) = 67,0555 \text{ kcal/d}$$

$$ELp (\text{kcal/d}) = 96,7892 + 67,0555 = 163,8448 \text{ kcal/d}$$

Considerando que a eficiência de utilização da energia metabolizável para cabras gestantes aos 110 dias de gestação foi de 0,10:

$$EMp (\text{kcal/d}) = ELp / k_{\text{gest}}$$

$$EMp (\text{kcal/d}) = 163,8448 / 0,1$$

$$EMp = 1638,4 \text{ kcal/d}$$

$$EMp = 1,64 \text{ Mcal/d}$$

A exigência de energia total para uma cabra gestante com gestação gemelar aos 110 dias de gestação:

$$\text{Total EM (Mcal/d)} = \text{EMm} + \text{EMp}$$

$$\text{Total EM (Mcal/d)} = 1,594 + 1,6384$$

$$\text{Total EM} = \mathbf{3,23 \text{ Mcal/d}}$$

Tabela 5.7 – Estimativas das exigências nutricionais de energia para caprinos leiteiros em crescimento.

Sexo	PC (kg)	GMD (g/d)	ELm (Mcal/d)	EMm (Mcal/d)	ELg (Mcal/d)	EMg (Mcal/d)	EM_{total} (Mcal/d)	ED (Mcal/d)	NDT (kg/d)
Fêmeas	10	100	0,289	0,459	0,201	0,535	0,994	1,119	0,254
Fêmeas	10	150	0,289	0,459	0,294	0,784	1,243	1,398	0,318
Fêmeas	10	200	0,289	0,459	0,385	1,027	1,487	1,672	0,380
Fêmeas	15	100	0,404	0,642	0,244	0,584	1,226	1,379	0,313
Fêmeas	15	150	0,404	0,642	0,358	0,855	1,497	1,684	0,383
Fêmeas	15	200	0,404	0,642	0,469	1,121	1,763	1,983	0,451
Fêmeas	20	100	0,511	0,811	0,281	0,625	1,436	1,615	0,367
Fêmeas	20	150	0,511	0,811	0,411	0,916	1,727	1,942	0,441
Fêmeas	20	200	0,511	0,811	0,539	1,200	2,011	2,262	0,514
Fêmeas	25	100	0,612	0,971	0,312	0,661	1,633	1,836	0,417
Fêmeas	25	150	0,612	0,971	0,457	0,969	1,940	2,182	0,496
Fêmeas	25	200	0,612	0,971	0,600	1,270	2,241	2,521	0,573
Fêmeas	30	100	0,708	1,124	0,341	0,694	1,818	2,045	0,465
Fêmeas	30	150	0,708	1,124	0,499	1,017	2,141	2,408	0,547
Fêmeas	30	200	0,708	1,124	0,654	1,333	2,457	2,764	0,628
Castrados	10	100	0,341	0,551	0,180	0,522	1,072	1,206	0,274
Castrados	10	150	0,341	0,551	0,263	0,764	1,315	1,479	0,336
Castrados	10	200	0,341	0,551	0,345	1,001	1,552	1,746	0,397
Castrados	15	100	0,477	0,769	0,211	0,562	1,331	1,497	0,340
Castrados	15	150	0,477	0,769	0,309	0,823	1,592	1,791	0,407
Castrados	15	200	0,477	0,769	0,405	1,079	1,848	2,079	0,472
Castrados	20	100	0,603	0,972	0,236	0,594	1,566	1,762	0,400
Castrados	20	150	0,603	0,972	0,345	0,871	1,842	2,072	0,471

Castrados = machos castrados; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; 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; EM_{total} = exigência de energia metabolizável total; ED = energia digestível; NDT = nutrientes digestíveis totais.

Tabela 5.7 – Estimativas das exigências nutricionais de energia para caprinos leiteiros em crescimento. (Continuação).

Sexo	PC (kg)	GMD (g/d)	ELm (Mcal/d)	EMm (Mcal/d)	ELg (Mcal/d)	EMg (Mcal/d)	EM_{total} (Mcal/d)	ED (Mcal/d)	NDT (kg/d)
Castrados	20	200	0,603	0,972	0,453	1,141	2,113	2,377	0,540
Castrados	25	100	0,721	1,164	0,257	0,622	1,785	2,008	0,456
Castrados	25	150	0,721	1,164	0,377	0,911	2,074	2,333	0,530
Castrados	25	200	0,721	1,164	0,494	1,194	2,357	2,652	0,603
Castrados	30	100	0,835	1,347	0,276	0,646	1,993	2,242	0,509
Castrados	30	150	0,835	1,347	0,404	0,946	2,293	2,579	0,586
Castrados	30	200	0,835	1,347	0,529	1,240	2,587	2,910	0,661
Machos	10	100	0,341	0,551	0,168	0,507	1,058	1,190	0,270
Machos	10	150	0,341	0,551	0,246	0,743	1,293	1,455	0,331
Machos	10	200	0,341	0,551	0,323	0,974	1,524	1,715	0,390
Machos	15	100	0,477	0,769	0,187	0,533	1,302	1,464	0,333
Machos	15	150	0,477	0,769	0,274	0,780	1,549	1,742	0,396
Machos	15	200	0,477	0,769	0,359	1,023	1,792	2,015	0,458
Machos	20	100	0,603	0,972	0,202	0,552	1,524	1,714	0,390
Machos	20	150	0,603	0,972	0,295	0,809	1,780	2,003	0,455
Machos	20	200	0,603	0,972	0,387	1,060	2,032	2,285	0,519
Machos	25	100	0,721	1,164	0,214	0,568	1,732	1,948	0,443
Machos	25	150	0,721	1,164	0,313	0,832	1,995	2,245	0,510
Machos	25	200	0,721	1,164	0,410	1,090	2,254	2,535	0,576
Machos	30	100	0,835	1,347	0,224	0,581	1,929	2,169	0,493
Machos	30	150	0,835	1,347	0,328	0,852	2,199	2,473	0,562
Machos	30	200	0,835	1,347	0,430	1,116	2,464	2,771	0,630

Castrados = machos castrados; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; 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; EM_{total} = exigência de energia metabolizável total; ED = energia digestível; NDT = nutrientes digestíveis totais.

Tabela 5.8 – Estimativas das exigências nutricionais de energia para caprinos machos nativos e de corte, em crescimento.

Aptidão	PC (kg)	GMD (g/d)	ELm (Mcal/d)	EMm (Mcal/d)	ELg (Mcal/d)	EMg (Mcal/d)	EMtotal (Mcal/dia)	ED (Mcal/dia)	NDT (kg/dia)
Nativos	10	100	0,337	0,543	0,186	0,555	1,098	1,235	0,281
Nativos	10	150	0,337	0,543	0,272	0,813	1,356	1,525	0,347
Nativos	10	200	0,337	0,543	0,357	1,065	1,608	1,809	0,411
Nativos	15	100	0,470	0,759	0,217	0,596	1,355	1,524	0,346
Nativos	15	150	0,470	0,759	0,318	0,874	1,632	1,836	0,417
Nativos	15	200	0,470	0,759	0,417	1,145	1,904	2,141	0,487
Nativos	20	100	0,594	0,959	0,242	0,630	1,588	1,787	0,406
Nativos	20	150	0,594	0,959	0,355	0,922	1,881	2,116	0,481
Nativos	20	200	0,594	0,959	0,465	1,209	2,167	2,438	0,554
Nativos	25	100	0,712	1,148	0,264	0,657	1,806	2,031	0,462
Nativos	25	150	0,712	1,148	0,386	0,963	2,111	2,374	0,540
Nativos	25	200	0,712	1,148	0,506	1,262	2,410	2,711	0,616
Nativos	30	100	0,824	1,329	0,282	0,682	2,011	2,262	0,514
Nativos	30	150	0,824	1,329	0,413	0,998	2,328	2,618	0,595
Nativos	30	200	0,824	1,329	0,542	1,309	2,638	2,967	0,674
Corte	10	100	0,365	0,571	0,186	0,555	1,126	1,266	0,288
Corte	10	150	0,365	0,571	0,272	0,813	1,384	1,556	0,354
Corte	10	200	0,365	0,571	0,357	1,065	1,636	1,840	0,418
Corte	15	100	0,510	0,798	0,217	0,596	1,394	1,568	0,356
Corte	15	150	0,510	0,798	0,318	0,874	1,671	1,880	0,427
Corte	15	200	0,510	0,798	0,417	1,145	1,943	2,185	0,497
Corte	20	100	0,645	1,008	0,242	0,630	1,637	1,842	0,419
Corte	20	150	0,645	1,008	0,355	0,922	1,930	2,171	0,493
Corte	20	200	0,645	1,008	0,465	1,209	2,217	2,493	0,567
Corte	25	100	0,772	1,207	0,264	0,657	1,864	2,097	0,477
Corte	25	150	0,772	1,207	0,386	0,963	2,170	2,441	0,555
Corte	25	200	0,772	1,207	0,506	1,262	2,469	2,777	0,631
Corte	30	100	0,894	1,397	0,282	0,682	2,079	2,338	0,531
Corte	30	150	0,894	1,397	0,413	0,998	2,396	2,695	0,612
Corte	30	200	0,894	1,397	0,542	1,309	2,706	3,044	0,692

Corte = > 50% Boer; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; 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; EM_{total} = exigência de energia metabolizável total; ED = energia digestível; NDT = nutrientes digestíveis totais.

Tabela 5.9 – Estimativas das exigências de energia metabolizável para cabras em gestação.

Dias de gestação	PC (kg)	EMm (Mcal/d)	EMP (Mcal/d)	EMtotal (Mcal/dia)
Gestação Simples				
50	44,0	1,120	0,421	1,541
50	52,0	1,273	0,421	1,693
50	60,0	1,419	0,421	1,840
50	68,0	1,561	0,421	1,981
50	76,0	1,698	0,421	2,119
80	44,0	1,157	0,916	2,073
80	52,0	1,308	0,916	2,224
80	60,0	1,453	0,916	2,369
80	68,0	1,594	0,916	2,510
80	76,0	1,731	0,916	2,646
110	44,0	1,194	1,200	2,394
110	52,0	1,343	1,200	2,543
110	60,0	1,487	1,200	2,687
110	68,0	1,627	1,200	2,827
110	76,0	1,763	1,200	2,963
140	44,0	1,230	1,489	2,720
140	52,0	1,378	1,489	2,868
140	60,0	1,521	1,489	3,011
140	68,0	1,660	1,489	3,149
140	76,0	1,795	1,489	3,284
Gestação gemelar				
50	44,0	1,120	0,534	1,655
50	52,0	1,273	0,534	1,807
50	60,0	1,419	0,534	1,954
50	68,0	1,561	0,534	2,095
50	76,0	1,698	0,534	2,233
80	44,0	1,157	1,195	2,352
80	52,0	1,308	1,195	2,503
80	60,0	1,453	1,195	2,648
80	68,0	1,594	1,195	2,789
80	76,0	1,731	1,195	2,925

PC = peso corporal; EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; EMP = exigência de energia metabolizável para gestação; EM_{total} = exigência de energia metabolizável total

Tabela 5.9 – Estimativas das exigências de energia metabolizável para cabras em gestação. (*Continuação*).

Dias de gestação	PC (kg)	EMm (Mcal/d)	EMp (Mcal/d)	EMtotal (Mcal/dia)
110	44,0	1,194	1,610	2,804
110	52,0	1,343	1,610	2,953
110	60,0	1,487	1,610	3,097
110	68,0	1,627	1,610	3,237
110	76,0	1,763	1,610	3,373
140	44,0	1,230	2,042	3,272
140	52,0	1,378	2,042	3,420
140	60,0	1,521	2,042	3,563
140	68,0	1,660	2,042	3,702
140	76,0	1,795	2,042	3,837

PC = peso corporal; EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; EMp = exigência de energia metabolizável para gestação; EM_{total} = exigência de energia metabolizável total

REFERÊNCIAS

- Almeida, A.K. Energy requirements for growth in Macho and Femea Saanen goats. *Journal of animal science*, v. 93, n. 8, p. 3932-40, 8 ago. 2015.
- Almeida, A.K. Using body composition to determine weight at maturity of Macho and Femea saanen goats. *Journal of Animal Science*, v. 94, n. 6, 2016.
- Almeida, A.K. Genotype effects on energy and protein requirements in growing Macho goats. *Animal*, v. 14, n. S2, p. s323-s331, 2020.
- Alves, K.S. Energy requirements for maintenance and net efficiency of metabolizable energy utilization for maintenance and weight gain of Moxotó kids. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n. 8, p. 1475-1482, 2008.
- ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock: Technical Review*. [s.l.] Agricultural Research Council by the Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980.
- Birkett, S.; Lange, K. de. Limitations of conventional models and a conceptual framework for a nutrient flow representation of energy utilization by animals. *British Journal of Nutrition*, v. 86, n. 6, p. 647-659, 2001.
- Bompadre, T.F.V. Energy requirements in early life are similar for Macho and Femea goat kids. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 27, n. 12, p. 1712-1720, 1 dez. 2014.
- Busato, K.C. *Exigencias nutricionais de caprinos nativos e mestiços de Boer no semiárido nordestino*. Dissertação Mestrado-Pernambuco, Brasil: Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2010.
- Cannas, A. Energy and protein requirements of goats. Em: *Leite goats feeding and nutrition*. [s.l.] CAB International Wallingford UK, 2008. p. 118-146.
- Chizzotti, M.L. Energy and protein requirements for growth and maintenance of F1 Nellore x Red Angus bulls, steers, and heifers. *Journal of Animal Science*, v. 85, n. 8, p. 1971-1981, 2007.
- 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*, v. 86, n. 7, p. 1588-1597, 2008.
- CSIRO. *Nutrient requirements of domesticated ruminants. Primary Industries Standing Committee*. [s.l.] Csiro Publishing, 2007.
- Emmans, G.C. *The growth of turkeys*. In 'Recent advances in turkey science'. (Eds C Nixey, TC Grey) p. 135-166, 1989.
- Fernandes, M. H. M. R. Energy and protein requirements for maintenance and growth of Boer crossbred kids. *Journal of Animal Science*, v. 85, n. 4, 2007.
- Ferreira, A.C.D. Protein and energy requirements of castrated Macho Saanen goats. *Small Ruminant Research*, v. 123, n. 1, 2015.
- Figueiredo, F.O.M. Energy requirements for growth of pubertal Femea Saanen goats. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 100, n. 2, p. 294-300, 2016.
- Figueiredo, F.O.M. Energy and protein requirements of weaned Macho and Femea Saanen goats. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, p. 1-12, 2016.
- Freetly, H.C.; Nienaber, J.A.; Brown-Brandl, T. Relationships among heat production, body weight, and age in Finnsheep and Rambouillet ewes2. *Journal of Animal Science*, v. 80, n. 3, p. 825-832, 1 mar. 2002.
- 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*, v. 18, n. 2, p. 528-547, 1959.
- Geay, Y. Energy and Protein Utilization in Growing Cattle. *Journal of Animal Science*, v. 58, p. 766-778, 1984.
- Gomes, H.F.B. *Composição corporal e exigências nutricionais de caprinos Saanen machos dos 30 aos 45 kg*. Dissertação Mestrado-Jaboticabal, Brasil: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2011.
- Graham, N.M.; Searle, T.W.; Griffiths, D.A. Basal metabolic rate in lambs and young sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 25, n. 6, p. 957-971, 1974.
- Härter, C.J. Net energy and protein requirements for pregnancy differ between goats and sheep. *Journal of animal science*, v. 94, p. 2460-2470, 2016.
- Härter, C. J. Energy and protein requirements for maintenance of Leite goats during pregnancy and their efficiencies of use. *Journal of Animal Science*, v. 95, n. 9, p. 4181-4193, 2017.
- Helal, A. Effects of acclimatization on energy expenditure by different goat genotypes. *Livestock Science*, v. 127, n. 1, p. 67-75, 2010.
- Khaliq, I.; Hof, C. Testing the heat dissipation limitation hypothesis: basal metabolic rates of endotherms decrease with increasing upper and lower critical temperatures. *PeerJ*, v. 6, p. e5725, 2018.
- Kleiber, M. The fire of life. An introduction to animal energetics. *An introduction to animal energetics*, 1961.

- Lima, A.R.C. Energy expenditure of Saanen and Anglo-Nubian goats at different temperatures. *Small Ruminant Research*, v. 193, 2020.
- 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*, v. 27, n. 3, p. 793-806, 1968.
- Medeiros, A.N. Energy requirements for maintenance and growth of Macho saanen goat kids. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 27, n. 9, p. 1293-1302, 2014.
- NASEM. National Academies of Sciences and Medicine. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press, 2016.
- NASEM. National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press, 2021.
- Nobrega, G.H. Composição corporal, exigências em proteína e energia para ganho de peso de caprinos em pastejo. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 30, p. 407-414, 2009.
- NRC. *Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms*. Washington, DC: The National Academies Press, 1981.
- NRC. *Nutrient requirements of goats: angora, Leite, and Corte goats in temperate and tropical countries*. [s.l.] National Academies Press, 1981. v. 15
- NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Washington, DC: The National Academies Press, 1984.
- NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000*. National Research Council. Washington, DC: The National Academies Press, 2000.
- NRC. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press, 2001.
- NRC. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. Washington, DC: The National Academies Press, 2007.
- Patra, A.K. Effects of acclimatization on energy expenditure by Corte goats. *Small Ruminant Research*, v. 81, n. 1, p. 42-54, 2009.
- Renaudeau, D. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, v. 6, n. 5, p. 707-728, 2012.
- Resende, K.T. Energy and protein requirements during the growing phase of Nativo goats. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 39, n. 1, p. 241-251, 2018.
- Sahlu, T. Nutrient requirements of goats: Developed equations, other considerations and future research to improve them. *Small Ruminant Research*, v. 53, n. 3, p. 191-219, 2004.
- Souza, A. P. Sex effects on net protein and energy requirements for growth of Saanen goats. *Journal of Leite Science*, v. 100, n. 6, p. 4574-4586, 1 jun. 2017.
- Souza, A.P. Energy requirements and efficiency of energy utilization in growing Leite goats of different sexes. *Journal of Leite Science*, v. 103, n. 1, 2020.
- Tedeschi, L.O. The partial efficiency of use of metabolizable energy to net energy for growth in ruminants. *EAAP Publication*, n. 127, p. 519-529, 2010.
- Tedeschi, L.O. *Review: Harnessing extant energy and protein requirement modeling for sustainable beef production*. Animal, B.V, 2023.
- Teixeira, I.A.M.A. Body composition, protein and energy efficiencies, and requirements for growth of F1 boer × saanen goat kids. *Journal of Animal Science*, v. 95, n. 5, p. 2121-2132, 1 maio 2017.
- Teixeira, I.A.M. A. et al. Applying the California net energy system to growing goats. *Translational Animal Science*, v. 3, n. 2, 2019.

6

Exigências de proteína em caprinos

Anaiane Pereira Souza, Carla Joice Härter, Marcia Helena Machado da Rocha Fernandes, Julián Andrés Castillo Vargas, Kleber Tomás de Resende e Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira

INTRODUÇÃO

Proteínas são comumente descritas como macromoléculas constituídas por aminoácidos, e sua síntese está ligada ao código genético (Nelson & Cox, 2019). Estas biomoléculas desempenham um papel crucial no metabolismo. Influenciam em diversas funções fisiológicas e metabólicas, bem como na saúde geral do animal.

As proteínas influenciam o metabolismo de outros nutrientes, particularmente carboidratos e lipídios, por meio, por exemplo, das enzimas e coenzimas atuantes na digestão e utilização de energia.

Além disso, as proteínas são importantes para o crescimento e manutenção muscular dos animais, uma vez que os aminoácidos são os blocos formadores das proteínas e consequentemente dos músculos.

Dentre as muitas funções das proteínas, destacam-se o papel: i) na função imunológica, uma vez que muitos componentes do

sistema imunológico, incluindo anticorpos, enzimas e receptores de células imunes, são proteínas; ii) na função enzimática, uma vez que as enzimas são macromoléculas proteicas que catalisam reações bioquímicas no corpo e estão envolvidas em processos como digestão, absorção de nutrientes e metabolismo celular; iii) na reprodução, as proteínas influenciam o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos, a formação de gametas, a produção de hormônios e a saúde reprodutiva geral; iv) na produção de leite, já é conhecido que determinados aminoácidos são muito importantes tanto para a síntese de proteína, quanto de gordura do leite; v) na manutenção das funções corporais, tais como manutenção do equilíbrio de fluidos, transporte de nutrientes e oxigênio no sangue, entre outros; vi) como fonte de energia, uma vez que o ruminante pode utilizar proteínas dietéticas e corporais como fonte de energia através da gliconeogênese; vii) e na produção hormonal, uma vez que vários hormônios envolvidos no metabolismo, crescimento e reprodução são hormônios peptídicos derivados de proteínas

(Reece, 2006; Cheeke; Dierenfeld, 2010; Nelson; Cox, 2019).

Com base nessas informações, entende-se que para manter a saúde e a produtividade dos caprinos é fundamental fornecer uma dieta balanceada que atenda às suas necessidades de proteína. Por outro lado, a ingestão excessiva de proteínas pode levar ao aumento da excreção de nitrogênio, o que é ineficiente para o animal e deletério ao meio ambiente (Marini & Van Amburgh, 2005).

Assim, a definição de valores adequados das exigências de proteína em caprinos é essencial para otimizar o desempenho produtivo dessa espécie (NRC, 2007).

Os estudos para a estimativa das exigências dos caprinos em diferentes estágios produtivos (manutenção, ganho ou gestação) conduzidos no Brasil adaptaram a técnica de abate comparativo estabelecida pelo *California Net Energy System*, proposto por Lofgreen & Garret (1968). Portanto, esta foi a abordagem adotada para caprinos no BR-CAPRINOS & OVINOS.

É também importante mencionar que na nutrição de ruminantes, proteína metabolizável (PM) é um conceito que tem sido adotado nos sistemas de alimentação por representar maior precisão relacionada à utilização metabólica das proteínas por esses animais (AFRC, 1993, 1998; CSIRO, 2007; NRC, 2007; INRA, 2018). Com base nisso, neste sistema de alimentação adotaremos as exigências de proteína líquida e metabolizá-

vel para manutenção, crescimento e gestação em caprinos.

DESCRIÇÃO DOS BANCOS DE DADOS

Foram compilados diferentes bancos de dados para estimar as exigências de proteína de caprinos no Brasil.

Assim como descrito no Capítulo 5, no BR-CAPRINOS & OVINOS foi dada preferência aos estudos com disponibilidade de dados individuais de consumo de nutrientes, composição corporal e composição de produtos, como por exemplo os produtos de gestação.

O banco de dados utilizado para avaliar o efeito de sexo (machos inteiros, machos castrados e fêmeas) nas exigências de proteína de caprinos em crescimento reuniu sete estudos que utilizaram a técnica do abate comparativo (Tabela 6.1).

Por outro lado, o banco de dados utilizado para avaliar o efeito de genótipo (leite, corte e nativos – este último incluindo raças nativas e cruzamentos com caprinos sem raça definida (SRD)) nas exigências de proteína de caprinos em crescimento incluiu 11 estudos, que também utilizaram a técnica de abate comparativo (Tabela 6.2).

A estatística descritiva das principais variáveis utilizadas para estimar as exigências de proteína para manutenção e ganho em peso em caprinos em crescimento são apresentadas nas Tabelas 6.3, 6.4 e 6.5

Tabela 6.1 – Resumo dos estudos utilizados no banco de dados que teve por objetivo avaliar o efeito de sexo nas exigências de proteína de caprinos em crescimento.

Estudos	n ¹	Sexo	Peso corporal (kg)
Gomes (2011)	18	Macho Inteiro	30,0 a 51,0
	10	Macho Castrado	4,7 a 16,7
Bompadre <i>et al.</i> (2014)	19	Macho Inteiro	4,7 a 16,5
	18	Fêmea	4,6 a 16,3
Medeiros <i>et al.</i> (2014)	23	Macho Inteiro	5,1 a 21,6
	16	Macho Castrado	27,8 a 47,4
Almeida <i>et al.</i> (2015a,b)	14	Macho Inteiro	27,6 a 46,6
	17	Fêmea	27,4 a 44,9
Ferreira <i>et al.</i> (2015)	27	Macho Castrado	20,6 a 35,5
Figueiredo <i>et al.</i> (2016)	20	Fêmea	29,5 a 46,0
	20	Macho Castrado	15,3 a 32,5
Figueiredo <i>et al.</i> (2017)	18	Macho Inteiro	15,7 a 34,0
	18	Fêmea	14,8 a 31,7

Tabela adaptada de Souza *et al.*, 2017.¹ Número total de registros individuais de caprinos. Estes estudos foram utilizados para estimar as exigências de proteína para manutenção e crescimento em caprinos de diferentes sexos.

Tabela 6.2 – Resumo dos estudos utilizados no banco de dados que teve por objetivo avaliar o efeito de genótipo nas exigências de proteína de caprinos em crescimento.

Estudos	n ¹	Raça/Cruzamento	Genótipo ²	PC (kg)
Fernandes <i>et al.</i> (2007)	21	¾ Boer ¼ Saanen	Corte	19,1 a 36,6
Busato (2010)	15	½ Boer ½ SRD	Corte	15,0 a 33,5
Busato (2010)	14	Canindé	Nativo	13,3 a 26,5
Busato (2010)	13	Moxotó	Nativo	16,2 a 23,5
Gomes (2011)	18	Saanen	Leite	28,2 a 51,0
Bompadre <i>et al.</i> (2014)	17	Saanen	Leite	4,3 a 16,6
Medeiros <i>et al.</i> (2014)	27	Saanen	Leite	5,0 a 21,6
Almeida <i>et al.</i> (2015a, b)	18	Saanen	Leite	27,6 a 46,6
Figueiredo <i>et al.</i> (2017)	17	½ Boer ½ Saanen	Corte	15,0 a 34,0
Teixeira <i>et al.</i> (2017)	45	½ Boer ½ Saanen	Corte	4,3 a 26,3
Resende <i>et al.</i> (2018)	28	Nativa SRD	Nativo	4,1 a 27,8

Tabela adaptada de Almeida *et al.*, 2020.¹ Número total de registros individuais de caprinos. Estes estudos foram utilizados para estimar as exigências de proteína para manutenção e crescimento em caprinos de diferentes genótipos.² Genótipo corte refere-se a caprinos que possuíam > 50% da raça Boer; genótipo leite refere-se a caprinos Saanen; genótipo nativo refere-se a raças nativas ou cruzamentos com caprinos sem raça definida (SRD).

Tabela 6.3 – Estatística descritiva da composição corporal e consumo de proteína de caprinos, cujas informações foram utilizadas para avaliar o efeito de sexo nas exigências de proteína para manutenção e crescimento.

Variáveis	n ¹	Média	Desvio padrão	Intervalo
Peso corporal (kg)				
Machos castrados	62	27,6	11,0	6,2 a 47,4
Machos inteiros	80	25,8	13,5	8,0 a 51,0
Fêmeas	43	30,2	12,5	8,4 a 46,0
PCV² (kg)				
Machos castrados	62	22,5	9,50	4,1 a 39,7
Machos inteiros	80	21,0	11,6	5,1 a 41,7
Fêmeas	43	25,4	11,3	6,6 a 40,4
GMD³ (g/dia)				
Machos castrados	62	91,2	71,2	-16,8 a 259
Machos inteiros	80	112	66,5	-13,6 a 264
Fêmeas	43	64,0	48,1	-18,8 a 162
CPB⁴ (g/dia)				
Machos castrados	62	106	49,3	26,7 a 205
Machos inteiros	80	87,6	45,5	23,8 a 209
Fêmeas	43	93,4	43,0	29,1 a 193
Proteína retida no corpo (g/dia)				
Machos castrados	62	14,5	11,7	-3,8 a 41,1
Machos inteiros	80	1,4	11,3	-12,6 a 53,1
Fêmeas	43	8,30	7,20	-6,8 a 24,9

Tabela adaptada de Souza *et al.*, 2021. ¹Número total de registros individuais de caprinos. ²PCV = Peso de corpo vazio. ³GMD = Ganho médio diário. ⁴CPB = Consumo de proteína bruta.

Tabela 6.4 – Estatística descritiva da composição corporal e consumo de nitrogênio de caprinos, cujas informações foram utilizadas para avaliar o efeito de genótipo¹ nas exigências de proteína para manutenção e crescimento.

Variáveis	n ²	Média	Desvio padrão	Intervalo
Peso corporal (kg)				
Corte ¹	79	22,5	7,85	4,3 a 36,6
Leite	94	23,8	13,5	4,7 a 51,0
Nativos	67	19,0	6,76	4,99 a 31,9
Proteína corporal (g/kg PCV³)				
Corte	79	185,8	35,1	67,4 a 199,3
Leite	94	180,2	18,9	130,1 a 224,7
Nativos	67	175,9	16,6	123,2 a 212,5
Peso corporal (kg)				
Corte	87	23,2	7,64	11,0 a 39,5
Leite	97	26,8	12,2	8,35 a 51,0
Nativos	55	17,8	6,90	6,60 a 31,9
Consumo de N (g/kg PCV^{0,75})				
Corte	87	1,06	0,284	0,578 a 1,74
Leite	97	0,952	0,320	0,415 a 0,517
Nativos	55	0,984	0,326	0,469 a 1,69
N retido no corpo (g/kg PCV^{0,75})				
Corte	87	0,258	0,167	-0,0161 a 0,618
Leite	97	0,191	0,147	-0,0804 a 1,62
Nativos	55	0,147	0,112	-0,0720 a 0,399

Tabela adaptada de Almeida *et al.*, 2020. ¹Genótipo corte refere-se a caprinos que possuíam > 50% da raça Boer; genótipo leite refere-se a caprinos Saanen; genótipo nativo refere-se a raças nativas ou cruzamentos com caprinos sem raça definida (SRD).

²Número total de registros de caprinos. ³PCV = Peso de corpo vazio.

Tabela 6.5 – Estatística descritiva da composição corporal de caprinos, os quais foram utilizados para avaliar o efeito de sexo nas exigências de proteína para crescimento.

Variáveis	n ¹	Média	Desvio padrão	Intervalo
Proteína corporal (g/kg PCV²)				
Machos castrados	73	173	16,6	114 a 206
Machos inteiros	94	178	18,4	130 a 264
Fêmeas	71	166	18,1	123 a 214
Gordura corporal (g/kg PCV)				
Machos castrados	73	145	69,8	22 a 345
Machos inteiros	94	110	51,3	22 a 258
Fêmeas	71	188	95,1	21 a 390
Cinzas corporal (g/kg PCV)				
Machos castrados	55	40	7,60	25 a 56
Machos inteiros	94	48	12,1	24 a 80
Fêmeas	71	38	9,50	25 a 60
Água corporal (g/kg PCV)				
Machos castrados	55	644	81,2	457 a 809
Machos inteiros	94	663	59,9	478 a 809
Fêmeas	71	607	90,7	416 a 777

Tabela adaptada de Souza *et al.*, 2017. ¹Número total de registros de caprinos. ²PCV = Peso de corpo vazio.

O banco de dados utilizado para estimar as exigências de proteína em cabras com gestação simples ou gemelar reuniu dois estudos que utilizaram a técnica do abate comparativo. A estatística descritiva das principais variáveis utilizadas para estimar as exigências de proteína para gestação em caprinos são apresentadas na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Estatística descritiva do conteúdo em proteína (g) nos produtos da gestação, útero grávido e glândula mamária, de cabras com gestação simples e gemelar.

Variáveis	n ¹	Média	Desvio padrão	Intervalo
<i>Gestação simples</i>				
Útero grávido				
50 dias de gestação	6	22,3	1,72	16,0 a 27,6
80 dias de gestação	6	107	8,93	82,3 a 137
100 dias de gestação	5	205	11,6	168 a 234
110 dias de gestação	7	286	18,6	226 a 335
140 dias de gestação	12	744	48,4	496 a 1137
Glândula mamária				
50 dias de gestação	6	18,3	2,29	12,3 a 27,1
80 dias de gestação	6	67,7	14,8	36,9 a 102
100 dias de gestação	5	101	0,092	69,0 a 0,893
110 dias de gestação	7	130	13	98,1 a 190
140 dias de gestação	12	309	28,4	174 a 477
<i>Gestação gemelar</i>				
Útero grávido				
50 dias de gestação	13	36,6	3,03	21,7 a 56,2
80 dias de gestação	8	205	24,1	161 a 361
100 dias de gestação	6	343	13,2	291 a 375
110 dias de gestação	7	463	45,4	340 a 676
140 dias de gestação	12	1131	69,1	800 a 1541
Glândula mamária				
50 dias de gestação	13	46,4	5,41	19,1 a 84,5
80 dias de gestação	8	93,9	13,1	53,8 a 145
100 dias de gestação	6	175	36,7	97 a 342
110 dias de gestação	7	176	35,4	93,4 a 297
140 dias de gestação	12	350	32,9	197 a 552

Tabela adaptada de Härter *et al.*, 2016. ¹Número total de registros de caprinos.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA MANTENÇA

As exigências de proteína para manutenção incluem proteína urinária endógena, proteína fecal metabólica e perdas de proteína epidérmica (AFRC, 1998). No BR-CAPRINOS & OVINOS, as recomendações foram expressas em exigências de proteína líquida para manutenção (PLm) e exigências de proteína metabolizável para manutenção (PMm).

As exigências de proteína para manutenção foram estimadas utilizando a técnica de abate comparativo. Esta técnica baseia-se na diferença entre a proteína corporal final e inicial, o que resulta na retenção de proteína. A proteína corporal inicial (estimada para a composição corporal no início de cada experimento) foi calculada da seguinte forma: 1) foi estimado o peso de corpo vazio (PCV) inicial dos animais a partir do peso corporal (PC) inicial e 2) a proteína corporal inicial foi estimada a partir do PCV inicial, utilizando equações alométricas para a estimativa da composição corporal.

A regressão linear entre o nitrogênio (N) retido diário ($\text{g de N/kg}^{0,75} \text{PC/d}$) em função do consumo de N diário ($\text{g de N/kg}^{0,75} \text{PC/d}$) foi utilizada para calcular a PLm em caprinos em crescimento de diferentes sexos (Souza *et al.*, 2021), genótipos (Almeida *et al.*, 2020) e em cabras gestantes (Härter *et al.*, 2017). O intercepto da regressão foi assumido como sendo as perdas endógenas e metabólicas de N, que multiplicadas por 6,25 produziram o PLm.

A PMm foi estimada a partir da regressão da proteína retida ($\text{g/kg}^{0,75} \text{PC/d}$ e $\text{g/kg}^{0,75} \text{PCV/d}$; calculada pela técnica de abate comparativo) em função do consumo de proteína metabolizável (CPM). O CPM ($\text{g/kg}^{0,75} \text{PC/d}$

ou $\text{g/kg}^{0,75} \text{PCV/d}$) foi calculado com base na síntese de proteína microbiana digestível verdadeira somada ao consumo de proteína não degradável no rúmen digestível.

A síntese microbiana foi estimada com base na equação desenvolvida por Santos *et al.* (2021). Pautou-se no consumo de energia metabolizável (CEM; Mcal/dia). Os modelos utilizados estão descritos em detalhes no Capítulo 4 deste sistema de alimentação. A PMm foi então obtida assumindo o CPM quando a proteína retida foi igual a 0 (zero). A eficiência de utilização de PM para manutenção (k_{pm}) foi calculada como PLm/PMm.

As perdas endógenas e metabólicas de nitrogênio não foram influenciadas pelo sexo do animal (Souza *et al.*, 2021), sendo estimadas como $197 \text{ mg de N/kg}^{0,75} \text{ PC}$ (N retido quando ingestão de N = 0; Equação 6.1; Figura 6.1), o que corresponde a PLm de $1,23 \text{ g/kg}^{0,75} \text{ PC}$ (Souza *et al.*, 2021).

$$\begin{aligned} \text{Nretido (g/kg}^{0,75} \text{ PC/d)} &= \\ -0,197 (\pm 0,03) + 0,292 (\pm 0,017) \times \\ \times \text{Ningerido (g/kg}^{0,75} \text{ PC/d)} & \quad \text{Eq. 6.1} \end{aligned}$$

O valor de PLm encontrado para caprinos leiteiros criados em condições brasileiras ($1,23 \text{ g/kg}^{0,75} \text{ PC}$) está próximo ao valor relatado para caprinos na edição mais recente do INRA (2018) de $2,0 \text{ g/kg}^{0,75} \text{ PC}$, referente à proteína digestível no intestino.

Por outro lado, é menor que valores obtidos para bovinos e ovinos reportados no sistema francês ($3,25$ e $2,5 \text{ g/kg}^{0,75} \text{ PC}$, respectivamente). Assim, o sistema francês (INRA, 2018) destaca que o cálculo da proteína digestível no intestino subestima algumas necessidades de gastos não produtivos e superestima a proteína para produção.

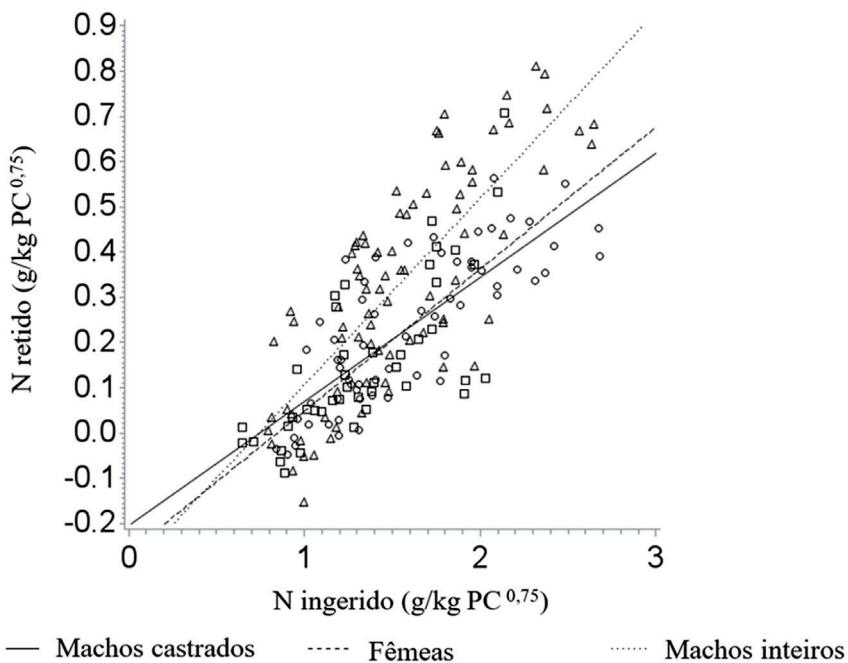


Figura 6.1 – Relação entre N retido e consumo diário de N de caprinos Saanen de diferentes sexos (\circ machos castrados, Δ machos inteiros e \square fêmeas). Para todos os animais: $N_{\text{retido}} = -0,197 (\pm 0,0300) + 0,292 (\pm 0,0179) \times \text{ingestão de N}$. Os parâmetros da equação não diferiram entre sexos ($P = 0,67$). Figura adaptada de Souza *et al.* (2021).

Quando corrigido para o PCV metabólico, o valor de PLm também não diferiu entre sexos ($P = 0,61$; Equação 6.2), sendo estimado em 1,46 g/kg^{0,75} PCV (Souza *et al.*, 2021).

$$\begin{aligned} N_{\text{retido}} (\text{g/kg}^{0,75} \text{PCV/d}) &= \\ &-0,234 (\pm 0,035) + 0,295 (\pm 0,018) \times \\ &\times N_{\text{ingerido}} (\text{g/kg}^{0,75} \text{PCV/d}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 6.2}$$

O valor de PMm não diferiu entre sexos ($P = 0,557$), sendo estimado em 3,80 g/kg^{0,75} PC (Equação 6.3). A estimativa dos intervalos de confiança inferior (ICI) e superior (ICS) para PMm, que na prática sugerem limites seguros para estimativa de PMm, revelou que a PMm poderia variar entre 3,10 e 4,38 g/kg^{0,75} PC, respectivamente (Souza *et al.*, 2021). Assim, a PMm poderia ser considerada dentro desses valores durante a formulação das rações em caprinos. A incorporação de intervalos de

confiança fornece informações valiosas ao formular rações com abordagem estocástica.

$$\begin{aligned} \text{Proteína retida (g/kg}^{0,75} \text{PCV/d)} &= \\ &-1,98 (\pm 0,154) + 0,525 (\pm 0,0220) \times \\ &\times CPM (\text{g/kg}^{0,75} \text{PCV/d}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 6.3}$$

Quando corrigida para o PCV metabólico, a PMm (isto é, o intercepto desta regressão) também não diferiu entre sexos ($P = 0,47$; Equação 6.4). O valor médio de PMm foi estimado em 4,4 g/kg^{0,75} PCV (Souza *et al.*, 2021). O ICI e o ICS para PMm foram 3,60 e 5,10 g/kg^{0,75} PCV, respectivamente (Souza *et al.*, 2021).

$$\begin{aligned} \text{Proteína retida (g/kg}^{0,75} \text{PCV/d)} &= \\ &-2,322 (\pm 0,180) + 0,525 (\pm 0,0222) \times \\ &\times CPM (\text{g/kg}^{0,75} \text{PCV/d}) \end{aligned} \quad \text{Eq. 6.4}$$

Utilizando a relação entre PLm/PMm, o k_{pm} calculado foi de 0,33 para todos os sexos (o ICI e o ICS foram 0,28 e 0,40, respectivamente). O genótipo não afetou as exigências de proteína para manutenção; a PLm foi estimada em 1,92 g/kg^{0,75} de PCV e a PMm em 3,79 g/kg^{0,75} de PCV (Equação 6.5; Almeida *et al.*, 2020).

$$\begin{aligned} \text{Proteína retida (g/kg}^{0,75} \text{PCV/d)} = \\ -1,65 (\pm 0,160) + 0,434 (\pm 0,0336) \times \\ \times \text{CPM (g/kg}^{0,75} \text{PCV/d)} \end{aligned} \quad \text{Eq. 6.5}$$

O valor de PMm foi relativamente próximo ao valor recomendado pelo NRC (2007) de 3,07 g/kg PMm kg^{0,75} PC. Por outro lado, há uma diferença notável entre os valores de k_{pm} reportados pelos sistemas de alimentação internacionais (0,67 e 1,0) e aqueles encontrados para caprinos no Brasil, 0,55 para caprinos de diferentes genótipos como relatado por Almeida *et al.* (2020), e de 0,28 a 0,40 para caprinos de diferentes sexos como reportado por Souza *et al.* (2021).

De acordo com o NRC (2007), o conhecimento do k_{pm} necessita de atenção em situações distintas, como, por exemplo, em animais em estado bem alimentado em comparação com aqueles sujeitos à ingestão restritiva de nutrientes e mobilização de tecidos (NRC, 2007).

Esses achados sugerem a necessidade de aprimorar o entendimento sobre a eficiência de utilização de proteína. Dentro da nutrição de pequenos ruminantes, este tópico ainda merece atenção em pesquisas futuras, principalmente no que se refere à fonte de proteína sendo metabolizada em cada situação.

Devido às alterações observadas no organismo das fêmeas durante a gestação, também foram exploradas as exigências de

proteína para manutenção durante esta fase fisiológica. As exigências proteicas para cabras gestantes apresentadas no BR-CAPRINOS & OVINOS também baseiam-se no método de abate comparativo (Härter *et al.*, 2017).

A PMm foi estimada utilizando uma regressão da proteína retida no corpo materno (corpo da cabra gestante desconsiderando o útero gravídeo e a glândula mamária) em função do CPM. O CPM foi estimado tendo como base a composição química da dieta (conforme dados apresentados por Luo *et al.*, 2004).

A PLm, PMm e k_{pm} foram estimadas a partir da abordagem semelhante à descrita anteriormente em caprinos de diferentes sexos. As exigências de proteína para manutenção não foram afetadas pelo tipo de gestação (simples ou gemelar) ou pelos dias de gestação.

A PLm e PMm foram estimadas em 1,38 g/kg PCV^{0,75} e 3,22 g PM/kg PCV^{0,75}, respectivamente, e a k_{pm} foi 0,40 (Härter *et al.*, 2017). Esses valores de exigências de proteína para manutenção encontrados em cabras leiteiras durante a gestação são menores aos encontrados para caprinos durante o crescimento.

Tal aspecto demonstra claramente que o metabolismo materno durante a gestação modifica de maneira significativa as necessidades de manutenção, bem como a eficiência do uso de proteína em detrimento do desenvolvimento fetal.

A PLm relatada pelo AFRC (1998) é 2,19 g/kg PC^{0,75}, este sistema de alimentação baseia suas recomendações em estudos de perdas endógenas (N urinário endógeno + N metabólico fecal + perdas dérmicas), método diferente ao adotado no BR-CAPRINOS & OVINOS.

Assumindo uma relação média de PC^{0,75}: PCV^{0,75} de 1,09 (que encontramos para cabras prenhas; Härter *et al.*, 2017), a PMm foi de 2,95 g/kg PC^{0,75}, que é próxima a 2,85 g/kg PC^{0,75} para cabras maduras de 50 kg PC, valor apresentado no NRC (2007).

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA CRESCIMENTO

As exigências de proteína para crescimento são baseadas na deposição de proteína corporal. Nos bancos de dados de caprinos utilizados no BR-CAPRINOS & OVINOS, a proteína corporal total de cada animal em todos os experimentos foi calculada a partir da composição química do corpo vazio, cuja quantidade de proteína corporal foi expressa em g/kg (Tabelas 6.4 e 6.5).

A proteína total no PCV tendeu a ser diferente entre os sexos (Souza *et al.*, 2017). Os interceptos e slopes foram semelhantes entre machos castrados e inteiros, entretanto os interceptos e slopes diferiram entre fêmeas e machos castrados, assim como os interceptos e slopes entre fêmeas e machos inteiros.

Portanto, foi adotada uma equação geral para estimativa de proteína líquida para crescimento (PLg) para todos os machos e outra para as fêmeas (Eqs. 6.6 e 6.7):

$$\text{Machos: PLg (g/kg PCV ganho)} = 168,84 \times \text{PCV}^{0,0150} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 6.6}$$

$$\text{Fêmeas: PLg (g/kg PCV ganho)} = 181,40 \times \text{PCV}^{-0,0414} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 6.7}$$

Para machos com PC entre 5 e 45 kg, o valor de PLg variou de (média ± DP) 173 ± 3,08 a 179 ± 5,64 g/kg de ganho de PCV (Souza *et al.*, 2017). Para fêmeas com PC semelhante, o valor de PLg foi menor e va-

riou de 171 ± 3,74 a 156 ± 6,84 g/kg de PCV ganho. Quando apresentada em unidade de PC, a PLg nos machos variou de 156 a 150 g/kg de PC, enquanto nas fêmeas a PLg variou de 154 a 131 g/kg de ganho de PC.

A PLg com base no grau de maturidade foi estimada pela regressão da proteína no ganho (g/kg de PCV ganho) em função da proporção do peso à maturidade (PCV/PCV maduro) (Souza *et al.*, 2017). O sexo dos caprinos não afetou a PLg aplicando esta abordagem ($P = 0,26$); consequentemente, foi apresentado um modelo geral para todos os sexos, em que a PLg média de 176 ± 12,8 g/kg de PCV ganho independente do grau de maturidade (Souza *et al.*, 2017).

Apesar desta abordagem ser mais elegante e biologicamente coerente, ainda é prematuro recomendar que aplicação do grau de maturidade nas exigências de proteína para ganho, pois não se conhece o peso à maturidade dos diferentes genótipos e sexos dos caprinos nos sistemas de produção. Esse valor foi baseado no peso à maturidade conhecido para caprinos Saanen de diferentes sexos.

O genótipo não apresentou influência nos valores de PLg em caprinos (Equação 6.8; Almeida *et al.*, 2020), variando de 185,1 ± 1,82 a 192,5 ± 4,33 g/kg de PCV ganho, para caprinos de corte, leiteiros e nativos de 5 e 45 kg de PC.

$$\text{PLg (g/kg PCV ganho)} = 181,4 \times \text{PCV}^{0,02} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 6.8}$$

A eficiência de utilização da proteína metabolizável para ganho (k_{pg}) foi estimada em 0,54 (± 0,0411) para machos castrados, 0,58 (± 0,0301) machos inteiros e 0,45 (± 0,0428) para fêmeas, mas não diferiu entre sexos (Souza *et al.*, 2021). Desta forma, o

valor médio de k_{pg} estimado para caprinos de diferentes sexos foi $0,52 \pm 0,022$ (Souza *et al.*, 2021). O genótipo também não afetou k_{pg} , sendo estimada em 0,55 independente do genótipo de caprinos (Almeida *et al.*, 2020).

Os valores de k_{pg} encontrados em caprinos criados no Brasil (0,52 e 0,55) foram próximos aos valores relatados para bovinos leiteiros (0,51; Castro *et al.*, 2020) e caprinos (0,59; AFRC, 1998), mas inferiores aos adotados pelo SCA (1990) e NRC (2007), ambos adotando 0,70.

O valor de 0,67 é assumido pelo INRA (2018), e esse sistema discutiu que ainda há falta de conhecimento e algumas dificuldades de mensuração da k_{pg} , aspecto que ressalta que os impactos da variabilidade das dietas nas exigências e diferentes eficiências de utilização de proteína ainda devem ser estudados.

Em bovinos, a alimentação com dietas hipoprotéicas tem sido discutida nos últimos anos, onde não foram detectadas diferenças no desempenho animal entre animais Nelore alimentados com dietas contendo 10, 12 ou 14% de PB (BR-CORTE, 2016).

O principal interesse em fornecer dietas com menor teor de proteína é reduzir a ingestão de N, o que melhora a eficiência de utilização de N, e, assim, reduz-se o impacto ambiental causado pela excreção do excedente N ingerido (Aschemann *et al.*, 2012).

Os resultados apresentados para exigências de proteína para crescimento em caprinos no BR-CAPRINOS & OVINOS sugerem valores inferiores aos preconizados por outros sistemas de alimentação existentes.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA GESTAÇÃO

As exigências líquidas de proteína para a gestação (PLp) foram estimadas com base na deposição de proteína no útero grávido (fetos + fluido fetal + tecido uterino com placenta e placentomas) e na glândula mamária, os quais conjuntamente são considerados como produtos de gestação (Härter *et al.*, 2016).

Para determinar a deposição líquida de proteína, ajustamos o modelo exponencial ($y = W_0 e^{kt}$) ao conteúdo total de proteína no útero grávido e na glândula mamária desde o dia do acasalamento até 140 dias de gestação (Eqs. 6.9 a 6.12; Härter *et al.*, 2017). As exigências líquidas de proteína foram obtidas pela derivada do modelo exponencial obtido (Härter *et al.*, 2016).

Útero grávido

Gestação simples

$$PLp (g) = 4,63 e^{0,03689 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 6.9}$$

Gestação gemelar

$$PLp (g) = 7,11 e^{0,03689 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 6.10}$$

Glândula mamária

Gestação simples

$$PLp (g) = 5,4 e^{0,0289 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 6.11}$$

Gestação gemelar

$$PLp (g) = 13 e^{0,0237 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 6.12}$$

A eficiência da utilização da PM para a gestação (k_{pp}) foi estimada usando a regressão da retenção diária de proteína no corpo ma-

terno mais produtos da gestação em função do CPM diário acima da manutenção. Essa regressão foi definida com intercepto igual a 0, e o k_{pp} foi obtido por meio do uso do inverso da inclinação da reta para retenção do produto gestacional.

O k_{pp} aumentou com o progresso da gestação e foi de 0,12 aos 80 dias de gestação; 0,21 aos 110 dias de gestação; e 0,43 aos 140 dias de gestação (Härter *et al.*, 2017).

De acordo com Härter *et al.* (2016), as exigências de energia e proteína durante a gestação geralmente são subestimadas no final da gestação pelo AFRC (1998) e NRC (2007). Essas subestimativas nas exigências de caprinos nos sistemas de alimentação existentes podem ser atribuídas à origem da base de dados, que provém de ovinos principalmente.

Além disso, discrepâncias podem surgir devido a diferentes modelos utilizados em cada sistema de alimentação, variações no peso dos fetos entre ovinos e caprinos, diferenças nos fins produtivos entre as duas espécies utilizadas para gerar os dados e a subavaliação da contribuição da glândula mamária para as necessidades líquidas de gestação.

Os sistemas de alimentação existentes preveem as exigências com base apenas na composição do útero grávido. Portanto, não é surpreendente que esta subestimação das exigências líquidas para a gestação em cabras seja especialmente evidente no final da gestação, quando a contribuição de energia e proteína para a glândula mamária representa significativa proporção das exigências.

CONSIDERAÇÕES SOBRE RECICLAGEM E PARTIÇÃO DE N EM CAPRINOS

Em caprinos e em outros ruminantes, a ureia desempenha papel fundamental como intermediário químico para a biossíntese de proteínas no trato digestivo. O excesso de produção de amônia é absorvido no trato digestivo e convertido em ureia. Em casos nos quais a produção da amônia a partir da dieta é baixa, a amônia pode derivar da ureia do plasma sanguíneo (Harmeyer & Martens, 1980).

O trânsito de N a partir do intestino de ruminantes pode ser duas vezes maior que a ingestão de N (Lapierre & Lobley, 2001). Em suma, estas espécies possuem um mecanismo metabólico complexo para reciclar, reutilizar e particionar o N usando caminhos eficientes.

Considerando esses fatores e o estudo das exigências de proteína em caprinos, sugere-se que uma melhor compreensão dos efeitos fisiológicos ou nutricionais na reciclagem e participação de N em ruminantes pode contribuir significativamente na obtenção de estimativas mais precisas das suas exigências proteicas.

Em geral, a reciclagem de N difere entre e dentro das espécies de ruminantes. Em bovinos e ovinos, entre 40 e 80% do N-ureia sintetizado pelo fígado retorna ao intestino e 35 a 55% é convertido em produtos metabólicos adicionais (Lapierre & Lobley, 2001).

Além disso, ovinos e búfalos têm maior capacidade de reabsorver ureia do rim em comparação com bovinos, e vacas em lac-

tação apresentam maior entrada de ureia no intestino em comparação com bovinos em crescimento (Obitsu & Taniguchi, 2009).

Em relação aos caprinos, a reciclagem e partição de N são afetadas por vários fatores. Inclui-se o estágio fisiológico, composição da dieta, nível de proteína bruta e até mesmo privação de água. De acordo com Brun-Bellut (1996), a ureia reciclada no rúmen em cabras leiteiras variou com o estágio fisiológico, sendo maior na lactação e menor durante o período seco. Em geral, a ureia reciclada no rúmen representa, em média, 15% do N ingerido. Além disso, a ureia reciclada no rúmen aumenta no final da gestação e início da lactação.

O uso de alimentos dietéticos alternativos tem demonstrado efeitos na reciclagem e partição de N em caprinos. Segundo Carvalho-Rodrigues *et al.* (2021), a inclusão de torta de dendê na dieta de cabritos diminui tanto a ingestão quanto a retenção de N. Fernández *et al.* (2021), por sua vez, demonstraram que folhas de laranja e palha de arroz promovem a ingestão e excreção de N pela urina em cabras leiteiras.

Schuba *et al.* (2017), em uma metanálise que explora os efeitos da espécie na relação entre a ingestão de N e a partição de N revelou que os caprinos têm uma alta dependência da retenção de N na ingestão de N, mesmo em comparação com ovinos e bovinos. Concomitantemente, a privação de água aumenta a reciclagem de ureia de 79 para 95% em caprinos, ao mesmo tempo que melhora o balanço de N para valores positivos (Mousa *et al.*, 1983).

Assim, a consideração de todos os fatores nutricionais que afetam a reciclagem e partição de N em caprinos pode fornecer ferramentas adequadas para otimizar a precisão

no cálculo das exigências proteicas para esta espécie em estudos futuros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As proteínas são indispensáveis para a manutenção da saúde e desempenho eficiente dos caprinos. Portanto, é fundamental fornecer uma ração balanceada com mais acurácia, que atenda às necessidades proteicas dos animais.

É igualmente importante evitar a ingestão excessiva de proteínas, pois isso pode acarretar prejuízos econômicos e ambientais. Nesse contexto, as exigências de proteína para caprinos criados em condições brasileiras recomendadas nesta edição do BR-CAPRINOS & OVINOS, são essenciais para otimizar o desempenho produtivo dessa espécie.

Aspectos relacionados à reciclagem e à partição de nitrogênio precisam ser aprimorados para proporcionar um melhor entendimento do metabolismo de nitrogênio em caprinos e, assim, formular rações otimizadas para aumentar a eficiência desses animais.

Além disso, este sistema de alimentação reconhece a necessidade de esforços adicionais na determinação do peso à maturidade de caprinos de diferentes genótipos, a fim de compreender melhor o efeito da proporção do peso à maturidade nas exigências de proteína para manutenção e crescimento.

Grandes avanços foram feitos na apresentação de recomendações atualizadas das exigências de proteína para gestação, entretanto é importante notar que as exigências de lactação não foram abordadas devido à limitada disponibilidade de dados experimentais de cabras em lactação.

RESUMO DE EQUAÇÕES

Um resumo dos modelos para a estimativa das exigências de proteína para manutenção, crescimento e gestação em caprinos é apresentado nas Tabelas 6.7 e 6.8.

Tabela 6.7 – Resumo dos modelos para a estimativa das exigências de proteína para caprinos em crescimento adotados no BR-CAPRINOS & OVINOS.

Variável	Sexo/Genótipo	Modelos
PLm (g/kg PCV ^{0,75})	Todos os sexos/leite	$1,46 \times \text{PCV}^{0,75}$
PM _m (g/kg PCV ^{0,75})	Todos os sexos/ leite	$4,40 \times \text{PCV}^{0,75}$
k _{pm}	Todos os sexos/ leite	0,33
PLm (g/kg PCV ^{0,75})	Machos/corte e nativos	$1,92 \times \text{PCV}^{0,75}$
PM _m (g/kg PCV ^{0,75})	Machos/ corte e nativos	$3,79 \times \text{PCV}^{0,75}$
k _{pm}	Machos/ corte e nativos	0,55
PLg (g/kg de ganho de PCV)	Machos/ leite	$168,84 \times \text{PCV}^{0,0150} \times \text{GPCV}$
	Fêmeas/ leite	$181,40 \times \text{PCV}^{-0,0414} \times \text{GPCV}$
k _{pg}	Todos os sexos/ leite	0,52
PLg (g/kg de ganho de PCV)	Machos/genótipos diferentes	$181,4 \times \text{PCV}^{0,02} \times \text{GPCV}$
k _{pg}	Machos/genótipos diferentes	0,55

PLm = Exigências de proteína líquida para manutenção. PM_m = Exigências de proteína metabolizável para manutenção. PLg = Exigências de proteína líquida para crescimento. k_{pm} = Eficiência da utilização de proteína metabolizável para manutenção. k_{pg} = Eficiência da utilização de proteína metabolizável para ganho. GPCV = Ganho de peso de corpo vazio

Tabela 6.8 – Resumo dos modelos para a estimativa das exigências de proteína para cabras gestantes adotados no BR-CAPRINOS & OVINOS.

Variável	Dias de gestação/ Número de fetos	Modelos
PLm (g/kg PCV ^{0,75})		$1,38 \times \text{PCV}^{0,75}$
PM _m (g/kg PCV ^{0,75})		$3,22 \times \text{PCV}^{0,75}$
k _{pm}		0,40
PLp (g/d)	Simples	Útero grávido = $4,63 e^{0,03689 \times \text{dias de gestação}}$ Glândula Mamária = $5,4 e^{0,0289 \times \text{dias de gestação}}$
	Gemelar	Útero grávido = $7,11 e^{0,03689 \times \text{dias de gestação}}$ Glândula Mamária = $13 e^{0,0237 \times \text{dias de gestação}}$
k _{pp}	80 dias de gestação	0,12
	110 dias de gestação	0,21
	140 dias de gestação	0,43

PLm = Exigências de proteína líquida para manutenção. PM_m = Exigências de proteína metabolizável para manutenção. PLp = Exigências de proteína líquida para gestação. k_{pm} = Eficiência da utilização de proteína metabolizável para manutenção. k_{pp} = Eficiência da utilização de proteína metabolizável para gestação.

EXEMPLO DE CÁLCULO DE EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA LÍQUIDA E METABOLIZÁVEL PARA CAPRINOS EM CRESCIMENTO E EM GESTAÇÃO

Para demonstrar a aplicação das equações de predição das exigências de proteína para um cabrito Saanen macho inteiro, pesando 30 kg e com ganho médio diário (GMD) de 200 g/dia, será realizado o seguinte:

Para estimativa de PCV, foi adotada a abordagem mais mecanicista indicada no Capítulo 1 deste sistema de alimentação com base na estimativa do conteúdo do trato gastrointestinal (CTGI). O cálculo da estimativa de ganho em peso de corpo vazio também foi indicado no Capítulo 1.

$$\text{CTGI (g/kg PC)} = 525,5 \times \text{PC}^{-0,33} (\text{kg})$$

$$\text{CTGI (g/kg PC)} = 525,5 \times 30^{-0,33}$$

$$\text{CTGI (g/kg PC)} = 171,05$$

$$\text{CTGI (g)} = \text{CTGI (g/kg PC)} \times \text{PC (kg)}$$

$$\text{CTGI (g)} = 171,05 \times 30$$

$$\text{CTGI (g)} = 5131,50$$

$$\text{CTGI (kg)} = 5,13$$

$$\text{PCV (kg)} = \text{PC (kg)} - \text{CTGI (kg)}$$

$$\text{PCV (kg)} = 30 - 5,13$$

$$\text{PCV} = 24,87 \text{ kg}$$

$$\text{GPCV (g)} = 1,126 \times \text{GPC}^{0,941} (\text{g})$$

$$\text{GPCV (g)} = 1,126 \times 200^{0,941}$$

$$\text{GPCV (g)} = 164,7 \text{ g}$$

$$\text{GPCV (kg)} = 0,165 \text{ kg}$$

$$\text{Exigências líquidas de proteína para manutenção} = 1,46 \times \text{PCV}^{0,75}$$

$$\text{Exigências líquidas de proteína para manutenção} = 1,46 \times 24,87^{0,75} = 16,26 \text{ g/dia}$$

Exigências de proteína metabolizável para manutenção = $16,26 / 0,33 = 49,3$ g/dia

Exigências líquidas de proteína para ganho (g/kg GPCV) = $1,015 \times 10^{2,221} \times \text{PCV}^{0,0150}$

Exigências líquidas de proteína para ganho (g/dia) = $168,84 \times \text{PCV}^{0,0150} \times \text{kg de GPCV}$

Exigências líquidas de proteína para ganho (g/dia) = $168,84 \times 1,049 \times 0,165$

Exigências líquidas de proteína para ganho = 29,2 g/dia

Exigências de proteína metabolizável para ganho = $29,2 / 0,52 = 56,2$

Exigências totais de proteína metabolizável = $49,3 + 56,2 = \mathbf{105,5 \text{ g/dia}}$

Considerando a relação entre PM e PB da dieta sendo: $\text{PM} = 0,724 \times \text{PB}$, a exigência total de PB é: $\text{PB} = 105,4 / 0,724 = \mathbf{145,6 \text{ g/dia}}$

Para demonstrar a aplicação das equações de predição para exigências de proteína para gestação, será considerada uma cabra leiteira com 68 kg de PC, com gestação gemelar aos 110 dias de gestação:

Para estimativa de PCV, foi adotada abordagem semelhante àquela descrita para animais em crescimento, tal decisão foi baseada no estudo de Ribeiro *et al.* (2023).

$\text{CTGI (g/kg PC)} = 525,5 \times \text{PC}^{-0,33} (\text{kg})$

$\text{CTGI (g/kg PC)} = 525,5 \times 68^{-0,33}$

$\text{CTGI (g/kg PC)} = 130,57$

$\text{CTGI (g)} = \text{CTGI (g/kg PC)} \times \text{PC (kg)}$

$\text{CTGI (g)} = 130,57 \times 68$

$\text{CTGI (g)} = 8878,79$

$\text{CTGI (kg)} = 8,88$

$\text{PCV (kg)} = \text{PC (kg)} - \text{CTGI (kg)}$

$\text{PCV (kg)} = 68 - 8,88$

$\text{PCV} = 59,1 \text{ kg}$

$$\text{PCV}^{0,75} = 59,1^{0,75} = 21,3 \text{ kg}$$

Exigências de proteína metabolizável para manutenção

$$\text{PMm (g/kg PCV}^{0,75}) = 3,22 \times \text{PCV}^{0,75}$$

$$\text{PMm} = 3,22 \text{ g} \times 21,3 = 68,7 \text{ g/dia}$$

As exigências de proteína líquida para esta cabra gestante são estimadas pela soma da diferencial do modelo de predição do conteúdo de proteína líquida do útero grávido e do modelo de predição do conteúdo de proteína líquido da glândula mamária, como segue:

$$\text{Conteúdo de proteína líquida do útero grávido (g)} = 7,11 \times e^{0,03689 \times \text{dias de gestação}}$$

$$\text{Conteúdo de proteína do útero grávido aos 110 dias de gestação} = 411,33 \text{ g}$$

Exigências líquidas de proteína para desenvolvimento do útero grávido (Diferencial do modelo) (g/d) = $0,261808 \times e^{0,03689 \times \text{dias de gestação}}$

$$\text{PL}_{\text{útero grávido}} (\text{g/d}) = 0,261808 \times e^{0,03689 \times 110 \text{ dias de gestação}}$$

$$\text{PL}_{\text{útero grávido}} (\text{g/d}) = 0,26411,33 \times e^{4,0579}$$

$$\text{PL}_{\text{útero grávido}} (\text{g/d}) = 15,17 \text{ g/dia}$$

$$\text{Conteúdo de proteína líquida da glândula mamária (g)} = 13 e^{0,0237 \times \text{dias de gestação}}$$

$$\text{Conteúdo de proteína líquida da glândula mamária aos 110 dias de gestação} = 176,26 \text{ g}$$

Exigências de proteína líquida para desenvolvimento da glândula mamária (Diferencial do modelo) (g/d) = $0,3081 \times e^{0,0237 \times \text{dias de gestação}}$

$$\text{PL}_{\text{glândula mamária}} (\text{g/d}) = 0,3081 \times e^{0,0237 \times 110 \text{ dias de gestação}}$$

$$\text{PL}_{\text{glândula mamária}} (\text{g/d}) = 0,3081 \times e^{2,607}$$

$$\text{PL}_{\text{glândula mamária}} (\text{g/d}) = 4,18 \text{ g/dia}$$

$$\text{PLp (g/d)} = 15,17 + 4,18 = 19,35 \text{ g/dia}$$

Considerando que a eficiência de utilização de proteína metabolizável para cabras gestantes aos 110 dias de gestação é 0,21,

$$PMm = 19,35 / 0,21 = 92,15 \text{ g/dia}$$

Exigências totais de proteína metabolizável para uma cabra com gestação gemelar aos 110 dias de gestação = $68,7 + 92,15 = 160,80 \text{ g/dia}$

Utilizando a relação entre PM e PB da dieta, estimamos as exigências de PB desta cabra da seguinte forma:

$$PM = 0,9063 \times PB - 1,9136$$

$$\text{Exigências de PB} = (1,9136 + 160,8) / 0,963 = 180,6 \text{ g/dia}$$

Tabela 6.9 – Estimativas das exigências nutricionais de proteína para caprinos leiteiros em crescimento.

Sexo	PC (kg)	GMD (g/d)	PLm (g/d)	PLg (g/d)	PMm (g/d)	PMg (g/d)	PMtotal (g/d)
Fêmeas	10	100	6,64	14,32	20,02	27,53	47,55
Fêmeas	10	150	6,64	20,97	20,02	40,32	60,34
Fêmeas	10	200	6,64	27,48	20,02	52,85	72,88
Fêmeas	15	100	9,28	14,05	27,97	27,03	55,00
Fêmeas	15	150	9,28	20,58	27,97	39,58	67,55
Fêmeas	15	200	9,28	26,98	27,97	51,89	79,86
Fêmeas	20	100	11,73	13,87	35,35	26,68	62,03
Fêmeas	20	150	11,73	20,32	35,35	39,07	74,42
Fêmeas	20	200	11,73	26,64	35,35	51,22	86,57
Fêmeas	25	100	14,04	13,74	42,33	26,42	68,74
Fêmeas	25	150	14,04	20,12	42,33	38,69	81,01
Fêmeas	25	200	14,04	26,37	42,33	50,71	93,04
Fêmeas	30	100	16,26	13,63	49,00	26,20	75,20
Fêmeas	30	150	16,26	19,96	49,00	38,38	87,37
Fêmeas	30	200	16,26	26,16	49,00	50,31	99,31
Castrados	10	100	6,64	14,93	20,02	28,72	48,74
Castrados	10	150	6,64	21,87	20,02	42,06	62,08
Castrados	10	200	6,64	28,67	20,02	55,13	75,16
Castrados	15	100	9,28	15,03	27,97	28,91	56,88
Castrados	15	150	9,28	22,02	27,97	42,34	70,31
Castrados	15	200	9,28	28,86	27,97	55,50	83,47

Castrados = machos castrados; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; PLm = exigência de proteína líquida para manutenção; PMm = exigência de proteína metabolizável para manutenção; PLg = exigência de proteína líquida para ganho; PMg = exigência de proteína metabolizável para ganho; PMtotal = exigência de proteína metabolizável total

Tabela 6.9 – Estimativas das exigências nutricionais de proteína para caprinos leiteiros em crescimento.
(Continuação).

Sexo	PC (kg)	GMD (g/d)	PLm (g/d)	PLg (g/d)	PMm (g/d)	PMg (g/d)	PMtotal (g/d)
Castrados	20	100	11,73	15,10	35,35	29,04	64,39
Castrados	20	150	11,73	22,12	35,35	42,54	77,88
Castrados	20	200	11,73	29,00	35,35	55,76	91,11
Castrados	25	100	14,04	15,16	42,33	29,15	71,48
Castrados	25	150	14,04	22,20	42,33	42,69	85,02
Castrados	25	200	14,04	29,10	42,33	55,96	98,29
Castrados	30	100	16,26	15,20	49,00	29,23	78,23
Castrados	30	150	16,26	22,26	49,00	42,82	91,81
Castrados	30	200	16,26	29,19	49,00	56,13	105,13
Machos	10	100	6,64	14,93	20,02	28,72	48,74
Machos	10	150	6,64	21,87	20,02	42,06	62,08
Machos	10	200	6,64	28,67	20,02	55,13	75,16
Machos	15	100	9,28	15,03	27,97	28,91	56,88
Machos	15	150	9,28	22,02	27,97	42,34	70,31
Machos	15	200	9,28	28,86	27,97	55,50	83,47
Machos	20	100	11,73	15,10	35,35	29,04	64,39
Machos	20	150	11,73	22,12	35,35	42,54	77,88
Machos	20	200	11,73	29,00	35,35	55,76	91,11
Machos	25	100	14,04	15,16	42,33	29,15	71,48
Machos	25	150	14,04	22,20	42,33	42,69	85,02
Machos	25	200	14,04	29,10	42,33	55,96	98,29
Machos	30	100	16,26	15,20	49,00	29,23	78,23
Machos	30	150	16,26	22,26	49,00	42,82	91,81
Machos	30	200	16,26	29,19	49,00	56,13	105,13

Castrados = machos castrados; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; PLm = exigência de proteína líquida para manutenção; PMm = exigência de proteína metabolizável para manutenção; PLg = exigência de proteína líquida para ganho; PMg = exigência de proteína metabolizável para ganho; PMtotal = exigência de proteína metabolizável total

Tabela 6.10 – Estimativas das exigências nutricionais de proteína para caprinos machos nativos e de corte, em crescimento.

Aptidão	PC (kg)	GMD (g/d)	PL _m (g/d)	PL _g (g/d)	PM _m (g/d)	PM _g (g/d)	PM _{total} (g/d)
Nativos	10	100	8,74	16,21	17,25	29,47	46,71
Nativos	10	150	8,74	23,73	17,25	43,15	60,40
Nativos	10	200	8,74	31,11	17,25	56,57	73,82
Nativos	15	100	12,20	16,35	24,09	29,73	53,82
Nativos	15	150	12,20	23,95	24,09	43,54	67,63
Nativos	15	200	12,20	31,39	24,09	57,08	81,17
Nativos	20	100	15,42	16,45	30,45	29,92	60,36
Nativos	20	150	15,42	24,10	30,45	43,81	74,26
Nativos	20	200	15,42	31,59	30,45	57,43	87,88
Nativos	25	100	18,47	16,53	36,46	30,06	66,52
Nativos	25	150	18,47	24,21	36,46	44,02	80,48
Nativos	25	200	18,47	31,74	36,46	57,71	94,17
Nativos	30	100	21,38	16,60	42,21	30,18	72,38
Nativos	30	150	21,38	24,31	42,21	44,20	86,40
Nativos	30	200	21,38	31,87	42,21	57,94	100,14
Corte	10	100	8,74	16,21	17,25	29,47	46,71
Corte	10	150	8,74	23,73	17,25	43,15	60,40
Corte	10	200	8,74	31,11	17,25	56,57	73,82
Corte	15	100	12,20	16,35	24,09	29,73	53,82
Corte	15	150	12,20	23,95	24,09	43,54	67,63
Corte	15	200	12,20	31,39	24,09	57,08	81,17
Corte	20	100	15,42	16,45	30,45	29,92	60,36
Corte	20	150	15,42	24,10	30,45	43,81	74,26
Corte	20	200	15,42	31,59	30,45	57,43	87,88
Corte	25	100	18,47	16,53	36,46	30,06	66,52
Corte	25	150	18,47	24,21	36,46	44,02	80,48
Corte	25	200	18,47	31,74	36,46	57,71	94,17
Corte	30	100	21,38	16,60	42,21	30,18	72,38
Corte	30	150	21,38	24,31	42,21	44,20	86,40
Corte	30	200	21,38	31,87	42,21	57,94	100,14

Corte = > 50% Boer; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; PLm = exigência de proteína líquida para manutenção; PMm = exigência de proteína metabolizável para manutenção; PLg = exigência de proteína líquida para ganho; PMg = exigência de proteína metabolizável para ganho; PMtotal = exigência de proteína metabolizável total.

Tabela 6.11 – Estimativas das exigências de proteína metabolizável de cabras em gestação.

Dias de gestação	PC (kg)	PMm (g/d)	PMp (g/d)	PMtotal (g/d)	PB (g/d)
Gestação Simples					
50	44	47,9	14,1	62,0	70,5
50	52	54,4	14,1	68,5	77,7
50	60	60,7	14,1	74,8	84,6
50	68	66,7	14,1	80,8	91,3
50	76	72,6	14,1	86,7	97,8
80	44	49,5	39,2	88,7	99,9
80	52	55,9	39,2	95,1	107,0
80	60	62,2	39,2	101,3	113,9
80	68	68,2	39,2	107,3	120,5
80	76	74,0	39,2	113,2	127,0
110	44	51,1	62,9	113,9	127,8
110	52	57,4	62,9	120,3	134,9
110	60	63,6	62,9	126,5	141,6
110	68	69,6	62,9	132,4	148,2
110	76	75,4	62,9	138,2	154,6
140	44	55,0	87,7	142,7	159,5
140	52	62,4	87,7	150,0	167,6
140	60	69,4	87,7	157,1	175,4
140	68	76,2	87,7	163,9	183,0
140	76	82,9	87,7	170,6	190,3

PC = peso corporal; PMm = exigência de proteína metabolizável para manutenção; PMp = exigência de proteína metabolizável para gestação; PMtotal = exigência de proteína metabolizável total; PB = proteína bruta

Tabela 6.11 – Estimativas das exigências de proteína metabolizável de cabras em gestação. (*Continuação*).

Dias de gestação	PC (kg)	PMm (g/d)	PMp (g/d)	PMtotal (g/d)	PB (g/d)
Gestação gemelar					
50	44	47,9	22,1	70,0	79,3
50	52	54,4	22,1	76,5	86,5
50	60	60,7	22,1	82,8	93,4
50	68	66,7	22,1	88,8	100,1
50	76	72,6	22,1	94,7	106,6
80	44	49,5	58,8	108,3	121,6
80	52	55,9	58,8	114,8	128,7
80	60	62,2	58,8	121,0	135,6
80	68	68,2	58,8	127,0	142,2
80	76	74,0	58,8	132,8	148,7
110	44	51,1	92,4	143,4	160,4
110	52	57,4	92,4	149,8	167,4
110	60	63,6	92,4	156,0	174,2
110	68	69,6	92,4	162,0	180,8
110	76	75,4	92,4	167,8	187,2
140	44	52,6	127,7	180,3	201,0
140	52	58,9	127,7	186,6	208,0
140	60	65,0	127,7	192,7	214,8
140	68	71,0	127,7	198,7	221,3
140	76	76,7	127,7	204,4	227,7

PC = peso corporal; PMm = exigência de proteína metabolizável para manutenção; PMp = exigência de proteína metabolizável para gestação; PMtotal = exigência de proteína metabolizável total; PB = proteína bruta

REFERÊNCIAS

AFRC Agricultural Food and Research Council. Energy and Protein Requirements of Ruminants. An Advisory Manual Prepared by the Agricultural Food and Research Council Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK, 1993.

AFRC Agricultural and Food Research Council. The Nutrition of Goats. Technical Committee on Response to Nutrients. Report Number 10. CAB International, Wallingford, 1998.

Almeida, A.K.; Kebreab, E.; Resende, K.T.; Medeiros, A.N.; Teixeira, I.A.M.A. Genotype effects on energy and protein requirements in growing male goats. *Animal* 14, s323–s331. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000348>, 2020.

Almeida, A.K.; Resende, K.T.; St-Pierre, N.; Silva, S.P.; Soares, D.C.; Fernandes, M.H.M.R.; Souza, A.P.; Silva, N.C.D.; Lima, A.R.C.; Teixeira, I.A.M.A. Energy requirements for growth in male and female Saanen goats1. *J Anim Sci* 93, 3932–3940. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8632>, 2015.

Almeida, A.K. de.; Resende, K.T. de.; Silva, S.P. da.; Soares, D. da C.; Fernandes, M.H.M. da R.; Teixeira, I.A.M. de A. Protein requirements for growth in male and female Saanen goats. *Revista Brasileira de Zootecnia* 44, 397–404, <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015001100004>, 2015.

Bompadre, T.F. V.; Neto, O.B.; Mendonca, A.N.; Souza, S.F.; Oliveira, D.; Fernandes, M.H.M.R.; Harter, C.J.; Almeida, A.K.; Resende, K.T.; Teixeira, I.A.M.A. Energy Requirements in Early Life Are Similar for Male and Female Goat Kids. *Asian-Australas J Anim Sci* 27, 1712–1720. <https://doi.org/10.5713/ajas.2014.14140>, 2014.

Brun-Bellut, J. Urea recycling in the rumen of dairy goats: effects of physiological stage and composition of intake, *Small Ruminant Research* 23, 83-90. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00910-8](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00910-8), 1996.

Busato KC. *Exigencias nutricionais de caprinos nativos e mestiços de Boer no semiárido nordestino*. Master thesis, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Pernambuco, Recife, Brazil, 2010

BR-Corte. Nutrient Requirements of Zebu and Crossbred Cattle. 3rd ed. Viçosa: *Federal University of Viçosa*, 2016.

Castro, M.M.D.; Albino, R.L.; Rodrigues, J.P.P.; Sguizzato, A.L.L.; Santos, M.M.F.; Rotta, P.P.; Caton, J.S.; Moraes, L.E.F.D.; Silva, F.F.; Marcondes, M.I. Energy and protein requirements of Holstein × Gyr crossbred heifers. *Animal* 14, 1857–1866. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000622>, 2020.

Cheeke, P.R.; Dierenfeld, E.S. Protein digestion., in: Comparative Animal Nutrition and Metabolism. CAB International, UK, pp. 53–63. <https://doi.org/10.1079/9781845936310.0053>, 2010.

Carvalho-Rodrigues, T.C.G.; Santos, S.A.; Cirne, L.G.A.; dos Santos Pina, D.; Alba, H.D.R.; de Araújo, M.L.G.M.L.; Silva, W.P.; de Oliveira Nascimento, C.; Rodrigues, C.S.; Tosto, M.S.L.; de Carvalho, G.G.P. Palm kernel cake in high-concentrate diets for feedlot goat kids: nutrient intake, digestibility, feeding behavior, nitrogen balance, blood metabolites, and performance. *Trop Anim Health Prod* 53. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02893-y>, 2021.

CSIRO. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council. 270p, 2007.

Ferreira, A.C. D.; Yáñez, E.A.; de Medeiros, A.N.; de Resende, K.T.; Pereira Filho, J.M.; da Rocha Fernandes, M.H.M.; Almeida, A.K.; Molina de Almeida Teixeira, I.A. Protein and energy requirements of castrated male Saanen goats. *Small Ruminant Research* 123, 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.10.017>, 2015.

Fernandes, M.H.M.R.; Resende, K.T.; Tedeschi, L.O.; Fernandes, J.S.; Silva, H.M.; Carstens, G.E.; Berchielli, T.T.; Teixeira, I.A.M.A.; Akinaga, L. Energy and protein requirements for maintenance and growth of Boer crossbred kids1. *J Anim Sci* 85, 1014–1023. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-110>, 2007.

Fernández, C.; Romero, T.; Martí, J. V.; Moya, V.J.; Hernando, I., Loor, J.J. Energy, nitrogen partitioning, and methane emissions in dairy goats differ when an isoenergetic and isoproteic diet contained orange leaves and rice straw crop residues. *J Dairy Sci* 104, 7830–7844. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19953>, 2021.

Figueiredo, F.O.M.; Berchielli, T.T.; Resende, K.T.; Gomes, H.F.B.; Almeida, A.K.; Sakomura, N.K.; Teixeira, I.A.M.A. Energy requirements for growth of pubertal female Saanen goats. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 100, 294–300. <https://doi.org/10.1111/jpn.12367>, 2016.

Figueiredo, F.O.M.; Leite, R.F.; St Pierre, N.R.; Resende, K.T.; Almeida, A.K.; Souza, A.P.; Teixeira, I.A.M.A. Energy and protein requirements of weaned male and female Saanen goats. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 101, 1014–1025. <https://doi.org/10.1111/jpn.12539>, 2017.

Gomes HFB. *Composição corporal e exigências nutricionais de caprinos Saanen machos dos 30 aos 45 kg*. Master Thesis. Sao Paulo State University, Sao Paulo, Brazil, 2011.

- Harmeyer, J.; Martens, H. Aspects of Urea Metabolism in Ruminants with Reference to the Goat. *J Dairy Sci* 63, 1707–1728. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)83132-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83132-8), 1980.
- Härter, C.J.; Ellis, J.L.; France, J.; Resende, K.T.; Teixeira, I. Net energy and protein requirements for pregnancy differ between goats and sheep. *J Anim Sci* 94, 2460–2470, 2016.
- Härter, C.J.; Lima, L.D.; Castagnino, D.S.; Silva, H.O.; Figueiredo, F.O.M.; St-Pierre, N.R.; Resende, K.T.; Teixeira, I.A.M.A. Net mineral requirements of dairy goats during pregnancy. *Animal* 11, 1513–1521. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000258>, 2017.
- INRA. Institut National de la Recherche Agronomique – INRA. *Feeding System for Ruminants*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 728p, 2018.
- Lapierre, H.; Lobley, G.E. Nitrogen Recycling in the Ruminant: A Review. *J Dairy Sci* 84, E223–E236. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(01\)70222-6](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)70222-6), 2001.
- 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*, v. 27, n. 3, p. 793–806, 1968.
- Luo, J.; Goetsch, A.L.; Moore, J.E.; Johnson, Z.B.; Sahlu, T.; Ferrell, C.L.; Galyean, M.L.; Owens, F.N. Prediction of endogenous urinary nitrogen of goats. *Small Ruminant Research* 53, 293–308. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.04.005>, 2004.
- Marini, J.C.; Van Amburgh, M.E. Partition of Nitrogen Excretion in Urine and the Feces of Holstein Replacement Heifers. *J Dairy Sci* 88, 1778–1784. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72852-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72852-6), 2005.
- Medeiros, A.N.; Resende, K.T.; Teixeira, I.A.M.A.; Araújo, M.J.; Yáñez, E.A.; Ferreira, A.C.D. Energy Requirements for Maintenance and Growth of Male Saanen Goat Kids. *Asian-Australas J Anim Sci* 27, 1293–1302. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13766>, 2014.
- Mousa, H.M.; Ali, K.E.; Hume, I.D. Effects of water deprivation on urea metabolism in camels, desert sheep and desert goats fed dry desert grass. *Comp Biochem Physiol A Physiol* 74, 715–720. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(83\)90574-1](https://doi.org/10.1016/0300-9629(83)90574-1), 1983.
- Nelson, David L.; Cox, Michael M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 7 Porto Alegre: Artmed, 1278 p, 2019
- NRC. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids*. Washington, DC: National Academy Press, 362p, 2007.
- Obitsu, T.; Taniguchi, K. Quantitative Comparison of Diversity and Conformity in Nitrogen Recycling of Ruminants. *Asian-Australas J Anim Sci* 22, 440–447. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.r.03>, 2009.
- Reece – Dukes. *Fisiologia dos Animais Domésticos*. 12^a ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A. 926p, 2006.
- Resende, K.T.; Ribeiro, S.D. de A.; Almeida, A.K. de.; Rodrigues, M.T.; Garcia, J.A.; Teixeira, I.A.M. de A. Energy and protein requirements during the growing phase of indigenous goats. *Semin Cienc Agrar* 39, 241. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n1p241>, 2018.
- Santos, S.A.; de Carvalho, G.G.P.; Azevêdo, J.A.G.; Zanetti, D.; Santos, E.M.; Pereira, M.L.A.; Pereira, E.S.; Pires, A.J.V.; Valadares Filho, S. de C.; Teixeira, I.A.M. de A.; Tosto, M.S.L.; Leite, L.C.; Mariz, L.D.S. Metabolizable Protein: 1. Predicting Equations to Estimate Microbial Crude Protein Synthesis in Small Ruminants. *Front Vet Sci* 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.650248>, 2021.
- SCA. *Feeding Standards for Australian Livestock Ruminants, Standing Committee on Agriculture and CSIRO*, Melbourne, p. 266, 1990
- Schuba, J.; Südekum, K.H.; Pfeffer, E.; Jayanegara, A. Excretion of faecal, urinary urea and urinary non-urea nitrogen by four ruminant species as influenced by dietary nitrogen intake: A meta-analysis. *Livest Sci* 198, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.01.017>, 2017.
- Souza, A.P.; St-Pierre, N.R.; Fernandes, M.H.R.M.; Almeida, A.K.; Vargas, J.A.C.; Resende, K.T.; Teixeira, I.A.M.A. Sex effects on net protein and energy requirements for growth of Saanen goats. *J Dairy Sci* 100, 4574–4586. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11895>, 2017.
- Souza, A.P.; Vargas, J.A.C.; Fernandes, M.H.M.R.; Almeida, A.K.; Resende, K.T.; Teixeira, I.A.M.A. Metabolizable Protein: 2. Requirements for Maintenance in Growing Saanen Goats. *Front Vet Sci* 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.650203>, 2021.
- Teixeira, I.A.M.A.; Fernandes, M.H.M.R.; Pereira Filho, J.M.; Canesin, R.C.; Gomes, R.A.; Resende, K.T. Body composition, protein and energy efficiencies, and requirements for growth of F1 boer × saanen goat kids. *J Anim Sci* 95, 2121–2132. <https://doi.org/10.2527/jas2016.1252>, 2017.

7

Exigências de minerais em caprinos

Carla Joice Härter, Julián Andrés Castillo Vargas, Anaiane Pereir Souza, Kleber Tomás de Resende e Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira

INTRODUÇÃO

Os nutrientes dos alimentos podem ser classificados em orgânicos ou inorgânicos (Suttle, 2010). Os nutrientes inorgânicos, os minerais, não são catabolizados em formas químicas mais simples nem oxidados para produzir energia. Ao contrário, os minerais são absorvidos no trato digestivo para constituir os tecidos corporais e mediar processos metabólicos nas células (Johnson *et al.*, 2012).

Os minerais são classificados em macrominerais e microminerais, de acordo com as quantidades requeridas pelo animal. Os macrominerais incluem cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), cloro (Cl) e enxofre (S), enquanto os microminerais englobam zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), cobalto (Co), selênio (Se), flúor (F), silício (Si) entre outros (NRC, 2007; Suttle, 2010).

As funções dos macros e microminerais podem ser agrupadas em quatro categorias: estrutural, fisiológica, catalítica e regulatória. Assim, a função estrutural envolve a manutenção dos tecidos estruturais, como os ossos e músculos, e os principais minerais participantes desta função são: Ca, P, Mg, F e S (Suttle, 2010).

A função fisiológica dos minerais está associada à regulação da pressão osmótica, ao equilíbrio ácido-base e à permeabilidade da membrana, com os minerais Na, K, Cl, Ca e Mg desempenhando papéis importantes.

A função catalítica envolve minerais, que atuam como cofatores em reações metabólicas, por exemplo Fe, Cu, Zn, Mn, Mo e Se, os quais são componentes das metaloenzimas. Por fim, a função reguladora diz respeito à modulação dos processos de replicação e diferenciação celular, com destaque ao Ca e Zn (Kincaid *et al.*, 2000; Suttle, 2010).

O metabolismo do Ca e do P é, geralmente, estudado em conjunto devido à sua interdependência nutricional. Esses minerais representam 90% do mineral dos ossos e estão envolvidos em diversos sistemas enzimáticos (Cunningham, 1999). Animais em crescimento e fêmeas gestantes ou lactantes destacam-se por necessitarem Ca e P em maiores quantidades em suas dietas.

Cálcio e P são os minerais mais abundantes no corpo, cerca de 98% do Ca e 80% do P são armazenados nos ossos desempenhando função estrutural. O Ca sanguíneo ionizado (livre) é distribuído nos tecidos e fluidos extracelulares, e, assim, atua em diversas funções, como a contração muscular, coagulação sanguínea, regulação cardíaca, transmissão de impulsos nervosos e ação de cofatores enzimáticos (Ammerman & Goodrich, 1983; Suttle, 2010).

O P é essencial para a síntese de ATP, manutenção e desenvolvimento dos tecidos, gliconeogênese, síntese *de novo*, síntese proteica, transporte de ácidos graxos, entre outros (Ternouth, 1990). Além disso, o P desempenha papel importante na permeabilidade celular como fosfolipídio e na transmissão nervosa, por ser constituinte da bainha de mielina. Também é necessário na formação de complexos de vitamina B, sendo também componente do DNA e do RNA (Ammerman & Goodrich, 1983; Larvor, 1983).

O Mg é o terceiro mineral mais abundante no esqueleto e o principal cátion intracelular. Atua como cofator enzimático em diversos sistemas vitais, incluindo rotas de transferência de fosfato (formação de ATP) e descarboxilação. O Mg extracelular é importante para manter a atividade neuromuscular e mineralização óssea (Ammerman & Goodrich, 1983; NRC 2001).

O Na e Cl estão envolvidos nas funções de equilíbrio ácido-base, manutenção da pressão osmótica e controlam o metabolismo da água no corpo. Devido a essas funções interligadas, as exigências de Na e Cl são diretamente proporcionais (Suttle, 2010). Consequentemente, geralmente, são determinadas as exigências líquidas para apenas um destes minerais.

Os ruminantes possuem reservas de Na nos ossos e no rúmen, o que lhes permite tolerar eventuais restrições alimentares (Suttle, 2010). Dentre as funções do Na destacam-se: regulação da pressão osmótica, equilíbrio ácido-base, contração muscular, transmissão nervosa, transporte ativo de aminoácidos e glicose para as células, bem como absorção e transporte de Ca.

O Cl⁻, por sua vez, é o ânion mais abundante no fluido extracelular. Faz parte do suco gástrico e ativa a amilase intestinal. O Cl⁻ é transferido entre o plasma e os eritrócitos por um processo denominado troca de cloreto, que auxilia na respiração e na regulação do pH sanguíneo (Ammerman & Goodrich, 1983; Larvor, 1983).

O K é o terceiro mineral mais abundante no organismo e desempenha papel fundamental no equilíbrio osmótico da célula a partir da bomba de Na e K. Também é importante na manutenção do equilíbrio ácido-base e na retenção hídrica (Suttle, 2010). O K ativa diversos sistemas enzimáticos, como aqueles envolvidos na síntese protéica e no metabolismo de carboidratos, bem como desempenha um papel importante na atividade das células nervosas e musculares (Ammerman & Goodrich, 1983).

Dentre os microminerais, o Zn, Fe, Mn, Cu e Co possuem funções importantes em ruminantes. O Zn possui importantes funções

biológicas, como síntese de DNA, expressão gênica e divisão celular. Além disso, está envolvido na síntese óssea em nível celular. Compõe a enzima fosfatase alcalina, que desempenha papel crucial na mineralização óssea (Hosnedlová *et al.*, 2007).

O Fe é o principal constituinte da protoporfirina do grupo heme na hemoglobina (Hb), que permite o transporte de oxigênio dos pulmões para os tecidos como oxiemoglobina e retorna o dióxido de carbono como carboxihemoglobina para a circulação venosa. Além disso, o Fe atua como cofator de diversas enzimas envolvidas no ciclo de Krebs e na ação metabólica de catalases e peroxidases (Suttle, 2010).

O Mn possui papel específico no metabolismo energético devido à associação direta com a piruvato carboxilase, que é uma metaloproteína do Mn (Scrutton, 1972). Isto sugere que este micromineral é necessário para o metabolismo normal de lipídios e carboidratos em ruminantes. Outros microminerais importantes em ruminantes são Co e Cu. Por um lado, o Co é essencial para a síntese de vitamina B₁₂ pelos microrganismos ruminais.

No metabolismo de ruminantes, a vitamina B₁₂ é parte essencial de múltiplas enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos, lipídios, alguns aminoácidos e DNA (González-Montaña *et al.*, 2020). Por outro lado, o Cu tem sido associado à regulação do Fe e à função dos eritrocitos no sangue, à pigmentação de pelos, à respiração celular, à função imunológica, bem como à formação e desenvolvimento de tecidos ósseos, conjuntivos, nervosos e cardíacos (Van Saun, 2012).

Durante muito tempo, as equações para estimar as exigências minerais em caprinos foram baseadas em dados de ovinos, dada a

escassez de dados de caprinos (AFRC, 1998; Meschy, 2000; NRC, 2007). No entanto, estudos recentes demonstraram que a participação de nutrientes entre ovinos e caprinos difere (Wilkens *et al.*, 2012; Salah *et al.*, 2014; Härtter *et al.*, 2016), o que pode levar a variações nas concentrações de minerais nos tecidos e no sangue entre essas espécies.

Alguns estudos também relataram diferenças na composição mineral corporal (Sheridan *et al.*, 2003) e nas concentrações plasmáticas de minerais (Sowande *et al.*, 2008) entre ovinos e caprinos. Outros estudos também relataram diferenças entre espécies de ruminantes no que diz respeito à composição mineral do leite (Khan *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2007; Slačanac *et al.*, 2011).

Além disso, diversos estudos demonstraram que caprinos são mais eficientes em compensar a restrição de Ca do que ovinos (Schröder *et al.*, 1997, Wilkens *et al.*, 2011, Wilkens *et al.*, 2012). Assim, as disparidades no metabolismo mineral e nas concentrações minerais corporais entre ovinos e caprinos destacam a inadequação de estimar as exigências minerais líquidas ou dietéticas de caprinos com base em dados de ovinos.

Os microminerais desempenham diversas funções no metabolismo, como composição de células sanguíneas, intermediários de vias metabólicas, regulação hormonal, fertilidade, imunidade, processos antioxidantes, entre outros. Além disso, eles influenciam o metabolismo e composição dos microorganismos ruminais. Apesar disso, existem poucos estudos que determinaram as exigências de microminerais para caprinos. Assim, indica-se a necessidade de mais pesquisas para aprimorar essas recomendações.

Por fim, as respostas dos animais aos níveis de minerais na dieta dependem se estes

níveis são deficientes, ótimos ou tóxicos. O nível ideal está em um limite estreito porque a deficiência e a toxicidade são muito fáceis de acontecer devido ao sinergismo ou às reações de antagonismo entre os minerais. Dessa forma, conhecer as exigências minerais de cada espécie animal em cada fase de vida é essencial para evitar deficiência ou toxicidade de minerais na dieta.

Diante disso, o principal objetivo deste sistema de alimentação é apresentar as exigências minerais disponíveis para caprinos no Brasil, bem como indicar as lacunas que ainda precisam ser abordadas em futuros estudos.

DESCRÍÇÃO DO BANCO DE DADOS

Com o intuito de determinar as exigências de macrominerais para manutenção e ganho em caprinos no Brasil, foram desenvolvidos bancos de dados tendo como base informa-

ções individuais de consumo de nutrientes e composição corporal de caprinos Saanen dos 5 aos 45 kg de PC.

Estes bancos de dados foram construídos a partir da realização de estudos que investigaram o efeito do sexo (machos inteiros, machos castrados e fêmeas) nas exigências para manutenção (Vargas *et al.*, 2020) e crescimento (Vargas *et al.*, 2017).

Em relação à determinação do efeito do sexo sobre as exigências de macrominerais para manutenção foram adotados dois métodos de avaliação, o abate comparativo e as perdas endógenas. Desta forma, foi construído um banco de dados para cada método (Tabela 7.1).

Para a avaliação do efeito do sexo nas exigências de macrominerais para crescimento, foi usado o método do abate comparativo, cuja estatística descritiva do banco de dados utilizado está apresentada na Tabela 7.2.

Tabela 7.1 – Resumo dos estudos utilizados no banco de dados que teve por objetivo avaliar o efeito de sexo nas exigências de macrominerais para manutenção em caprinos.

Estudos	n ¹	Sexo	PC (kg)	GMD ² (g/dia)
Método do abate comparativo				
Mendonça (2013)	14	Machos castrados	6,2-16,7	18,3-138,4
	13	Fêmeas	8,4-16,4	49,3-162,5
	19	Machos inteiros	8,0-16,6	40,3-162,1
Soares (2013)	21	Machos castrados	28,0-47,4	-16,8-185,0
	16	Fêmeas	29,0-44,9	-9,33-141,5
	18	Machos inteiros	29,9-46,6	-13,6-186,0
Santos <i>et al.</i> (2016)	18	Machos castrados	19,1-32,6	37,8-216,8
	17	Fêmeas	17,6-31,8	19,1-183,7
	18	Machos inteiros	17,3-34,0	10,2-199,0

Tabela adaptada de Vargas *et al.* (2020); ¹ Número total de observações usadas em cada estudo; ² GMD = ganho médio diário.

Tabela 7.1 – Resumo dos estudos utilizados no banco de dados que teve por objetivo avaliar o efeito de sexo nas exigências de macrominerais para manutenção em caprinos. (*Continuação*).

Estudos	n¹	Sexo	PC (kg)	GMD² (g/dia)
Método das perdas endógenas				
Ferreira (2003)	18	Machos castrados	20,5-33,9	3,61-229,6
	12	Machos castrados	7,7-12,9	25,6-91,5
Mendonça (2013)	12	Fêmeas	8,0-12,4	48,1-112,5
	12	Machos inteiros	7,4-12,4	27,0-104,4
Soares (2013)	19	Machos castrados	27,3-40,3	-31,2-83,8
	16	Fêmeas	28,0-39,7	-18,9-89,6
	18	Machos inteiros	26,3-42,1	-48,6-103,2
Santos <i>et al.</i> (2016)	18	Machos castrados	16,2-25,5	7,78-129,6
	17	Fêmeas	15,2-24,6	2,30-100,0
	18	Machos inteiros	15,5-27,5	3,66-112,4

Tabela adaptada de Vargas *et al.* (2020); ¹ Número total de observações usadas em cada estudo; ² GMD = ganho médio diário.

Tabela 7.2 – Resumo dos estudos utilizados no banco de dados que teve por objetivo avaliar o efeito de sexo nas exigências de macrominerais para crescimento em caprinos.

Estudos	n¹	Sexo	PC² (kg)	PCV³ (kg)
Ferreira (2003)	27	Machos castrados	20,6-35,5	15,6-30,3
Figueiredo (2011)	18	Fêmeas	29,5-46,0	20,8-40,4
Gomes <i>et al.</i> (2011)	20	Machos inteiros	5,1-21,6	4,9-17,5
	12	Machos castrados	27,8-47,4	21,7-39,7
Soares (2013)	12	Machos inteiros	27,6-46,6	21,3-39,7
	15	Fêmeas	27,4-44,9	23,1-38,2
Santos <i>et al.</i> (2016)	20	Machos castrados	15,3-32,5	13,1-26,4
	20	Machos inteiros	15,7-34,0	12,8-28,3
	18	Fêmeas	14,8-31,7	11,9-26,3
Mendonça <i>et al.</i> (2017)	10	Machos castrados	4,7-16,7	3,9-13,7
	19	Machos inteiros	4,7-16,5	3,9-12,8
	18	Fêmeas	4,6-16,3	3,5-13,4

Tabela adaptada de Vargas *et al.* (2017); ¹ Número total de observações usadas em cada estudo; ² PC = peso corporal; ³ PCV = peso de corpo vazio.

EXIGÊNCIAS DE MACROMINERAIS PARA MANTENÇA

As exigências minerais para manutenção são consideradas pelos sistemas de alimentação como a soma das perdas fecais, urinárias e cutâneas de minerais (AFRC, 1998; NRC, 2007). Entretanto, as perdas endógenas minerais podem representar não apenas as exigências líquidas para manutenção, mas podem também incluir um componente excretor representado pelo excesso de minerais absorvidos pelo animal (Meschy, 2000).

Além disso, observou-se que a variabilidade na determinação das exigências de minerais estimadas pelo método de perdas endógenas mínimas foi maior do que a estimada pelo método de abate comparativo (Vargas *et al.*, 2020). Portanto, as exigências minerais para manutenção aqui apresentadas serão apenas aquelas obtidas pelo método de abate comparativo.

As exigências líquidas de Ca para manutenção relatadas pelo INRA (2007) e NRC (2007) para caprinos (20 mg/kg de peso corporal (PC)) foram estimadas a partir das perdas endógenas de Ca. As exigências líquidas de Ca para manutenção encontradas em um estudo meta-analítico com caprinos Saanen jovens machos e fêmeas foram de 21,1 mg/kg PC (Vargas *et al.*, 2020), o que é próximo ao relatado pelos sistemas de alimentação mencionados.

No entanto, para cabras gestantes maduras, a exigência de Ca para manutenção foi de 60,4 mg/kg de PC (Härter *et al.*, 2017). Isto mostra que as exigências líquidas de Ca para manutenção são diferentes entre caprinos jovens e maduros.

O coeficiente de absorção (CA) de Ca utilizado pelo AFRC (1998) e NRC (2007)

para caprinos foi de 0,55 e 0,45, respectivamente. Recentemente, um estudo realizado com caprinos Saanen em crescimento revelou que a disponibilidade biológica de Ca foi de 0,66 (Dorigan *et al.*, 2018), valor adotado neste sistema de alimentação.

Dessa maneira, pontua-se que a exigência líquida de P para manutenção de caprinos em crescimento a ser utilizada é de 22,8 mg/kg de PC (Vargas *et al.*, 2020), inferior aos 40 mg/kg de PC relatados pelo AFRC (1998), que utilizou dados de ovinos, ou aos 30 mg/kg de PC, relatado pelo INRA (2007) e NRC (2007), que teve como base dados de ovinos e caprinos.

A exigência líquida de P para manutenção em cabras gestantes é de 31,1 mg/kg de PC (Harter *et al.*, 2017) e este valor é ligeiramente superior ao relatado por outros sistemas de alimentação de 30 mg de P/kg de PC (NRC, 2007) e 20,5 mg P/kg de PC (AFRC, 1998). Isto sugere que alterações fisiológicas no corpo materno durante a gravidez para o desenvolvimento fetal e a produção de colostro podem modificar as exigências de minerais para manutenção em cabras gestantes.

A disponibilidade biológica de P utilizada pelos sistemas de alimentação de caprinos (AFRC, 1998; NRC, 2007) varia de 0,64 a 0,70 e ambos os sistemas de alimentação utilizaram uma base de dados envolvendo estudos com ovinos. Neste sistema, adotaremos o valor de 0,69, que é uma média da disponibilidade biológica de P encontrada para caprinos Oberhasli (0,658; Bueno e Vitti , 1999) e Saanen (0,72; Carvalho *et al.*, 2003).

As exigências líquidas de Mg para manutenção aqui adotadas foram baseadas em estudos realizados com caprinos em crescimento e foram influenciadas pelo sexo (Vargas *et al.*, 2020). A exigência de Mg estimada para

machos inteiros foi de 2,6 mg Mg/kg PC, o que é 13% menor que a recomendação do NRC (2007) (3,0 mg Mg/kg PC), independentemente do sexo. Além disso, a estimativa das exigências de Mg para manutenção em machos castrados e fêmeas foi de 1,4 mg Mg/kg PC, o que foi 53% inferior ao relatado pelo NRC (2007).

Este último compilou dados de caprinos e ovinos de diferentes estudos (Pfeffer & Kunecke, 1986; Kessler, 1991; Haenlein, 1992; Meschy, 2000) para estimar as exigências líquidas de Mg para manutenção em caprinos. No entanto, o metabolismo mineral difere entre ovinos e caprinos (Meschy, 2000) e isso pode explicar a diferença entre os valores encontrados para caprinos criados em condições brasileiras e os reportados pelo NRC (2007).

Por outro lado, a exigência líquida para manutenção de Mg encontrada para cabras gestantes foi de 2,42 mg Mg/kg PC. Nesse sentido, a disponibilidade biológica de Mg não foi estudada em caprinos recentemente e, portanto, adotaremos o valor de 0,20, que foi observado para caprinos (Kessler, 1991), adotado pelo NRC (2007).

Será considerada a exigência líquida de Na para manutenção encontrada em caprinos Boer em crescimento de 5,14 e 5,00 mg/kg de PC, reportados por Fernandes *et al.* (2012) e Teixeira *et al.* (2015), respectivamente. Esses valores são inferiores aos recomendados por Meschy (2000) (15 mg/kg de PC), bem como pelo AFRC (1998) e NRC (2007) (8 mg/kg PC), obtidos de estudos com ovinos.

A exigência líquida de Na para manutenção encontrada para cabras gestantes maduras foi em média 10,4 mg Na/kg PC, o que é inferior ao relatado pelos mais adotados sistemas de alimentação para ovinos e caprinos (15 mg Na/kg PC; AFRC, 1998; NRC, 2007). Além disso, devido à falta de estudos, adotaremos o valor de 0,80 para a disponibilidade biológica de Na observado em caprinos (Kessler, 1991), o qual também foi adotado pelo NRC (2007).

A partir de um estudo meta-analítico, Vargas *et al.* (2020) encontraram exigência líquida de K para manutenção de 4,00 mg/kg PC em caprinos Saanen em crescimento de 5 a 45 kg de PC. Este valor foi inferior ao recomendado pelo INRA (2007) (50 mg K/kg PC) ou pelo NRC (2007) (38 mg K/kg PC) obtido em ovinos e caprinos pelo método de perdas endógenas. Nossos resultados mostraram que os sistemas de alimentação internacionais citados podem estar superestimando as exigências de K para manutenção de caprinos, de modo que adotaremos a exigência líquida de 4,00 mg/kg PC.

Foi encontrada também pelo método de abate comparativo a exigência líquida de K para manutenção de cabras gestantes de 8,73 mg K/kg PC aos 80 dias de gestação e 15,4 mg K/kg PC dos 110 e 140 dias de gestação, valores também inferiores ao adotado pelo INRA (2007) e NRC (2007). Além disso, devido à falta de estudos, adotaremos o valor de 0,90 para a disponibilidade biológica de K que foi observado para caprinos (Kessler, 1991) e adotado pelo NRC (2007).

Tabela 7.3 – Exigências líquidas e dietéticas de minerais para manutenção de caprinos em crescimento e cabras gestantes.

Mineral	Coeficiente de absorção	Exigência líquida (mg/kg de PC)	Exigência dietética (mg/kg de PC)
<i>Caprinos em crescimento</i>			
Cálcio	0,66	21,1	32,0
Fósforo	0,69	22,8	33,0
Magnésio			
Machos inteiros	0,20	2,60	13,0
Machos castrados e fêmeas	0,20	1,40	7,00
Sódio	0,80	5,14	6,43
Potássio	0,90	4,00	4,44
<i>Cabras gestantes</i>			
Cálcio	0,66	60,4	91,5
Fósforo	0,69	31,1	45,1
Magnésio	0,20	2,42	12,1
Sódio	0,80	10,4	13,0
Potássio			
80 dias de gestação	0,90	8,73	9,7
110 e 140 dias de gestação	0,90	15,4	17,1

EXIGÊNCIAS DE MACROMINERAIS PARA CRESCIMENTO

As exigências líquidas de minerais para crescimento foram estimadas com base no conteúdo mineral total no peso de corpo vazio (PCV) (Zar, 1968). Embora AFRC (1998) e NRC (2007) tenham relatado exigências de ganho de Ca, P, Mg, Na e K para caprinos, esses sistemas de alimentação não consideraram os efeitos do sexo ou grau de maturidade dos caprinos nas estimativas das exigências de macrominerais.

Esta condição pode resultar em valores enviesados das exigências de minerais, uma

vez que a dinâmica de deposição de nutrientes é influenciada pelo sexo e maturidade dos caprinos (Almeida *et al.*, 2016). Levando em conta essas limitações, Vargas *et al.* (2017) desenvolveram um estudo meta-analítico para estimar os efeitos do sexo nas exigências de crescimento de macrominerais em cabritos Saanen de 5 a 45 kg de PC, considerando ou não o grau de maturidade.

Os resultados deste estudo indicaram que, sem considerar o grau de maturidade, o sexo não afetou as exigências líquidas de macrominerais para crescimento, exceto para as exigências de Mg. Por outro lado, o sexo influenciou as exigências de Ca, P, Na e Mg

para o crescimento, mas não as exigências de K, quando o grau de maturidade foi considerado.

Assim, as exigências de Ca, P, Mg, Na e K para crescimento (g/kg PCV ganho (GPCV)) em caprinos Saanen de 5 a 45 kg de PC tendo como base a abordagem do grau de maturidade podem ser estimadas por meio das seguintes equações (Vargas *et al.*, 2017):

Para machos castrados:

$$\text{Ca (g/kg GPCV)} = 9,47 \times \text{PCV}^{-0,0031} \quad \text{Eq. 7.1}$$

$$\text{P (g/kg GPCV)} = 7,77 \times \text{PCV}^{-0,0015} \quad \text{Eq. 7.2}$$

$$\text{Mg (g/kg GPCV)} = 0,428 \times \text{PCV}^{0,0351} \quad \text{Eq. 7.3}$$

$$\text{Na (g/kg GPCV)} = 1,76 \times \text{PCV}^{-0,185} \quad \text{Eq. 7.4}$$

$$\text{K (g/kg GPCV)} = 2,10 \times \text{PCV}^{-0,149} \quad \text{Eq. 7.5}$$

Para machos inteiros:

$$\text{Ca (g/kg GPCV)} = 10,10 \times \text{PCV}^{-0,0031} \quad \text{Eq. 7.6}$$

$$\text{P (g/kg GPCV)} = 7,94 \times \text{PCV}^{-0,0015} \quad \text{Eq. 7.7}$$

$$\text{Mg (g/kg GPCV)} = 0,449 \times \text{PCV}^{0,066} \quad \text{Eq. 7.8}$$

$$\text{Na (g/kg GPCV)} = 1,81 \times \text{PCV}^{-0,1854} \quad \text{Eq. 7.9}$$

$$\text{K (g/kg GPCV)} = 2,05 \times \text{PCV}^{-0,149} \quad \text{Eq. 7.10}$$

Para fêmeas:

$$\text{Ca (g/kg GPCV)} = 9,64 \times \text{PCV}^{-0,0031} \quad \text{Eq. 7.11}$$

$$\text{P (g/kg GPCV)} = 7,74 \times \text{PCV}^{-0,0015} \quad \text{Eq. 7.12}$$

$$\text{Mg (g/kg GPCV)} = 0,494 \times \text{PCV}^{-0,039} \quad \text{Eq. 7.13}$$

$$\text{Na (g/kg GPCV)} = 1,67 \times \text{PCV}^{-0,185} \quad \text{Eq. 7.14}$$

$$\text{K (g/kg GPCV)} = 2,09 \times \text{PCV}^{-0,149} \quad \text{Eq. 7.15}$$

A abordagem do grau de maturidade pode resultar em valores mais precisos das exigências de minerais para o crescimento do que aqueles estimados utilizando-se o PCV como regressor (Owens *et al.*, 1995). Entretanto, essa abordagem requer conhecimento acurado do peso à maturidade dos caprinos de diferentes sexos e genótipos e essa informação é apenas conhecida para caprinos da raça Saanen.

Desta forma, nesta edição do BR-CA-PRINOS & OVINOS, optou-se por adotar as equações de estimativa de exigências líquidas de macrominerais para crescimento sem considerar a proporção do peso à maturidade (Equações 7.16-7.22).

$$\text{Ca}_{\text{crescimento}} (\text{g/kg GPCV}) = 9,68 \times \text{PCV}^{-0,0031} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 7.16}$$

$$\text{P}_{\text{crescimento}} (\text{g/kg GPCV}) = 7,78 \times \text{PCV}^{-0,0015} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 7.17}$$

$$\text{Na}_{\text{crescimento}} (\text{g/kg GPCV}) = 1,74 \times \text{PCV}^{-0,185} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 7.18}$$

$$\text{K}_{\text{crescimento}} (\text{g/kg GPCV}) = 2,07 \times \text{PCV}^{-0,149} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 7.19}$$

Machos castrados

$$\text{Mg}_{\text{crescimento}} (\text{g/kg GPCV}) = 0,431 \times \text{PCV}^{0,035} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 7.20}$$

Machos inteiros

$$\text{Mg}_{\text{crescimento}} (\text{g/kg GPCV}) = 0,448 \times \text{PCV}^{0,066} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 7.21}$$

$$\text{Fêmeas Mg}_{\text{crescimento}} (\text{g/kg GPCV}) = 0,493 \times \text{PCV}^{-0,039} (\text{kg}) \quad \text{Eq. 7.22}$$

EXIGÊNCIAS DE MACROMINERAIS PARA GESTAÇÃO

As exigências líquidas de minerais para gestação foram determinadas por meio da mensuração da deposição de minerais nos produtos da gestação: útero grávido (fetos + fluido fetal + tecido uterino com placenta e placentomas) e glândula mamária (Härter *et al.*, 2017).

Para determinar a deposição líquida de minerais, utilizamos o modelo exponencial ($y = W_0 e^{kt}$) ajustado ao conteúdo mineral total dos produtos da gestação desde o dia do acasalamento até os 140 dias de gestação (Härter *et al.*, 2017). As exigências líquidas diárias dos minerais foram obtidas a partir da equação diferencial do modelo exponencial final obtido por cada mineral (Härter *et al.*, 2017).

As exigências líquidas de Ca, P, Mg, Na e K para gestação (g) simples e gemelar podem ser estimadas pelos seguintes modelos:

Exigências líquidas de cálcio para gestação:

Gestação simples

$$Ca(g) = 0,251 e^{0,0352 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 7.23}$$

Gestação gemelar

$$Ca(g) = 0,379 e^{0,0352 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 7.24}$$

Exigências líquidas de fósforo para gestação:

Gestação simples

$$P(g) = 0,297 e^{0,0309 \times \text{dias de gestação}} \quad \text{Eq. 7.25}$$

Gestação gemelar

$$P(g) = 0,470 e^{0,0309 \times \text{dias de gestação}}$$

Eq. 7.26

Exigências líquidas de magnésio para gestação:

Gestação simples

$$Mg(g) = 0,0321 e^{0,0296 \times \text{dias de gestação}}$$

Eq. 7.27

Gestação gemelar

$$Mg(g) = 0,0436 e^{0,0296 \times \text{dias de gestação}}$$

Eq. 7.28

Exigências líquidas de sódio para gestação:

Gestação simples

$$Na(g) = 0,697 e^{0,0238 \times \text{dias de gestação}}$$

Eq. 7.29

Gestação gemelar

$$Na(g) = 1,026 e^{0,0238 \times \text{dias de gestação}}$$

Eq. 7.30

Exigências líquidas de potássio para gestação:

Gestação simples

$$K(g) = 0,464 e^{0,0232 \times \text{dias de gestação}}$$

Eq. 7.31

Gestação gemelar

$$K(g) = 0,464 e^{0,0258 \times \text{dias de gestação}}$$

Eq. 7.32

Para estimativa das exigências dietéticas de minerais para gestação, utilizou-se a mesma disponibilidade biológica adotada para as exigências de manutenção, conforme descrito anteriormente.

Os sistemas de alimentação NRC (2007) e AFRC (1998) não consideram todos os produtos de gestação nas suas estimativas das exigências de minerais de uma cabra gestante. As recomendações do NRC (2007)

e AFRC (1998) para cabras gestantes baseiam-se unicamente na composição do feto no nascimento e esta abordagem requer a suposição de que a taxa de acréscimo mineral é constante durante a gestação.

Entretanto, Härter *et al.* (2017) mostraram claramente que as taxas de deposição mineral aumentam durante a gestação (Figura 1). Comparando nossos resultados das exigências dietéticas de macrominerais com aqueles relatados pelos sistemas de alimentação para caprinos, com exceção do Ca, observa-se que a maioria das exigências está

superestimada pelos sistemas NRC e AFRC (Figuras 2 a 4).

Somente as exigências de fósforo e sódio dos sistemas de alimentação estão mais próximas das reportadas neste estudo. Além disso, o AFRC (1998) fornece apenas informações limitadas sobre as exigências de Na e K, não cobrindo as exigências da gestação. Portanto, esses resultados contribuiriam para o desenvolvimento da produção caprina, especialmente na reprodução, uma vez que as exigências de minerais apresentadas neste sistema de alimentação são mais completas e precisas.

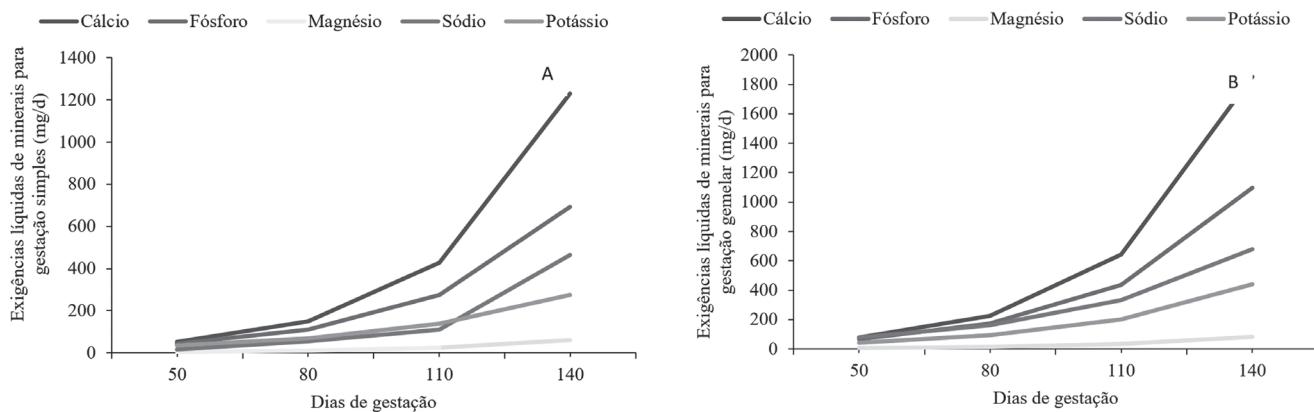


Figura 7.1 – Exigências líquidas de minerais para gestação de cabras leiteiras com fetos simples (A) e gemelares (B) ao longo da gestação.

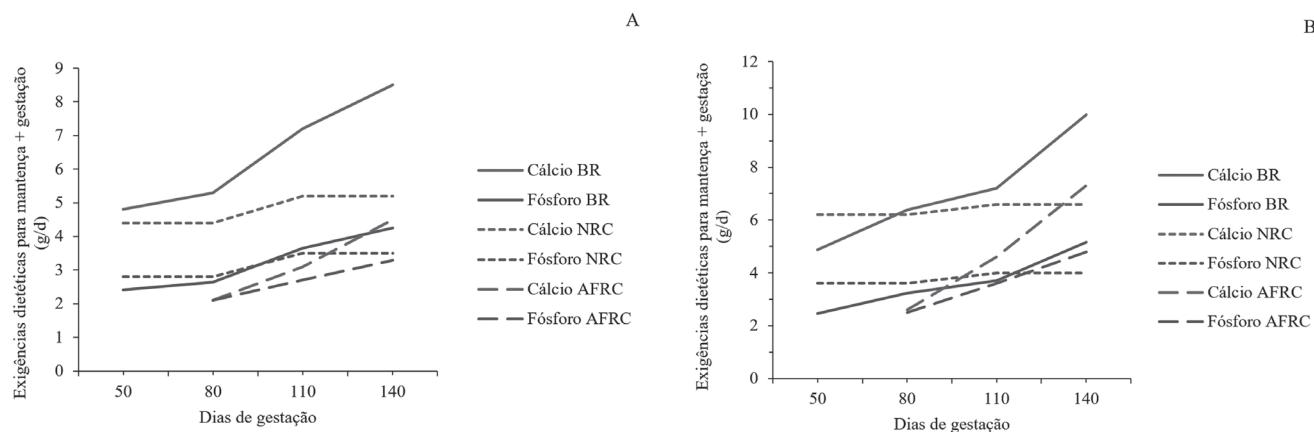


Figura 7.2 – Exigências dietéticas de cálcio e fósforo para gestação simples (A) e gemelar (B) em cabras leiteiras recomendada por este sistema de alimentação (BR-CAPRINOS & OVINOS (linha contínua)) e NRC, 2007 (linha pontilhada).

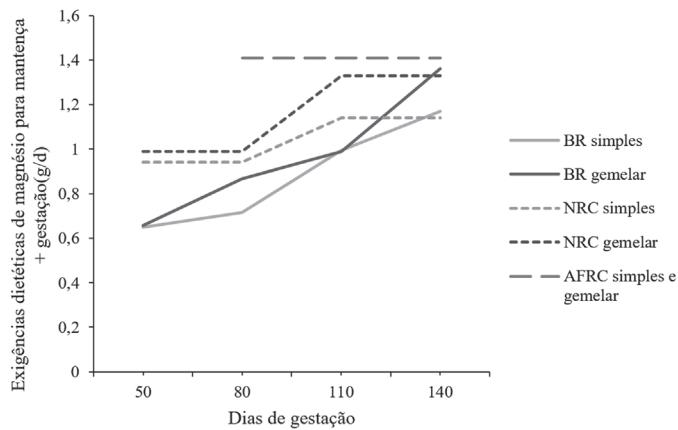


Figura 7.3 – Exigências dietéticas de magnésio para gestação simples (A) e gemelar (B) em cabras leiteiras recomendada por este sistema de alimentação [BR-CAPRINOS & OVINOS (linha contínua)], NRC, 2007 (linha pontilhada) e AFRC, 1998 (linha tracejada).

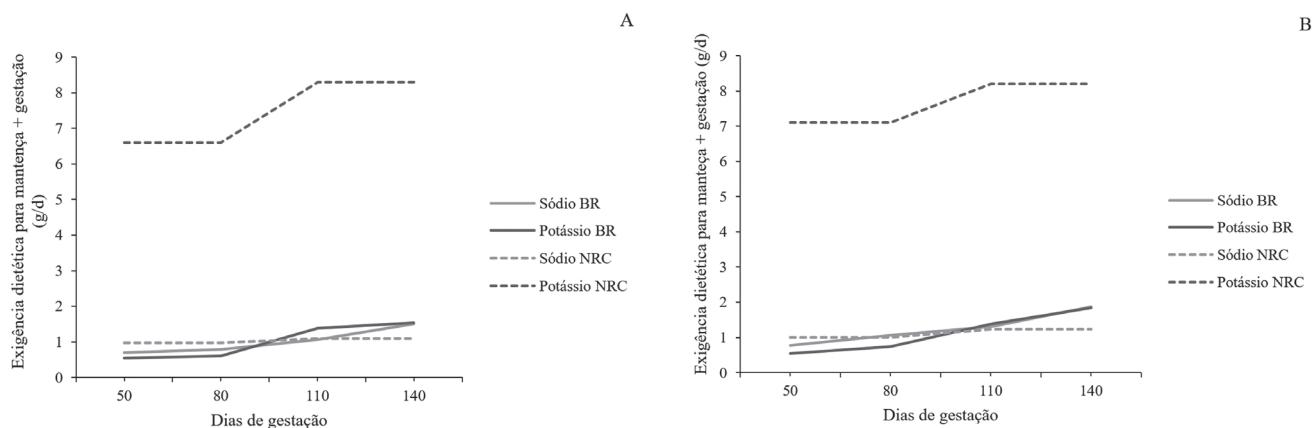


Figura 7.4 – Exigências dietéticas de sódio e potássio para gestação simples (A) e gemelar (B) em cabras leiteiras recomendada por este sistema de alimentação [BR-CAPRINOS & OVINOS (linha contínua)], NRC, 2007 (linha pontilhada) e AFRC, 1998 (linha tracejada).

EXIGÊNCIAS DE MICROMINERAIS PARA CRESCIMENTO

Existem poucos estudos que abordam acerca das exigências de microminerais para caprinos no Brasil e esta é uma grande lacuna que ainda precisa ser estudada pelos pesquisadores. Devido à escassez de estudos, as recomendações de microminerais ainda estão condicionadas à extração de outras espécies, como é o caso do coeficiente de absorção de minerais. Os estudos disponíveis relatam as exigências para crescimento dos microminerais Zn, Co, Cu, Fe e

Mn de 15 a 25 kg de PC (Araújo *et al.*, 2017; Ribeiro *et al.*, 2018).

As exigências dietéticas de Co para ganho relatadas pelos sistemas de alimentação são 0,11 mg de Co/kg de matéria seca ingerida (CMS) (NRC 2007; AFRC 1997; ARC 1980). No entanto, os estudos no Brasil mostraram que as exigências líquidas de Co para ganho variam de 0,10 a 0,30 mg/kg de CMS (Araújo *et al.*, 2017). Considerando o coeficiente de conversão microbiana do Co em vitamina B₁₂ de 3% em condições normais (ARC 1980), as exigências dietéticas de Co

devem ser consideradas entre 3,3 e 10 mg/kg de CMS para ganho médio diário (GMD) de 100 a 300 g, respectivamente.

Apesar das recomendações de Araújo *et al.* (2017) serem mais altas que as sugeridas pelos sistemas de alimentação internacionais, iremos adotá-las, pois foram conduzidas com caprinos criados em condições brasileiras e utilizaram a técnica do abate comparativo. No entanto, o coeficiente de absorção de Co ainda precisa ser melhor estabelecido; desta forma, nos limitaremos a recomendar apenas a exigência líquida para crescimento de Co nesta publicação (Equação 7.33):

$$\text{Exigência líquida de Co (mg/kg de ganho de PC)} = 0,73 \times \text{PCV}^{0,0886} \quad \text{Eq. 7.33}$$

As exigências dietéticas de Cu para crescimento encontradas em estudos brasileiros foram, em média, 10,2 e 64,7 mg/kg de CMS para caprinos Moxotó e Canindé, respectivamente (Araújo *et al.* 2017; Ribeiro *et al.*, 2018). Em comparação, a última revisão das exigências para caprinos aumentou a recomendação de 10 para 25 mg de Cu/kg de CMS (NRC, 2007). Foi relatado que os caprinos toleram 60 mg de Cu/kg de MS ingerida por 1.137 dias sem apresentar sinais de toxicidade (Zervas *et al.*, 1990).

Portanto, parece que os caprinos requerem maiores níveis de Cu na dieta e as equações desenvolvidas com os caprinos Canindé serão adotadas por este sistema. O coeficiente de absorção para Cu utilizado é 0,045 (NRC, 2007).

$$\text{Exigência líquida de Cu (mg/kg de ganho de PC)} = 0,356 \times \text{PCV}^{1,281} \quad \text{Eq. 7.34}$$

As exigências de Fe para o crescimento após a revisão do NRC (2007) foram estabelecidas como 95 mg/kg de CMS, e, antes dis-

so, o AFRC (1997) recomendou 30 mg/kg de CMS. Os estudos brasileiros que estimaram as exigências de Fe em caprinos Moxotó e Canindé, tendo como base a técnica de abate comparativo, encontraram valores em média de 134 e 119 mg/kg de CMS, respectivamente (Araújo *et al.*, 2017; Ribeiro *et al.*, 2018). As exigências de Fe em caprinos nativos em crescimento são muito superiores às relatadas pelo sistema AFRC.

Portanto, neste sistema de alimentação adotaremos as exigências líquidas de Fe relatadas por Ribeiro *et al.* (2018) e o coeficiente de absorção de 0,10 (NRC, 2007).

$$\text{Exigência líquida de Fe (mg/kg de ganho de PC)} = 7,256 \times \text{PCV}^{0,7077} \quad \text{Eq. 7.35}$$

As exigências líquidas de Mn para ganho relatadas para caprinos Moxotó variam de 1,46 a 1,85 mg/kg de PC (Araújo *et al.*, 2017) e para caprinos Canindé variam de 8,6 a 24 mg/kg de PC (Ribeiro *et al.*, 2018). Os resultados obtidos com caprinos da raça Moxotó estão mais próximos das recomendações do NRC (2007) de 0,7 mg de Mn/kg de GPC. Dessa forma, considerando o coeficiente de absorção de 0,0075, as exigências dietéticas estão próximas do relatado por Haenlein (1992) (20-40 mg de Mn/kg CMS).

Assim, para este sistema, é mais razoável adotar o modelo obtido com caprinos Moxotó (Araújo *et al.*, 2017) para estimar as exigências líquidas de Mn para crescimento:

$$\text{Exigência líquida de Mn (mg/kg de ganho de PC)} = 0,43 \times \text{PCV}^{0,4189} \quad \text{Eq. 7.36}$$

As exigências de Zn para crescimento variam de 37,1 a 43,6 mg/kg GPC para caprinos Moxotó (Araújo *et al.*, 2017) e de 19,5 a 26,5 mg/kg GPC para caprinos Canindé (Ribeiro *et al.*, 2018). Por outro lado, o últi-

mo estudo fornece valores mais próximos das exigências de Zn relatadas pelo NRC (2007), que é de 25 mg/kg de PC.

O AFRC recomenda 50 mg/kg de CMS, enquanto os estudos brasileiros reportam valores de exigência variando de 14,7 a 23,7 mg/kg de CMS. Como na fase de crescimento as exigências de Zn são menores que para gestação e para produção de leite, assumimos que é mais prudente adotar as equações de Ribeiro *et al.* (2018) como recomendação para estimar as exigências líquidas de Zn para crescimento e também adotar o coeficiente de absorção de 0,30, obtido com cabritos desmamados (NRC, 2007).

$$\text{Exigências líquida de Zn (mg/kg de ganho de PC)} = 4,217 \times \text{PCV}^{0,545} \quad \text{Eq. 7.37}$$

Ainda existe uma enorme lacuna quanto às informações sobre as exigências de microminerais para caprinos em crescimento e também em diferentes fases de produção.

Os estudos existentes determinaram as exigências para crescimento de Co, Cu, Fe, Mn e Zn, mas ainda precisam ser estudados minerais como Selênio, Iodo, Cromo, Boro e Niquel, que também são importantes para o rúmen e para o metabolismo no ruminante.

Os microminerais desempenham um papel importante no metabolismo e, portanto, estudos futuros precisarão focar na determinação de tais exigências para aprimorar a recomendação destes elementos na dieta

e assim melhorar a saúde e a produção dos caprinos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os minerais desempenham um papel crucial no organismo dos animais, de modo que o BR-CAPRINOS & OVINOS contribui para aprimorar o conhecimento sobre as recomendações de exigências desses elementos em caprinos. Este sistema de alimentação reconhece a necessidade de esforços adicionais para compreender melhor os efeitos do genótipo e do peso à maturidade nas exigências de macrominerais, principalmente nas exigências de manutenção e crescimento.

Um grande avanço foi realizado no sentido de apresentação de recomendações atualizadas das exigências de minerais para gestação; entretanto, as exigências de lactação não foram abordadas devido à falta de dados disponíveis para esta categoria. Além disso, destaca-se a importância de estudos futuros para determinar as exigências de microminerais.

Por último, ressalta-se a necessidade de conhecimento mais aprofundado sobre os coeficientes de absorção dos diferentes minerais. Esforços contínuos para aprimorar os modelos de estimativa de exigências de macro e microminerais, juntamente com a compreensão dos coeficientes de absorção, proporcionarão maior confiabilidade na formulação de rações para caprinos.

EXEMPLO DE CÁLCULO DE EXIGÊNCIAS DE CÁLCIO PARA CAPRINOS EM CRESCIMENTO E EM GESTAÇÃO

Para demonstrar a aplicação das equações de predição de minerais, a estimativa das exigências de Ca para um caprino macho inteiro, pesando 30 kg e com ganho médio diário (GMD) de 200 g/dia, será realizada da seguinte forma:

Para estimativa de PCV, foi adotada a abordagem mais mecanicista indicada no Capítulo 1 deste sistema de alimentação. Cálculo da estimativa de ganho em peso de corpo vazio também foi indicada no Capítulo 1.

$$\text{CTGI (g/kg PC)} = 525,5 \times \text{PC}^{-0,33} (\text{kg})$$

$$\text{CTGI (g/kg PC)} = 525,5 \times 30^{-0,33}$$

$$\text{CTGI (g/kg PC)} = 171,05$$

$$\text{CTGI (g)} = \text{CTGI (g/kg PC)} \times \text{PC (kg)}$$

$$\text{CTGI (g)} = 171,05 \times 30$$

$$\text{CTGI (g)} = 5131,50$$

$$\text{CTGI (kg)} = 5,13$$

$$\text{PCV (kg)} = \text{PC (kg)} - \text{CTGI (kg)}$$

$$\text{PCV (kg)} = 30 - 5,13$$

$$\text{PCV} = 24,9 \text{ kg}$$

$$\text{GPCV (g)} = 1,126 \times \text{GPC}^{0,941} (\text{g})$$

$$\text{GPCV (g)} = 1,126 \times 200^{0,941}$$

$$\text{GPCV (g)} = 164,7 \text{ g}$$

$$\text{Exigências líquidas de Ca (g/kg GPC)} = 9,68 \times \text{PCV}^{-0,0031} (\text{kg})$$

$$\text{Exigências líquidas de Ca} = 9,68 \times 24,9^{-0,0031}$$

$$\text{Exigências líquidas de Ca} = 9,58 \text{ g/kg GPCV}$$

Exigências líquidas de Ca para 200g de GMD = $9,58 \times 0,1647 = 1,58\text{g/dia}$

Exigências dietéticas de Ca para 200g de GMD = $1,58 / 0,66 = 2,39\text{ g/dia}$

Exigências líquidas de Ca para manutenção = $21,1\text{ mg/kg PC}$

Exigências líquidas de Ca para manutenção = $21,1 \times 30 = 633\text{mgCa/dia}$

Exigências dietéticas de Ca para manutenção = $633 / 0,66 = 959,1\text{ mg Ca/dia} = 0,96\text{ g Ca/dia}$

Exigências dietéticas totais = exigências de ganho + exigências de manutenção

Exigências dietéticas totais de Ca = $2,39 + 0,96 = 3,35\text{g Ca/dia}$

Para a gestação será considerada uma cabra leiteira com 68 kg de PC com gestação gemelar aos 110 dias de gestação.

Exigências líquidas de Ca para manutenção = $60,4 \times 68/1000 = 4,11\text{ g Ca/dia}$

Conteúdo líquido de Ca nos produtos da gestação (g) = 0,379 e $^{0,0352 \times \text{dias de gestação}}$

Conteúdo líquido de Ca nos produtos da gestação (g) = 0,379 e $^{0,0352 \times 110}$

Conteúdo líquido de Ca nos produtos da gestação (g) = 18,21 g

Exigências líquidas de Ca para gestação (Diferencial do modelo) = $18,21 \times 0,0352 = 0,641\text{g/dia}$

Exigências líquidas totais de Ca para uma cabra gestante = $4,11 + 0,641 = 4,75\text{g/dia}$

Exigências dietéticas totais de Ca para uma cabra gestante = $4,75 / 0,66 = 7,2\text{g Ca/dia}$

Tabela 7.4 – Estimativas das exigências dietéticas totais de macrominerais para caprinos leiteiros em crescimento.

Sexo	PC (kg)	GMD (g/d)	Ca (g/d)	P (g/d)	K (g/d)	Mg (g/d)	Na (g/d)	Ca:P
Fêmeas	10	100	1.535	1.259	0.188	0.259	0.172	1.219
Fêmeas	10	150	2.113	1.705	0.256	0.350	0.229	1.239
Fêmeas	10	200	2.680	2.142	0.323	0.439	0.285	1.251
Fêmeas	15	100	1.695	1.427	0.201	0.291	0.189	1.188

Castrados = machos castrados; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = exigências dietéticas totais de cálcio; P = exigências dietéticas totais de fósforo; K = exigências dietéticas totais de potássio; Mg = exigências dietéticas totais de magnésio; Na = exigências dietéticas totais de sódio; Ca:P = razão Ca:P.

Tabela 7.4 – Estimativas das exigências dietéticas totais de macrominerais para caprinos leiteiros em crescimento. (*Continuação*).

Sexo	PC (kg)	GMD (g/d)	Ca (g/d)	P (g/d)	K (g/d)	Mg (g/d)	Na (g/d)	Ca:P
Fêmeas	15	150	2.273	1.872	0.265	0.380	0.242	1.214
Fêmeas	15	200	2.839	2.309	0.328	0.468	0.294	1.230
Fêmeas	20	100	1.859	1.597	0.217	0.325	0.211	1.164
Fêmeas	20	150	2.436	2.043	0.279	0.413	0.260	1.193
Fêmeas	20	200	3.002	2.479	0.339	0.499	0.309	1.211
Fêmeas	25	100	2.026	1.771	0.236	0.359	0.234	1.144
Fêmeas	25	150	2.603	2.216	0.295	0.447	0.282	1.175
Fêmeas	25	200	3.168	2.652	0.353	0.533	0.328	1.195
Fêmeas	30	100	2.194	1.945	0.256	0.395	0.259	1.128
Fêmeas	30	150	2.771	2.390	0.313	0.481	0.305	1.159
Fêmeas	30	200	3.335	2.826	0.369	0.567	0.350	1.180
Castrados	10	100	1.513	1.263	0.188	0.260	0.178	1.198
Castrados	10	150	2.081	1.710	0.257	0.352	0.239	1.217
Castrados	10	200	2.638	2.149	0.325	0.441	0.298	1.228
Castrados	15	100	1.673	1.430	0.201	0.299	0.195	1.170
Castrados	15	150	2.241	1.877	0.266	0.392	0.251	1.193
Castrados	15	200	2.797	2.316	0.329	0.483	0.305	1.208
Castrados	20	100	1.837	1.601	0.218	0.337	0.216	1.148
Castrados	20	150	2.404	2.048	0.279	0.431	0.269	1.174
Castrados	20	200	2.960	2.486	0.340	0.523	0.320	1.191
Castrados	25	100	2.004	1.774	0.237	0.375	0.239	1.129
Castrados	25	150	2.571	2.221	0.296	0.470	0.290	1.157
Castrados	25	200	3.126	2.659	0.354	0.563	0.339	1.176
Castrados	30	100	2.172	1.949	0.256	0.413	0.264	1.114
Castrados	30	150	2.738	2.396	0.314	0.509	0.312	1.143
Castrados	30	200	3.293	2.834	0.370	0.602	0.360	1.162
Machos	10	100	1.594	1.284	0.185	0.340	0.182	1.242
Machos	10	150	2.200	1.741	0.252	0.442	0.244	1.264
Machos	10	200	2.794	2.189	0.318	0.542	0.305	1.276
Machos	15	100	1.754	1.451	0.198	0.414	0.199	1.209
Machos	15	150	2.360	1.908	0.261	0.519	0.256	1.237

Castrados = machos castrados; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = exigências dietéticas totais de cálcio; P = exigências dietéticas totais de fósforo; K = exigências dietéticas totais de potássio; Mg = exigências dietéticas totais de magnésio; Na = exigências dietéticas totais de sódio; Ca:P = razão Ca:P.

Tabela 7.4 – Estimativas das exigências dietéticas totais de macrominerais para caprinos leiteiros em crescimento. (*Continuação*).

Sexo	PC (kg)	GMD (g/d)	Ca (g/d)	P (g/d)	K (g/d)	Mg (g/d)	Na (g/d)	Ca:P
Machos	15	200	2.953	2.356	0.323	0.622	0.312	1.253
Machos	20	100	1.919	1.622	0.215	0.487	0.219	1.183
Machos	20	150	2.523	2.079	0.275	0.595	0.273	1.214
Machos	20	200	3.116	2.527	0.334	0.700	0.326	1.233
Machos	25	100	2.085	1.795	0.234	0.560	0.243	1.161
Machos	25	150	2.689	2.252	0.291	0.670	0.294	1.194
Machos	25	200	3.282	2.699	0.348	0.777	0.345	1.216
Machos	30	100	2.253	1.970	0.253	0.634	0.267	1.144
Machos	30	150	2.857	2.427	0.310	0.744	0.317	1.177
Machos	30	200	3.449	2.874	0.365	0.853	0.365	1.200

Castrados = machos castrados; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = exigências dietéticas totais de cálcio; P = exigências dietéticas totais de fósforo; K = exigências dietéticas totais de potássio; Mg = exigências dietéticas totais de magnésio; Na = exigências dietéticas totais de sódio; Ca:P = razão Ca:P.

Tabela 7.5 – Estimativas das exigências dietéticas totais de macrominerais para caprinos machos nativos e de corte.

Aptidão	PC (kg)	GMD (g/d)	Ca (g/d)	P (g/d)	K (g/d)	Mg (g/d)	Na (g/d)	Ca:P
Nativos	10	100	1.594	1.284	0.185	0.340	0.182	1.242
Nativos	10	150	2.200	1.741	0.252	0.442	0.244	1.264
Nativos	10	200	2.794	2.189	0.318	0.542	0.305	1.276
Nativos	15	100	1.754	1.451	0.198	0.414	0.199	1.209
Nativos	15	150	2.360	1.908	0.261	0.519	0.256	1.237
Nativos	15	200	2.953	2.356	0.323	0.622	0.312	1.253
Nativos	20	100	1.919	1.622	0.215	0.487	0.219	1.183

Corte = > 50% Boer; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = exigências dietéticas totais de cálcio; P = exigências dietéticas totais de fósforo; K = exigências dietéticas totais de potássio; Mg = exigências dietéticas totais de magnésio; Na = exigências dietéticas totais de sódio; Ca:P = razão Ca:P.

Tabela 7.5 – Estimativas das exigências dietéticas totais de macrominerais para caprinos machos nativos e de corte. (*Continuação*).

Aptidão	PC (kg)	GMD (g/d)	Ca (g/d)	P (g/d)	K (g/d)	Mg (g/d)	Na (g/d)	Ca:P
Nativos	20	150	2.523	2.079	0.275	0.595	0.273	1.214
Nativos	20	200	3.116	2.527	0.334	0.700	0.326	1.233
Nativos	25	100	2.085	1.795	0.234	0.560	0.243	1.161
Nativos	25	150	2.689	2.252	0.291	0.670	0.294	1.194
Nativos	25	200	3.282	2.699	0.348	0.777	0.345	1.216
Nativos	30	100	2.253	1.970	0.253	0.634	0.267	1.144
Nativos	30	150	2.857	2.427	0.310	0.744	0.317	1.177
Nativos	30	200	3.449	2.874	0.365	0.853	0.365	1.200
Corte	10	100	1.594	1.284	0.185	0.340	0.182	1.242
Corte	10	150	2.200	1.741	0.252	0.442	0.244	1.264
Corte	10	200	2.794	2.189	0.318	0.542	0.305	1.276
Corte	15	100	1.754	1.451	0.198	0.414	0.199	1.209
Corte	15	150	2.360	1.908	0.261	0.519	0.256	1.237
Corte	15	200	2.953	2.356	0.323	0.622	0.312	1.253
Corte	20	100	1.919	1.622	0.215	0.487	0.219	1.183
Corte	20	150	2.523	2.079	0.275	0.595	0.273	1.214
Corte	20	200	3.116	2.527	0.334	0.700	0.326	1.233
Corte	25	100	2.085	1.795	0.234	0.560	0.243	1.161
Corte	25	150	2.689	2.252	0.291	0.670	0.294	1.194
Corte	25	200	3.282	2.699	0.348	0.777	0.345	1.216
Corte	30	100	2.253	1.970	0.253	0.634	0.267	1.144
Corte	30	150	2.857	2.427	0.310	0.744	0.317	1.177
Corte	30	200	3.449	2.874	0.365	0.853	0.365	1.200

Corte = > 50% Boer; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; Ca = exigências dietéticas totais de cálcio; P = exigências dietéticas totais de fósforo; K = exigências dietéticas totais de potássio; Mg = exigências dietéticas totais de magnésio; Na = exigências dietéticas totais de sódio; Ca:P = razão Ca:P.

Tabela 7.6 – Estimativas das exigências de macrominerais de cabras em gestação.

Dias de gestação	PC (kg)	Exigências líquidas de minerais totais					Exigências dietéticas de minerais				
		Ca (g/d)	P (g/d)	Mg (g/d)	Na (g/d)	K (g/d)	Ca (g/d)	P (g/d)	Mg (g/d)	Na (g/d)	K (g/d)
Gestação Simples											
50	44	2,709	1,411	0,111	0,473	0,418	4,105	2,048	0,553	0,592	0,465
50	52	3,192	1,660	0,130	0,556	0,488	4,837	2,410	0,650	0,695	0,542
50	60	3,676	1,909	0,149	0,639	0,558	5,569	2,771	0,747	0,799	0,620
50	68	4,159	2,158	0,169	0,722	0,628	6,301	3,132	0,844	0,903	0,698
50	76	4,642	2,407	0,188	0,805	0,698	7,033	3,493	0,940	1,007	0,775
80	44	2,806	1,477	0,117	0,511	0,453	4,251	2,144	0,583	0,639	0,503
80	52	3,289	1,726	0,136	0,594	0,523	4,983	2,505	0,680	0,743	0,581
80	60	3,772	1,975	0,155	0,677	0,593	5,715	2,866	0,777	0,847	0,658
80	68	4,255	2,224	0,175	0,760	0,662	6,447	3,228	0,873	0,950	0,736
80	76	4,738	2,473	0,194	0,843	0,732	7,179	3,589	0,970	1,054	0,814
110	44	3,085	1,642	0,131	0,568	0,816	4,674	2,384	0,655	0,710	0,906
110	52	3,568	1,891	0,150	0,651	0,939	5,406	2,745	0,752	0,813	1,043
110	60	4,051	2,140	0,170	0,734	1,062	6,138	3,106	0,849	0,917	1,180
110	68	4,534	2,389	0,189	0,817	1,185	6,870	3,467	0,945	1,021	1,317
110	76	5,017	2,638	0,208	0,900	1,308	7,602	3,828	1,042	1,125	1,454
140	44	3,888	2,061	0,166	0,920	0,954	5,890	2,992	0,830	1,150	1,060
140	52	4,371	2,310	0,185	1,003	1,077	6,622	3,353	0,927	1,253	1,196
140	60	4,854	2,559	0,205	1,086	1,200	7,355	3,714	1,024	1,357	1,333
140	68	5,337	2,808	0,224	1,169	1,323	8,087	4,075	1,120	1,461	1,470
140	76	5,820	3,057	0,243	1,252	1,446	8,819	4,436	1,217	1,565	1,607

PC = peso corporal.

Tabela 7.6 – Estimativas das exigências de macrominerais de cabras em gestação. (*Continuação*).

Dias de gestação	PC (kg)	Exigências líquidas de minerais totais					Exigências dietéticas de minerais				
		Ca (g/d)	P (g/d)	Mg (g/d)	Na (g/d)	K (g/d)	Ca (g/d)	P (g/d)	Mg (g/d)	Na (g/d)	K (g/d)
Gestação gemelar											
50	44	2,735	1,436	0,112	0,537	0,427	4,144	2,085	0,561	0,671	0,475
50	52	3,219	1,685	0,132	0,620	0,497	4,877	2,446	0,658	0,775	0,553
50	60	3,702	1,934	0,151	0,703	0,567	5,609	2,807	0,754	0,879	0,630
50	68	4,185	2,183	0,170	0,786	0,637	6,341	3,168	0,851	0,982	0,708
50	76	4,668	2,432	0,190	0,869	0,707	7,073	3,529	0,948	1,086	0,785
80	44	2,882	1,540	0,120	0,620	0,478	4,366	2,236	0,601	0,775	0,531
80	52	3,365	1,789	0,140	0,703	0,548	5,098	2,597	0,698	0,878	0,609
80	60	3,848	2,038	0,159	0,786	0,618	5,830	2,958	0,795	0,982	0,686
80	68	4,331	2,287	0,178	0,869	0,688	6,562	3,319	0,891	1,086	0,764
80	76	4,814	2,536	0,198	0,952	0,757	7,295	3,680	0,988	1,190	0,842
110	44	3,302	1,802	0,140	0,791	0,881	5,002	2,616	0,699	0,988	0,978
110	52	3,785	2,051	0,159	0,874	1,004	5,735	2,977	0,796	1,092	1,115
110	60	4,268	2,300	0,179	0,957	1,127	6,467	3,338	0,893	1,196	1,252
110	68	4,751	2,549	0,198	1,040	1,250	7,199	3,699	0,989	1,300	1,389
110	76	5,234	2,798	0,217	1,123	1,373	7,931	4,060	1,086	1,404	1,526
140	44	4,511	2,465	0,187	1,138	1,119	6,834	3,578	0,937	1,422	1,243
140	52	4,994	2,714	0,207	1,221	1,242	7,566	3,939	1,034	1,526	1,380
140	60	5,477	2,963	0,226	1,304	1,365	8,298	4,300	1,131	1,630	1,517
140	68	5,960	3,212	0,245	1,387	1,488	9,031	4,662	1,227	1,734	1,654
140	76	6,443	3,461	0,265	1,470	1,611	9,763	5,023	1,324	1,837	1,790

PC = peso corporal.

REFERÊNCIAS

- ARC. Agricultural Research Council. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Technical Review by an Agricultural Research Council Working Party, Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, UK. 1980.
- AFRC. *The nutrition of goats*. Walingford: CAB International, Nutrition Abstracts and Reviews Series B, v.67, n.11, 1997. 830p
- AFRC. *The nutrition of goats*. CAB Int., New York, NY. 1998.
- Almeida, A. K.; Resende, K. T.; Tedeschi, L. O.; Fernandes, M. H. M. R.; Regadas Filho, J. G. L.; Teixeira, I. A. M. A. Using body composition to determine weight at maturity of male and female Saanen goats. *Journal of Animal Science*, v. 94, p. 2564–2571, 2016.
- Ammerman C. B.; Goodrich R. D. Advances in Mineral Nutrition in Ruminants. *Journal of Animal Science*, v.57, p.519-533, 1983.
- Araújo, M. J.; Medeiros, A. N.; Teixeira, I. A. M. DE A.; Costa, R. G.; Marques, C. A. T.; Resende, K. T.; Melo, G. M. P. Trace mineral requirements for growth of Moxotó goats grazing in the semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 46(3), p. 231–239, 2017.
- Bueno, M. S. and Vitti, D. M. S. S. Níveis de fósforo para caprinos: perda endógena fecal e exigência líquida para manutenção. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.34, n.4, p.675-681, 1999.
- Carvalho, F. F. R.; Resende, K. T.; Vitti, D. M. S. S.; Ferreira, A. C. D.; Abdala, A. L. Perda endógena e exigência de fósforo para manutenção de cabritos Saanen. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n. 2, p. 411-417, 2003.
- Cunningham, J.G. *Tratado de Fisiologia Veterinária*. 2. Ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A, 1999, 528p.
- Dorigan, C. J.; Vargas, J. A. C.; Härter, C. J.; Resende, K. T.; Vitti, D. M. S. S.; Abdalla, A. L.; Teixeira, I. A. M. A. Dynamics of body calcium and net calcium requirements for maintenance of Saanen goats. *The Journal of Agricultural Science*, v. 156(3), p. 1–6, 2018.
- Fernandes, M. H. M. R.; Resende, K. T.; Tedeschi, L. O.; Teixeira, I. A. M. A.; Fernandes, J. S. Macromineral requirements for the maintenance and growth of Boer crossbred kids. *Journal of Animal Science*, v. 90, p. 4458–4466, 2012.
- Ferreira, A.C.D. 2003. *Composição corporal e exigências nutricionais em proteína, energia e macrominerais de caprinos Saanen em crescimento*. PhD thesis. Sao Paulo State University, Sao Paulo, Brazil.
- Figueiredo, F. O. M. 2011. Exigências nutricionais de cabritas Saanen em crescimento dos 30 aos 45 kg. M.S. thesis. Sao Paulo State University., Sao Paulo, Brazil.
- Gomes, R. A.; Oliveira-Pascoa, D.; Teixeira, I. A. M. A.; Medeiros, A. N.; Resende, K. T.; Yañez, E. A.; Ferreira, A. C. D. Macromineral requirements for growing Saanen goat kids. *Small Ruminant Research*, v. 99, p. 160–165, 2011.
- González-Montaña, J.R.; Escalera-Valente, F.; Alonso, A.J.; Lomillos, J.M.; Robles, R.; Alonso, M.E. Relationship between Vitamin B12 and Cobalt Metabolism in Domestic Ruminant: An Update. *Animals (Basel)*. V. 10(10), 1855. p. 1-36, 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10101855>
- Haenlein, G. F. Advances in the nutrition of macro and micro elements in goats. In: *Proceedings V International Conference on Goats*, New Delhi, India. 1992.
- Härter, C. J.; Lima, L. D.; Castagnino, D. S.; Silva, H. O.; Figueiredo, F. O. M.; ST-Pierre, N. R.; Resende, K. T.; Teixeira, I. A. M. A. Net mineral requirements of dairy goats during pregnancy. *Animal*, v.11 (9), 1513–1521, 2017.
- Härter, C. J.; Ellis, J. L.; France, J.; Resende, K. T.; Teixeira, I. A. M. A. Net energy and protein requirements for pregnancy differ between goats and sheep. *Journal of Animal Science*, v. 94, p. 2460–2470, 2016.
- Hosnedlová, B.; Trávníček, J.; Šoch, M. Current view of the significance of zinc for ruminants: a review. *Agricultura Tropica et Subtropica*, v. 40(2), p. 57-64, 2007.
- INRA. Institut National de la Recherche Agronomique. *Ruminant nutrition: recommended allowances & feed tables*. R. Jarrige, Paris, France. 2007.
- Johnson, L. R.; Ghishan, F. K.; Kauniz, J. D.; Merchant, J. L.; Said, H. M.; Wood, J. D. *Physiology of the Gastrointestinal Tract*. 5th ed. Elsevier, New York. 2012.
- Kessler. J. Mineral nutrition of goats. *Goat Nutrition* 46, 104 – 109, 1991.
- Kincaid, R. L. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Journal of Animal Science*, v. 77(E. Suppl.), p. 1–10. 2000.
- Khan, Z. I.; Ashraf, M.; Hussain, A.; McDowell, L. R.; Ashraf, M. Y. Concentrations of minerals in milk of sheep and goats grazing similar pastures in a semiarid region of Pakistan. *Small Ruminant Research*, v. 65, p. 274–278. 2006.

- Larvor, P. The pools of cellular nutrients. In: RIIS, P.M. *Dynamic biochemistry of animal production*. Amsterdam: Elsevier, p.281-318, 1983.
- Mendonça, A. N.; Härter, C. J.; Souza, S. F.; Oliveira, D.; Boaventura Neto, O.; Biagioli, B.; Resende, K. T.; Teixeira, I. A. M. A. Net mineral requirements for growth of Saanen goat kids in early life are similar among genders. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 101, p. 113–120, 2017.
- Mendonça, A.N. 2013. Exigências líquidas de macrominerais para crescimento em cabritos Saanen de diferentes sexos. MSc thesis. *Sao Paulo State University*, Sao Paulo, Brazil.
- Meschy, F. Recent progress in the assessment of mineral requirements of goats. *Livestock Production Science*, v. 64, p. 9–14, 2000.
- NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001, 381 p.
- NRC. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. 1st rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC. 2007.
- Owens, F. N.; Gill, D. R.; Sechrist, D. S.; Coleman, S. W. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, v. 73, p. 3152–3172, 1995.
- Park, Y. W.; Juárez, M.; Ramos, M.; Haenlein, G. F. W. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, v. 68, p. 88–113, 2007.
- Pfeffer, E.; Keunecke, R.. Untersuchungen über die Gehalte an Protein, Fett und Mineralstoffen im Körper wachsender Ziegen. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 54, p. 166 – 171, 1986.
- Ribeiro, L.P.S.; Medeiros, A.N.; Carvalho, F.F.R.; Pereira, E.S.; Souza, A.P.; Santos Neto, J.M.; Bezerra, L.R.; Santos, S.A.; Oliveira, R.L. Performance and mineral requirements of indigenous Canindé goats. *Small Ruminant Research*, v. 169, p.176-180, 2018.
- Salah, N.; Sauvant, D.; Archimede, H. Nutritional requirements of sheep, goats and cattle in warm climates: a meta-analysis. *Animal*, v. 8, p. 1439–1447, 2014.
- Santos, N. J. M.; Resende, K. T.; Teixeira, I. A. M. A.; Vargas, J. A. C.; Lima, A. R. C.; Leite, R. F.; Figueiredo, F. O. M.; Tedeschi, L.O.; Fernandes; M. H. M. R. 2016. Net macromineral requirements in male and female Saanen goats. *Journal of Animal Science*, v. 94, p. 1–11, 2016.
- Schröder, B.; Rittmann, I.; Pfeffer, E.; Breves, G. In vitro studies on calcium absorption from the gastrointestinal tract in small ruminants. *Journal of Comparative Physiology B*, v. 167, p. 43–51, 1997.
- Scrutton, M.C.; Griminger, P.; Wallace, J.C. Pyruvate carboxylase: bound metal content of the vertebrate liver enzyme as a function of diet and species. *Journal of Biological Chemistry*, v. 247, p. 3305–3313, 1972. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)45246-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)45246-0)
- Sheridan, R.; Hoffman, L. C.; Ferreira, A. V. Meat quality of Boer goat kids and Mutton Merino lambs 1. Commercial yields and chemical composition. *Animal Science*, v. 76, p. 63–71, 2003.
- Slačanac, V.; Hardi, J.; Lučan, M.; Koceva Komlenić, D.; Krstanović, V.; Jukić, M. Concentration of nutritional important minerals in Croatian goat and cow milk and some dairy products made of these. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, v. 3, p. 21–25, 2011.
- Sowande, O. S.; Odufowora, E. B.; Adelakun, A. O.; Egbeyle, L. T. Blood Minerals in Wad Sheep and Goats Grazing Natural Pastures During Wet and Dry Seasons. *Archivos de Zootecnia*, v. 57, p. 275 – 278, 2008.
- Soares, D. C. Exigências de macrominerais em caprinos Saanen de diferentes sexos na fase final de crescimento. M.S. thesis. *Sao Paulo State University*, Sao Paulo, Brazil, 2013.
- uttle. N. F. *The mineral nutrition of livestock*. 4th ed. CABI Publishing Cambridge, USA. 2010.
- Teixeira, I. A. M. A.; Härter, C. J.; Pereira Filho. J. M.; Sobrinho, A. G.; Resende, K. T. Mineral requirements for growth and maintenance of F1 Boer × Saanen male kids. *Journal of Animal Science*, v. 93(5), p. 2349-2456, 2015.
- Ternouth, J. H. Phosphorus and beef production in Northern Australia. 3. Phosphorus in cattle – a review. *Tropical Grasslands*, v. 24, p. 159–169, 1990.
- Van Saun, R. J. Understanding copper nutrition in small ruminants. American association of bovine practitioners. *Proceedings of the annual conference*, 2012. <https://doi.org/10.21423/aabppro20123890>
- Vargas, J. A. C.; Almeida, A. K.; Souza, A. P.; Fernandes, M. H. M. R.; Härter, C. J.; Resende, K. T.; Teixeira, I. A. M. A. Macromineral requirements for maintenance in male and female Saanen goats: A meta-analytical approach. *Livestock Science*, 235, 104003, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104003>

Vargas, J. A. C.; Almeida, A. K.; Souza, A. P.; Fernandes, M. H. M. R.; Resende, K. T.; Teixeira, I. A. M. A. Sex effects on macromineral requirements for growth in Saanen goats: a meta-analysis. *Journal of Animal Science*, v. 95, p. 4646–4657, 2017.

Wilkens, M. R.; Mrochen, N.; Breves, G.; Schröder, B. Gastrointestinal calcium absorption in sheep is mostly insensitive to an alimentary induced challenge of calcium homeostasis. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry & Molecular Biology*, v. 158, p. 199–207, 2011.

Wilkens, M. R.; Richter, J.; Fraser, D. R.; Liesegang, A.; Breves, G.; Schroder, B. In contrast to sheep, goats adapt to dietary calcium restriction by increasing intestinal absorption of calcium. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 163, p. 396–406, 2012.

Zar, J. H. Calculation and miscalculation of the allometric equation as a model in biological data. *Bioscience*, v. 18, p. 1118–1120, 1968.

Zervas, G.; Nikolaou, E.; Mantzios, A. Comparative study of chronic copper poisoning in lambs and young goats. *Animal Production*, v. 50(3), p. 497-506, 1990.

Exigências de energia para ovinos deslanados em crescimento

Elzania Sales Pereira, Caio Julio Lima Herbster, Marcos Inácio Marcondes, Luciana Castro Geraseev, Antonio de Sousa Brito Neto, Marcilio de Sousa Mendes, João Paulo Pacheco Rodrigues, José Augusto Gomes Azevêdo, Leilson Rocha Bezerra, Ronaldo Lopes Oliveira, Alessandra Pinto de Oliveira e Aderbal Marcos de Azevedo Silva

INTRODUÇÃO

As bases do atual conhecimento sobre o metabolismo dos mamíferos tiveram seu início a partir das descobertas realizadas pelo francês Antoine Lavoisier (Prentice, 1995), considerado o pai da química moderna. Lavoisier reconheceu que os processos vitais envolviam o consumo de um novo elemento ao que chamou ‘oxigênio’. Em conjunto com o matemático Pierre-Simon Laplace, devotou considerável atenção aos problemas físicos, em especial àqueles conectados ao calor, desenvolvendo alguns dos primeiros trabalhos em termoquímica. Ambos combinaram calorimetria direta (perda de calor) e indireta (troca de gases) para mostrar que a quantidade de calor produzida era diretamente proporcional à quantidade de oxigênio consumida. Lavoisier estudou o metabolismo humano e, em 1790, determinou que o consumo do oxigênio aumentava com a ingestão de alimentos, trabalho muscular e exposição ao

frio. Este, então, fez um elo entre seu trabalho em química e o metabolismo com a frase “*La vie est une fonction chimique*”. Mais tarde, em estudos executados nos EUA, na Universidade da Califórnia – Davis, Max Kleiber e seu grupo conceituaram o metabolismo de energia nos mamíferos.

EXPRESSANDO O VALOR ENERGÉTICO DOS ALIMENTOS

A energia não é considerada nutriente, entretanto, pode ser utilizada pelos animais a partir da digestão de carboidratos, proteínas e lipídeos. A energia pode ser expressa em unidades de calorias ou joules. Uma caloria (cal) representa a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 14,5 para 15,5°C. A caloria pode ser ainda expressa como kcal (1000 cal) ou Mcal (1000 kcal), enquanto a conversão entre caloria e joule (J) pode ser feita considerando que 1 cal equivale a 4,184 J.

As estimativas de energia no BR-CAPRINOS & OVINOS são baseadas em unidades de calorias, sendo os valores estimados factíveis de transformação para joules. Além disso, ressalta-se que a lógica das etapas de utilização da energia foi baseada nos conceitos expostos por Lofgreen & Garrett (1968).

O processo de utilização da energia por animais possui etapas relacionadas à sua liberação nas fases de digestão, metabolização e eficiência de utilização. Assim, a variação observada entre a quantidade consumida de matéria alimentar da dieta e os seus resíduos indigeríveis, recuperados nas fezes, representa a digestibilidade do alimento (Maynard *et al.*, 1984).

As palavras variação ou balanço são mais apropriadas do que desaparecimento ou perda, de acordo com o princípio de conservação da matéria, condição particular de aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica, já que matéria e energia são inseparáveis: ambas são expressões ou medidas diferentes de algo comum.

Já as funções produtivas dos animais domésticos envolvem transformações da energia ingerida (obedecendo às leis da termodinâmica), que é o alimento (energia/materia) nos produtos desejados, como leite, carne, entre outros (Brody, 1945; Kleiber, 1975).

O conteúdo de energia de um alimento ou dieta é medido pelo calor de combustão, ou energia bruta (EB), que equivale ao total de energia liberada quando uma sustância orgânica é completamente oxidada a dióxido de carbono e água.

Embora a EB seja diretamente relacionada à composição química, não representa o valor energético útil do alimento ou da dieta

a qual os ruminantes estão submetidos. Após a ingestão, parte da energia desse alimento é perdida nas fezes como energia fecal. Assim, obtém-se a energia digestível (ED), a qual apresenta alguma informação sobre o alimento, pois representa a EB processada no trato digestório do animal, sendo definida como:

$$ED = EB - EF$$

Eq. 8.1

onde ED é a energia digestível (Mcal/dia); EB é a energia bruta consumida (Mcal/dia); e EF é a energia eliminada nas fezes (Mcal/dia).

No entanto, as perdas energéticas associadas aos processos digestórios são ignoradas, havendo superestimação para alimentos volumosos e subestimação para alimentos concentrados.

Historicamente utilizada, a medida dos nutrientes digestíveis totais (NDT) não apresenta vantagens ou desvantagens em relação à medida ED, o que permite relacionar a quantidade de matéria digerida com o seu valor energético. Entretanto, estudos foram realizados para determinar o conteúdo energético do NDT, o que resultou na estimativa média de 4,4 kcal de energia digerível contidos em 1g de NDT. Assim, o valor médio de energia metabolizável contido nesta unidade é da ordem de 3,6 kcal/g (Blaxter *et al.*, 1966).

Para conversão, pode-se utilizar o valor médio que 1 kg de NDT é equivalente a 4,409 Mcal de ED. O cálculo da ED ou NDT traz um considerável aumento de significância nutricional ao mensurar-se o valor energético de um alimento, no entanto, ainda não representando a fração metabolicamente utilizável pelo animal. Nesse sentido, o calor de combustão da dieta, subtraído daquele medido nas fezes, na urina e nos gases combustíveis (principalmente metano), representa

a energia metabolizável, ou seja, a fração da energia bruta disponível ao animal para o atendimento das necessidades de manutenção e produção, sendo essencialmente aditiva, pois esta condição está relacionada à lei de Hess ou princípio das somas constantes de calor. É medida em nível de manutenção para padronização do protocolo experimental. No entanto, correções podem ser feitas para o plano nutricional, de modo que a metabolização da energia por animais ruminantes tem como perdas energéticas na forma de gases (EG), como metano e dióxido de carbono, e na urina (EU), fatores a serem considerados no aproveitamento da energia. Assim, a energia metabolizável é definida como:

$$EM = ED - (EG + EU) \quad \text{Eq. 8.2}$$

onde EM é a energia metabolizável (Mcal/dia); ED é a energia digestível (Mcal/dia); EG é a energia eliminada na forma de gases (Mcal/dia); e EU é a energia eliminada na urina (Mcal/dia).

A proporção da energia perdida na urina e nos gases é considerada pouco variável em rações bem balanceadas. Sendo assim, a conversão da ED para EM é usualmente calculada por décadas através do fator 0,82, ou seja, $EM = ED \times 0,82$. Esse fator é aceitável para ovinos alimentados com dietas comumente balanceadas (Johnson, 1972).

O fator 0,82 continuou a ser usado nas publicações dos sistemas mundiais, embora o NRC (1985) tenha alertado que a relação entre ED e EM pode variar consideravelmente entre os ingredientes da ração ou dietas. Ressalta-se que esse valor pode ser maior para dietas de alto grão ou suplementadas com gordura, cabendo o desenvolvimento de equações de predição de metabolizabilidade ou perdas por EG e EU em vários tipos de dietas. No BR-CAPRINOS & OVINOS, o

fator de conversão da ED em EM de 0,85 é sugerido.

O BR-CAPRINOS & OVINOS se baseia na EM para estimativa das exigências nutricionais, a qual foi introduzida por Kenneth Lyon Blaxter, na década de 60, e os alimentos passaram a ser tratados diferentemente quanto ao seu valor nutricional, pois esse valor energético individual dependia da dieta na qual o alimento era introduzido, do consumo de matéria seca e da função produtiva desempenhada pelo animal. Os alimentos passaram a ser listados em relação ao seu conteúdo em EM (inicialmente em Mcal/kgMS e, posteriormente, em MJ/kgMS), medido em nível de manutenção. O efeito aditivo foi considerado pressuposição básica para o balanceamento de dietas (Blaxter *et al.*, 1966; Van Soest, 1994).

As estimativas em nível de EM são aplicáveis e interpretáveis, avaliando qualitativamente o valor energético das dietas. No entanto, ao alcançar tal etapa, deve-se ainda considerar a finalidade da utilização da energia, havendo a necessidade de estimativa das eficiências de utilização da EM para manutenção (*km*) ou ganho de peso (*kg*). Essas eficiências estão relacionadas às perdas por incremento calórico (IC), o qual pode ser definido como uma ineficiência do uso da EM, ou aumento do calor produzido como resultado da digestão e dos processos metabólicos (NRC, 1985).

O cálculo das exigências diárias em energia, nos diferentes sistemas (AFRC, 1993; CSIRO, 2007; NRC, 2007), tem por base a determinação do conteúdo em energia líquida (EL) do produto derivado de determinada função produtiva (crescimento, lactação, reprodução etc.). São adicionadas a estas as exigências de EL para os processos de manutenção e, em seguida, aplicadas eficiências

específicas de cada sistema, para a estimativa das exigências em EM cujas diferenças se devem, principalmente, às condições dietéticas predominantes (AFRC, 1993; Fox *et al.*, 1995; Noller; Moe, 1995).

A relação funcional entre a EL e o teor de NDT, também determinado em nível de manutenção, é preferencialmente empregada nos Estados Unidos, em virtude do grande número de dados que contêm informações tabeladas sobre os teores de NDT dos alimentos. Considerando que ovinos em crescimento apresentam basicamente exigências para a manutenção e crescimento, os quais têm processos metabólicos e eficiências de utilização diferentes, a EM pode ser fracionada da seguinte forma:

$$EMT = EMm + EMg \quad \text{Eq. 8.3}$$

$$EMm = ELM/km \quad \text{Eq. 8.4}$$

$$EMg = ELg/kg \quad \text{Eq. 8.5}$$

onde EMT é a energia metabolizável total (Mcal/dia); EMm é a energia metabolizável para manutenção (Mcal/dia); EMg é a energia metabolizável para o ganho de peso (Mcal/dia); ELM é a energia líquida para manutenção (Mcal/dia); ELg é a energia líquida para o ganho de peso (Mcal/dia); km é a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção; e kg é a eficiência de utilização da energia metabolizável para o ganho de peso.

O fracionamento descrito acima norteia a lógica das estimativas de exigências de energia do BR-CAPRINOS & OVINOS. De forma resumida, o total de EM ingerida pelos animais pode ser fracionada em energia retida (ER) e produção de calor (PCl), de modo que

os fracionamentos desses componentes resultam nas seguintes equações:

$$CEM = ER + PCl \quad \text{Eq. 8.6}$$

$$ER = ELg \quad \text{Eq. 8.7}$$

$$PCl = ELM + ICm + ICg \quad \text{Eq. 8.8}$$

$$ICm = EMm - (EMm \times km) \quad \text{Eq. 8.9}$$

$$ICg = EMg - (EMg \times kg) \quad \text{Eq. 8.10}$$

onde CEM é o consumo de energia metabolizável (Mcal/dia); ER é a energia retida (Mcal/dia); PCl é a produção de calor (Mcal/dia); EMT é a exigência de energia metabolizável total (Mcal/dia); ELM é a exigência de energia líquida para manutenção (Mcal/dia); ELg é a exigência de energia líquida para o ganho (Mcal/dia); ICm é o incremento calórico associado à manutenção que corresponde à ineficiência no uso da EMm (Mcal/dia); ICg é o incremento calórico associado à produção que corresponde à ineficiência no uso da EMg (Mcal/dia); EMm é a exigência de energia metabolizável para manutenção (Mcal/dia); km é a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção; EMg é a energia metabolizável para o ganho (Mcal/dia); e kg é a eficiência de utilização da energia metabolizável para o ganho.

A partição clássica da energia dietética está apresentada na Figura 8.1.

Assim, a partir dos valores de ELM, EMm, km, ELg, EMg e kg a serem estimados para ovinos deslanados, será possível modelar a metabolização da energia pelos animais, predizendo as necessidades de energia a serem fornecidas na dieta para o provimento de adequada manutenção e crescimento de ovinos.

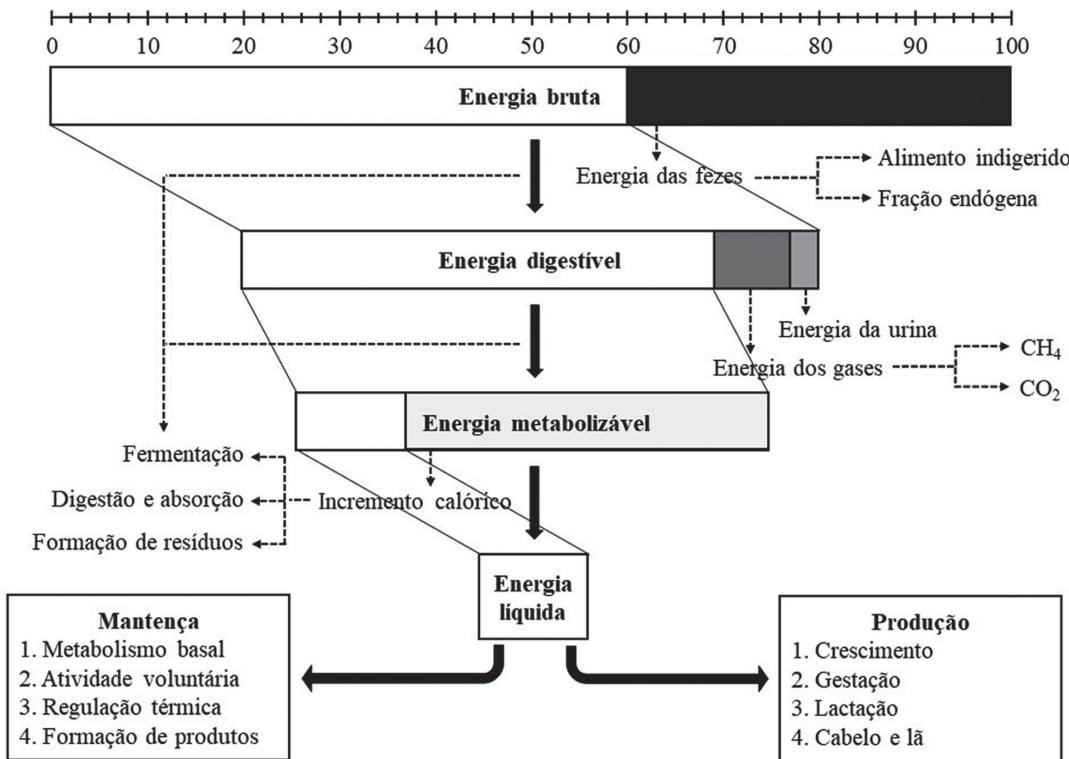


Figura 8.1 – Partição da energia consumida por animais.

TÉCNICAS PARA ESTIMATIVA DE EXIGÊNCIA DE ENERGIA

As principais técnicas utilizadas para estimar as exigências nutricionais são o abate comparativo e a calorimetria. Experimentos de alimentação de longo prazo têm sido considerados como uma possibilidade para estimar as exigências.

Abate comparativo

Uma avaliação precisa do valor energético dos alimentos requer a medição da quantidade real de energia, que é retida pelo animal, como produto, ou perdida pelo organismo. Na técnica do abate comparativo, no início das provas experimentais, um grupo de animais é abatido (denominados animais referência) e considera-se que a composição corporal desses animais seja representativa daqueles que serão submetidos a um período de alimentação, os quais posteriormente serão abatidos. Para isso, inicialmente,

é estimado o peso de corpo vazio (PCVZ) dos animais experimentais, plotando PCVZ dos utilizados como referência em função do peso corporal (PC). A partir dessas relações, o PCVZ e a composição corporal inicial dos animais experimentais são estimados. Portanto, a ER é obtida a partir da diferença entre a energia corporal final e inicial. Nessa técnica, o CEM dos animais é mensurado de forma direta e a PCI obtido pela diferença entre CEM e a ER.

Para obtenção das estimativas, utilizando essa técnica, é necessário que os animais sejam alimentados com diferentes níveis de EM. Assim, a ER é medida como a alteração no conteúdo de energia corporal de animais alimentados em dois ou mais níveis de ingestão, acima do nível de manutenção, durante um período de alimentação, os quais podem ser alcançados com restrição quantitativa ou diferentes relações de volumoso:concentrado. Por exemplo, a variação na proporção dos ingredientes da dieta, tais como a relação

volumoso:concentrado, resultará em variação na ER no corpo e na produção de calor.

Uma vantagem da técnica do abate comparativo é permitir que as pesquisas sejam realizadas em condições semelhantes às de propriedades rurais. Em 1968, o California Net Energy System (CNES), proposto por Lofgreen e Garrett, popularizou essa técnica e, a partir de então, foi utilizada nos estudos que constituíram a base das recomendações do National Research Council para bovinos e ovinos. O BR-CAPRINOS & OVINOS adota o California Net Energy System (CNES).

Calorimetria

Na calorimetria direta, o calor desprendido pelo animal é medido pelo aumento da temperatura de um volume conhecido de água ou por meio de corrente elétrica. Já na calorimetria indireta, que pode ser de circuito aberto ou fechado, o calor é obtido através dos quocientes respiratórios (quantidade de gás carbônico produzido; quantidade de oxigênio consumida), os quais, para carboidratos, proteínas e gordura, são 1.0; 0.8 e 0.7, respectivamente (Rodriguez *et al.*, 2007). Neste método, a determinação da produção de calor é realizada com 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 (PCl).

Quando a calorimetria é utilizada, o CEM e a PCl são mensurados diretamente e a ER é obtida por diferença. A limitação do uso de estimativas de calorimetria refere-se à sua falta de aplicabilidade em condições práticas de alimentação.

Alimentação de Longo Prazo

A alimentação de longo prazo consiste basicamente em determinar a quantidade de alimento necessária para manter PC do animal (Taylor *et al.*, 1986). A maior limitação é que o resultado será uma aproximação, ao invés de uma medida exata. Além disso, está sujeito a erros decorrentes devido à dificuldade de pesar os animais com precisão, possíveis mudanças no conteúdo do trato gastrointestinal, dentre outros.

DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS

O banco de dados utilizado para estimativa das exigências de energia para manutenção e ganho de peso foi constituído por 11 estudos que utilizaram a técnica do abate comparativo (Tabela 8.1).

O banco de dados foi constituído em grande parte de ovinos da raça Santa Inês (n = 171), seguidos de animais da raça Morada Nova (n = 78), Somalis Brasileira (n = 47), sem padrão racial definido (SRD, n = 36), mestiços Dorper x Santa Inês (n = 35) e Dorper (n = 15). Dessa forma, o banco apresentou um total de 382 observações, das quais 74 foram animais utilizados em grupos referência, sendo 54 animais não castrados e 20 animais castrados; 308 animais foram utilizados nos ensaios de desempenho, incluindo 245 animais não castrados e 63 animais castrados. O efeito de sexo foi testado. A estatística descritiva das variáveis utilizadas para estimativa das exigências está apresentada na Tabela 8.2.

Para estimativa do fator de conversão de ED em EM foram utilizados seis estudos, sendo quatro baseados na técnica do abate comparativo e dois estudos de calorimetria indireta (Tabela 8.3).

Tabela 8.1 – Descrição do banco de dados utilizado para a estimativa das exigências de energia para ovinos em crescimento.

Estudo	n	Genótipo	Classe sexual	Sistema de criação	EM ¹
Silva <i>et al.</i> (2010)	32	Santa Inês	Castrado	Pastejo	1,6-2,3
Pereira (2011)	30	Santa Inês	Não castrado	Confinamento	2,0-2,1
Costa <i>et al.</i> (2013)	47	Morada Nova	Não castrado	Confinamento	1,0-3,2
Regadas Filho <i>et al.</i> (2013)	23	Santa Inês	Não castrado	Confinamento	1,5-4,8
Pereira <i>et al.</i> (2014)	47	Somalis Brasileira	Não castrado	Confinamento	0,6-5,7
Oliveira <i>et al.</i> (2014)	34	Santa Inês	Não castrado	Confinamento	1,8-3,5
Rodrigues <i>et al.</i> (2016)	19/17	SRD ²	Não castrado /castrado	Confinamento	1,8-2,6
Pereira <i>et al.</i> (2017)	19/18	Santa Inês	Não castrado /castrado	Confinamento	1,6-2,7
Assis <i>et al.</i> (2018)	15/15	Dorper e Santa Inês	Não castrado	Pastejo	–
Pereira <i>et al.</i> (2018)	15/16	Morada Nova	Não castrado /castrado	Confinamento	2,1-2,7
Mendes <i>et al.</i> (2021)	35	Dorper × Santa Inês	Não castrado	Confinamento	1,2-2,2

n = Número de unidades experimentais (animais); ¹EM = Energia metabolizável (Mcal/kg MS); ²SRD = Sem padrão racial definido.

Tabela 8.2 – Estatística descritiva do banco de dados utilizado para a estimativa das exigências de energia para ovinos em crescimento.

Variáveis	n	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PC _i (kg)	245	18,02	39,60	9,00	7,69
PC _m (kg)	245	22,80	43,47	10,09	7,52
PC _f (kg)	299	25,81	54,40	9,90	9,13
PCVZ _i (kg)	245	13,76	32,36	5,46	6,39
PCVZ _m (kg)	245	18,36	34,51	7,45	6,22
PCVZ _f (kg)	299	20,22	41,66	6,34	7,67
PCVZ (kg ^{0,75})	245	8,78	14,24	4,51	2,22

n = Número de unidades experimentais (animais); DP = Desvio padrão; PC_i = Peso corporal inicial; PC_m = Peso corporal médio; PC_f = Peso corporal final; PCVZ_i = Peso de corpo vazio inicial; PCVZ_m = Peso de corpo vazio médio; PCVZ_f = 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; CEM = Consumo de energia metabolizável; ER = Energia retida; PCL = Produção de calor.

Tabela 8.2 – Estatística descritiva do banco de dados utilizado para a estimativa das exigências de energia para ovinos em crescimento. (*Continuação*).

Variáveis	n	Média	Máximo	Mínimo	DP
GMD (kg/dia)	245	0,11	0,37	-0,10	0,07
GPCVZ (kg/dia)	245	0,09	0,31	-0,15	0,07
CEM (Mcal kg ^{0,75} PCVZ/dia)	221	0,19	0,75	0,04	0,09
ER (Mcal kg ^{0,75} PCVZ/dia)	245	0,03	0,09	-0,05	0,02
PCI (Mcal kg ^{0,75} PCVZ/dia)	221	0,16	0,69	0,02	0,08
Machos castrados					
PC _i (kg)	63	15,83	22,00	12,50	2,07
PC _m (kg)	63	19,37	25,95	14,88	2,78
PC _f (kg)	83	21,33	31,70	7,98	5,51
PCVZ _i (kg)	63	12,46	21,12	8,82	3,10
PCVZ _m (kg)	63	15,19	24,36	10,47	3,00
PCVZ _f (kg)	83	16,71	29,33	7,67	4,65
PCVZ (kg ^{0,75})	63	7,67	10,97	5,82	1,12
GMD (kg/dia)	63	0,09	0,23	-0,09	0,07
GPCVZ (kg/dia)	63	0,07	0,18	-0,10	0,06
CEM (Mcal kg ^{0,75} PCVZ/dia)	63	0,17	0,27	0,06	0,05
ER (Mcal kg ^{0,75} PCVZ/dia)	63	0,03	0,07	-0,04	0,02
PCI (Mcal kg ^{0,75} PCVZ/dia)	63	0,14	0,22	0,07	0,03

n = Número de unidades experimentais (animais); DP = Desvio padrão; PCi = Peso corporal inicial; PCm = Peso corporal médio; PCf = Peso corporal final; PCVZi = Peso de corpo vazio inicial; PCVZm = Peso de corpo vazio médio; 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; CEM = Consumo de energia metabolizável; ER = Energia retida; PCI = Produção de calor.

Tabela 8.3 – Banco de dados utilizado para avaliação da relação entre energia metabolizável e energia digestível em ovinos.

Estudo	Nível de alimentação	Genótipo	n	PC (kg)	CMS (kg/dia)	% MS				Consumo de energia (Mcal/dia)			Relação EM:ED
						PB	EE	FDN	EB	ED	EM		
Santos (2020)	Manutenção	DP × SI	4	20,0	0,394	11,0	2,0	53,3	4,4	2,5	2,0	0,82	
		DP × SI	4	20,0	0,364	12,5	4,5	57,0	4,0	3,2	2,3	0,73	
		DP × SI	4	20,0	0,365	12,5	4,0	50,0	4,4	2,4	2,0	0,85	
		DP × SI	4	20,0	0,324	11,2	1,2	49,9	3,5	2,4	1,9	0,80	
	Intermediário	DP × SI	4	20,0	0,320	10,2	1,1	47,4	4,4	2,4	2,0	0,84	
		SI	40	48,5	1,218	11,1	2,7	43,9	5,8	3,8	3,3	0,85	
		SI	33	53,4	1,073	9,8	2,5	56,4	5,0	3,2	2,7	0,85	
		Alto	DP × SI	10	39,1	1,369	14,2	3,0	49,8	5,9	2,8	2,3	0,82
Mendes <i>et al.</i> (2021)	Intermediário	DP × SI	10	36,2	0,972	14,2	3,0	49,8	4,2	2,2	1,9	0,84	
		DP × SI	10	30,6	0,513	14,2	3,0	49,8	2,2	1,2	1,1	0,84	
	Mantenção	Alto	DP × SI	8	28,9	1,120	15,8	3,0	45,6	5,1	3,3	2,8	0,85
		Intermediário	DP × SI	8	26,2	0,754	15,8	3,0	45,6	3,4	2,4	2,0	0,85
Herbster (2024)	Mantenção	DP × SI	8	21,0	0,376	15,8	3,0	45,6	1,7	1,2	1,1	0,87	
		Alto	SI	12	22,6	0,818	13,9	3,1	43,0	3,6	2,3	2,0	0,85
	Intermediário	SI	12	22,4	0,815	13,4	2,5	56,5	3,6	2,2	1,8	0,83	
		Mantenção	SI	12	16,0	0,297	13,4	2,5	56,5	1,3	0,9	0,7	0,84
Brito Neto (2024)	Alto	SI/MN	6	32,2	1,151	12,6	2,4	51,4	5,5	4,0	3,3	0,83	
		Intermediário	SI/MN	6	32,2	1,057	11,1	2,6	51,5	4,9	3,4	2,9	0,84
	Baixo	SI/MN	6	32,0	1,071	9,2	2,9	51,5	5,0	3,4	2,8	0,83	
		Mantenção	SI/MN	6	19,5	0,347	12,6	2,4	51,4	1,6	1,1	0,9	0,77

n = Número de unidades experimentais (animais); DP × SI = Dorper × Santa Inês; SI = Santa Inês; MN = Morada Nova; PC = Peso corporal; CMS = Consumo de matéria seca; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra em detergente neutro; EE = Extrato etéreo; EB = Energia bruta; ED = Energia digestível; EM = Energia metabolizável.¹Estudos não publicados.

As exigências de energia líquida para manutenção foram também obtidas usando a respirometria. Os dados utilizados foram provenientes do estudo de Santos (2020), no qual foram utilizados 20 ovinos da raça Santa Inês, com PC médio de 20 kg. O cálculo da produção de calor foi realizado de acordo com a equação de Brouwer (1965):

$$\text{PCI (kj/dia)} = (16,18 \times \text{VO}_2) + (5,02 \times \text{VCO}_2) - (5,99 \times \text{NU}) - (2,17 \times \text{CH}_4) \quad \text{Eq. 8.11}$$

onde: VO_2 é o volume de O_2 consumido; VCO_2 é o volume de CO_2 produzido; VCH_4 é o volume de CH_4 produzido; e NU é o nitrogênio, em gramas, excretado na urina.

Para a transformação dos dados em calorias, foi utilizado como referência o valor de 1 Joule correspondente a 0,239 calorias. A perda de energia na produção de CH_4 foi quantificada, assumindo-se o valor de 9,45 kcal/L de CH_4 produzido. Na calorimetria indireta, a produção de calor dos animais em jejum alimentar corresponde as exigências de ELM, uma vez que, nesta situação, o incremento calórico é igual a zero.

RELAÇÃO EM:ED

Predições confiáveis de ED e EM são necessárias para prescrever com precisão as exigências nutricionais dos animais. A estimativa precisa da EM dietética é crítica nos sistemas de avaliação de rações, pois é um pré-requisito para estimar a EL. Por décadas EM foi calculada a partir da multiplicação de $\text{ED} \times 0,82$. O fator 0,82 tem sido usado principalmente por causa das equações de energia líquida propostas por Garrett (1980).

Os estudos usados para derivar o fator 0,82 foram conduzidos com apenas três ovinos lanados (Downcross, Scots Blackface e South Country Cheviot) e três bovinos alimentados em nível de manutenção com dietas ricas em forragem (Blaxter & Wainman, 1961). O fator de conversão de 0,82 para converter ED em EM então foi publicado pela ARC (1965). Posteriormente, o uso de $\text{ED} \times 0,82$ foi adotado pelo NRC (1976).

O NRC (1985) relatou que a conversão era possível, entretanto, advertiu que, para dietas com alto teor de grãos, foram observados valores maiores, em um estudo realizado com ovinos por Johnson (1972).

O NASEM (2016) e o BR-CORTE (2016) sustentam que o fator de conversão de ED em EM é variável, e essa variação fica entre 0,82 e 0,93 para bovinos em crescimento. Além disso, para a concentração de ED, a composição química da dieta é um fator determinante. Como a diferença entre ED e EM é representada como perdas de energia gasosa e urinária, o fator pode variar de acordo com o consumo, relação volumoso:concentrado, balanço de energia e proteína e concentração de fibra dietética.

Para estimativa da relação EM:ED, no BR-CAPRINOS & OVINOS foi ajustado uma regressão linear entre a EM e ED conforme o modelo a seguir:

$$\text{EM} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{ED} \quad \text{Eq. 8.12}$$

Nesse modelo, o coeficiente de inclinação da equação (β_1) corresponde ao fator de conversão de ED em EM (Mcal/dia), gerando o seguinte modelo:

$$\text{EM (Mcal/dia)} = -0,03727 (\pm 0,01798) + 0,8503 (\pm 0,005864) \times \text{ED (Mcal/dia)} \quad \text{Eq. 8.13}$$

A estimativa do coeficiente de inclinação, ou do fator de conversão para ovinos, é 0,85, variando entre 0,84 e 0,86 com intervalo de confiança de 95%. A relação EM:ED é apresentada na Figura 8.2.

Na Figura 8.3 estão apresentadas a relação entre EM observada e predita a partir da ED, usando o fator 0,82 (ARC, 1965) e de 0,85 do BR-CAPRINOS & OVINOS. A sugestão do fator 0,85 para conversão de ED em EM demonstra que existe uma boa correlação entre os valores de concentração de ED e EM de alimentos ou dietas. O AFRC (1993) reporta que EM:ED varia de 0,81 a 0,86.

Segundo CSIRO (2007), para forrageiras tropicais, o fator 0,81 pode ser utilizado. Ovinos deslanados alimentados com dietas a base de forrageiras tropicais de médio valor nutricional, o fator 0,85 é mais adequado. Além disso, a utilização de energia pelos ruminantes pode diferir dependendo de seu estado fisiológico, especificamente se estão em crescimento ou maduros. Assim, a proporção de EM:ED, geralmente é maior em ruminantes em crescimento do que em ruminantes maduros, porque as perdas de metano e energia urinária são menores em ruminantes em crescimento (Vermorel *et al.*, 1980), o que é coerente com BR-CAPRINOS & OVINOS, onde todas as informações geradas foram oriundas de banco de dados de animais em crescimento.

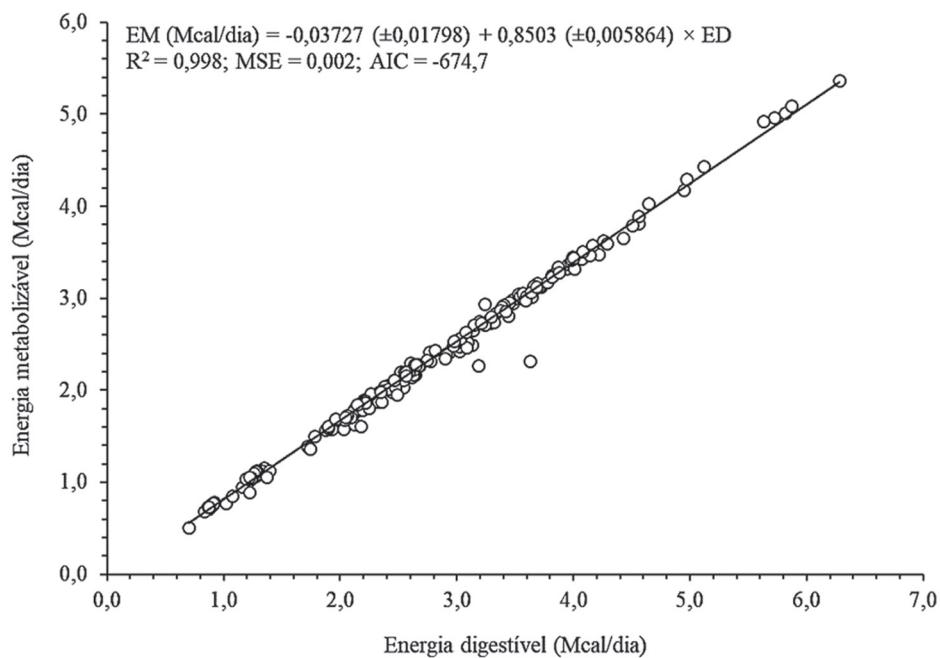


Figura 8.2 – Relação entre energia metabolizável (EM) e energia digestível (ED) em ovinos deslanados.

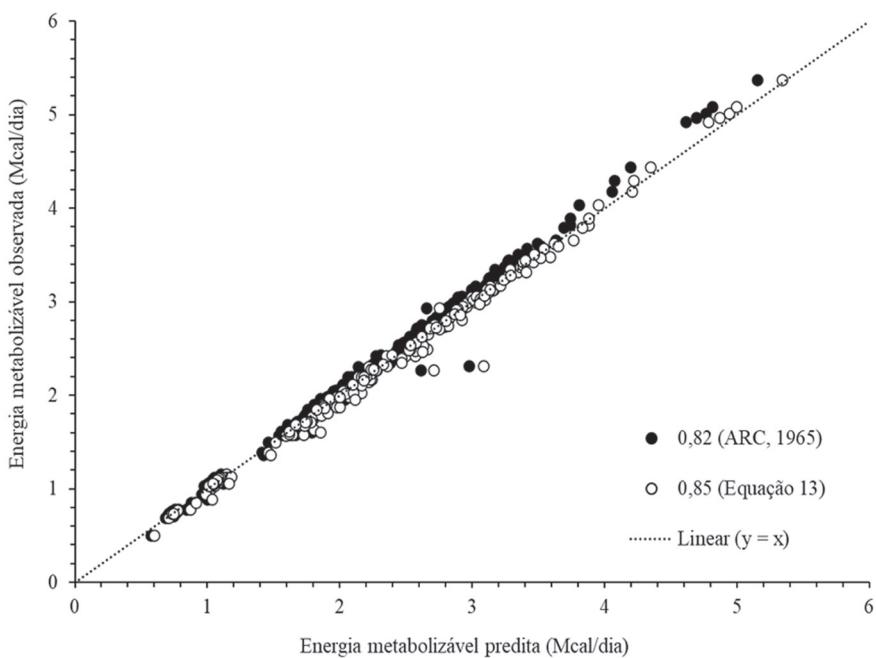


Figura 8.3 – Relação entre energia metabolizável (EM) observada e a EM predita a partir da energia digestível usando o fator 0,82 (ARC, 1965) e usando o fator 0,85 (Equação 8.13).

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA MANTENÇA

A energia requerida pelo animal para que este mantenha o seu peso corporal constante é tradicionalmente definida como exigência de manutenção (Crooker *et al.*, 1991), sendo equivalente à fração de EM “perdida” na forma de calor. No entanto, o peso pode se manter constante mesmo que ocorram mudanças consideráveis na composição corporal, alterando, desse modo, a quantidade de energia depositada na forma de tecidos. Sendo assim, a definição mais precisa para exigência de manutenção é a quantidade de energia dietética requerida pelo animal para que este mantenha a quantidade de energia corporal constante, sem deposição ou mobilização de tecidos (NRC, 1984).

Nos Sistemas (NRC, 2007; CSIRO, 2007), a ELM é acrescida de ajustes associados à idade, sexo, atividades voluntárias, fatores ambientais, termorregulação, nível

de CEM, índice de maturidade e energia dispensada para as vísceras. Assim, em nível de manutenção, as exigências basais de energia são atendidas plenamente. Dessa forma, o balanço de energia, isto é, o ganho e a perda de energia dos tecidos do animal como um todo, é zero.

A ELM é representada pela energia despendida no metabolismo basal e pelo calor produzido em uma situação de consumo zero. Contudo, em condições práticas, torna-se impossível manter os animais em condições de consumo zero. Dessa forma, o calor produzido pelos animais mantidos em diferentes níveis de consumo energético pode ser estimado por extrapolação.

Nos estudos iniciais, a ELM foi comumente estimada usando o antilogaritmo do intercepto da equação de regressão entre o logaritmo da PCL e CEM, que representa a produção de calor de um animal em jejum, conforme preconizado por Lofgreen & Garret (1968). No entanto, o uso de dados logaritmi-

zados tem diminuído, pois a logaritmização implica na linearização dos dados, e a PCl não é um evento linear. Dessa maneira, o emprego de modelos não lineares (exponenciais) vem sendo utilizado para descrever a relação entre a PCl e CEM. Além disso, demonstram menores resíduos de variância e melhores ajustes para essa relação. No BR-CAPRINOS & OVINOS, o valor de ELM é estimado pela relação não-linear entre a PCl (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia) e o CEM (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia), conforme o modelo a seguir:

$$PCl = \beta_0 \times e^{(\beta_1 \times CEM)} \quad \text{Eq. 8.14}$$

Nesse modelo, o intercepto da equação (β_0) é considerado a ELM (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia), o qual corresponde a PCl (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia) para o nível zero de ingestão de EM. Já CEM é o consumo de energia metabolizável (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia), e o (e) da equação corresponde ao número de Euler.

No BR-CAPRINOS & OVINOS é sugerido uma única equação para estimativa da ELM, pois não houve efeito de classe sexual.

$$PCl = 0,065_{(\pm 0,00137)} \times e^{[4,428 (\pm 0,0808) \times CEM]} \quad \text{Eq. 8.15}$$

A estimativa do intercepto, ou do valor de ELM, para ovinos é 0,065 Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia, variando entre 0,064 e 0,066, com intervalo de confiança de 95%. Quando convertido para kg^{0,75} de peso corporal em jejum (PCJ), utilizando o fator de conversão de 1,21 (PCJ/PCVZ) obtido no Capítulo 1, o valor de ELM (54 kcal/kg^{0,75} PCJ/dia) sugerido pelo BR-CAPRINOS & OVINOS é inferior ao valor sem ajuste do NRC (2007) de 62 kcal/kg^{0,75} PCJ/dia. Um valor mais elevado de ELM (71,6 kcal/kg^{0,75} PCJ/dia) foi obtido no estudo isolado com Dorper x Santa Inês por Galvani *et al.* (2014).

A manutenção do corpo tem grande importância sobre a economia total do animal; segundo Ferrell & Jenkins (1985), 65 a 70% da energia total necessária para produção de carne é utilizada para suprir a exigência de manutenção. As funções que compõem as necessidades de manutenção do animal podem ser de dois tipos: serviço e associadas com a manutenção celular. As funções de serviço são aquelas realizadas por tecidos ou órgãos para benefício de todo o organismo, representam aproximadamente 35-50% da produção de calor de metabolismo basal e incluem os trabalhos da circulação e da respiração, fígado e rins (desintoxicação, manutenção da osmolaridade e pH corporal) e as funções nervosas. Os componentes da manutenção celular se denominam ciclos substrato e abrangem transporte de íons (Na e Ca), reciclagem de proteínas e de lipídeos. Diferenças nos ciclos substrato determinam grande parte da variação nas exigências para manutenção. As taxas de reciclagem de proteína são superiores em animais jovens a baixos níveis de alimentação, enquanto a reciclagem de triglicerídeos aumenta em resposta a elevados níveis de alimentação. O transporte de íons é maior em animais jovens em relação aos adultos. Processos como manutenção da temperatura corporal também contribui com os gastos de energia para manutenção.

Na estimativa da ELM usando a calorimetria indireta, a PCl dos ovinos em jejum foi de 0,061 Mcal/kg^{0,75} PCJ/dia. Tendo em vista que a definição conceitual de ELM corresponde a PCl do animal em jejum, isto impede seu uso direto na formulação de rações, pois animais em produção não estão em jejum. Nesse caso, a ELM deve ser convertida em EMm. Para isso, é necessário o conhecimento da eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (km). Garrett (1980) considerou a concentração de

EM como a variável que afeta a estimativa da ELM, logo, a *km* pode ser obtida a partir da razão entre a ELM e a EMm. O NRC (2007) recomenda um valor fixo de 0,644 para *km*.

É possível estabelecer a exigência de EMm por meio da relação exponencial entre a PCl e o CEM. Pode-se determinar, a partir do método iterativo, o ponto onde o CEM e a PCl se igualam, sendo esse ponto considerado a exigência de EMm. No BR-CAPRINOS & OVINOS, a EMm corresponde a 0,102 Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia e o valor de *km* foi de 0,64 (Figura 4).

Ovinos castrados e não castrados apresentam exigências de manutenção semelhantes, e a ausência de efeito do sexo sobre a ELM pode ser explicada pela similaridade dos tecidos metabolicamente ativos, bem como pelo tamanho relativo dos órgãos viscerais entre

machos. As estimativas das exigências energéticas para manutenção de ovinos deslanados são menores do que os valores relatados pelo NRC (2007) e INRA (2018). NRC (2007) sugere que machos não castrados apresentam uma exigência 15% maior em relação aos machos castrados.

Estudos anteriores com caprinos (Andrade *et al.*, 2020) e ovinos (Nie *et al.*, 2015) não relataram diferenças no crescimento de órgãos viscerais entre os sexos. Aproximadamente 50% da ELM é consumida pelo turnover proteico e movimentação de substâncias, contra gradientes de concentração, para o qual são necessárias ligações fosfato de alta energia (Blaxter, 1966), principalmente nos tecidos que compõem o trato gastrointestinal e o fígado, pois esses órgãos viscerais são metabolicamente muito ativos e apresentam alto gasto energético (Baldwin *et al.*, 2004).

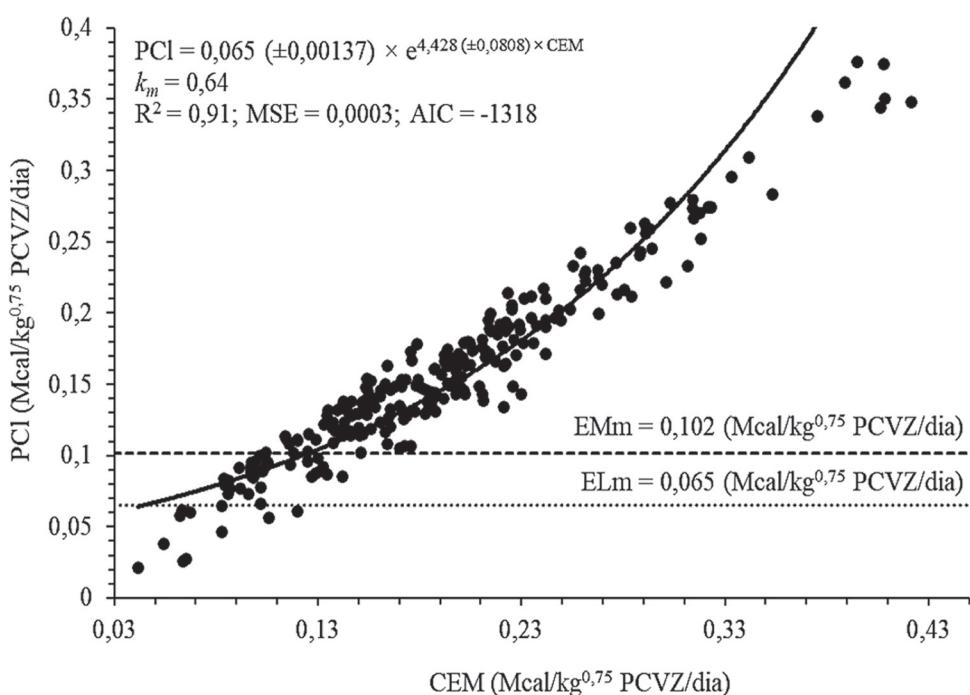


Figura 8.4 – Equação exponencial de predição da produção de calor em função do consumo de energia metabolizável com as respectivas estimativas das exigências de energia líquida para manutenção (ELM) e energia metabolizável para manutenção (EMm) de ovinos deslanados em crescimento.

Ambos NRC (2007) e INRA (2018) sugerem os valores não ajustados de 0,062 e 0,067 Mcal/kg^{0,75} PCJ por dia, respectivamente. Os valores desses Sistemas são 15 e 24% maiores do que o sugerido pelo BR-CAPRINOS & OVINOS, de 0,054 Mcal/kg^{0,75}PCJ/dia, respectivamente. Essas diferenças podem estar relacionadas à metodologia utilizada para a estimativa, assim como à energia utilizada nos processos que consomem energia, mas não fazem parte diretamente dos caminhos metabólicos, desde os precursores absorvidos até os produtos sintetizados, o que é denominado “metabolismo de suporte” (Williams & Jenkins, 2003).

Quando aplicado a calorimetria, a produção de calor do metabolismo de suporte é contabilizada na manutenção, observando-se, assim, maiores exigências de ELM, se comparadas aos valores estimados pelo abate comparativo. Além disso, os genótipos tropicais geralmente são mais gordos em comparação com os genótipos temperados (Salah *et al.* 2014; Mendes *et al.*, 2021), portanto seu metabolismo basal é reduzido, o que resulta em menor valor na ELM. Ovinos deslanados apresentam maiores quantidades de gordura visceral, abdominal e pélvica em pesos elevados.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA GANHO DE PESO

Com relação aos requerimentos líquidos de energia para o crescimento, estes consistem na quantidade de energia depositada nos tecidos, a qual está em função das proporções de gordura e proteína no ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ). Para estimar as exigências de ganho de peso, é imprescindível conhecer a taxa de ganho, a composição dos

tecidos ganho e as eficiências de uso dos nutrientes (Tedeschi *et al.*, 2004).

BR-CAPRINOS & OVINOS utiliza o modelo proposto pelo NRC (1984) para estimar as exigências líquidas de energia para ganho de peso (ELg, Mcal/dia):

$$ELg = \beta_0 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{\beta_1} \quad \text{Eq. 8.16}$$

onde: β_0 corresponde ao antilog da regressão linear, e β_1 é a inclinação da regressão linear do log da ER (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia) em função do log do GPCVZ (kg/dia).

A classe sexual não afetou o intercepto ($P > 0,05$) da regressão linear do logaritmo do ER (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/ dia) sobre o logaritmo do GPCVZ (kg/dia), mas a inclinação foi influenciada ($P < 0,05$), portanto, foram geradas duas equações para estimar a ELg para machos não castrados (Equação 8.17) e castrados (Equação 8.18), respectivamente:

$$ELg = 0,248_{(\pm 0,04055)} \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,8767 (\pm 0,03293)} \quad \text{Eq. 8.17}$$

$$ELg = 0,248_{(\pm 0,04055)} \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,8300 (\pm 0,03468)} \quad \text{Eq. 8.18}$$

A interação entre o PCVZ e o GPCVZ é relevante, pois afeta o incremento de ELg em função do aumento do PCVZ (Figura 8.5) e fica evidente uma maior deposição de energia por unidade de ganho de peso em animais com maior PCVZ. Isto, provavelmente, está associado à maior deposição de energia na forma de gordura. Fatores como idade, peso, maturidade fisiológica, classe sexual, nível de alimentação, taxa de ganho de peso e genótipo influenciam a ELg.

O sexo modula a dinâmica dos nutrientes e a atividade metabólica dos tecidos devido à variação nos níveis de hormônios

androgênicos e altera a composição corporal. Machos castrados depositam mais gordura no ganho e, consequentemente, apresentam maiores exigências de energia para o ganho de peso. A castração em machos causa redução dos níveis plasmáticos de testosterona e indiretamente de outros hormônios anabólicos, como o fator de crescimento semelhante à insulina.

Machos castrados não têm o mesmo potencial anabólico que machos não castrados e, consequentemente, sintetizam menos proteína e mais gordura. Quando o animal é jovem, a composição do ganho apresenta maiores proporções de proteína e água. Conforme o animal cresce e atinge o peso adulto, a concentração de gordura aumenta, a proteína se estabiliza no corpo vazio do animal e, consequentemente, o teor de água diminui (Mendes *et al.*, 2022).

Os valores de ELg neste Sistema são diferentes das recomendações sugeridas pelos Comitês, principalmente em pesos corporais mais elevados. Assim, considerando um macho não castrado com PC de 30 kg e GMD de 150 g/dia, a demanda de ELg corresponde a 0,448 Mcal/dia, valor 26% (0,564 Mcal/dia) inferior ao recomendado pelo NRC (2007), tais diferenças podem ser devido a este sistema considerar o grau de maturidade do animal em sua equação de ganho. Adotando o valor de 64 kg como peso à maturidade de ovinos deslanados machos (Mendes *et al.*, 2022), os valores de ELg estimados pelo NRC (2007) para animais com 30 kg de PC são 20% maiores do que o observado para

ovinos deslanados. Isso ocorre porque a composição do ganho de peso é influenciada pelo genótipo, o que pode explicar a diferença entre a ELg deste Sistema e o recomendado pelo NRC (2007). De fato, o NRC (2007) supõe um aumento significativo na taxa de retenção de gordura e, consequentemente, na energia corporal, a partir de 25 kg de PC, o que não é compatível com o crescimento de ovinos deslanados.

Os diversos Comitês mundiais reportam que o verdadeiro determinante da composição do ganho é o peso relativo ao peso à maturidade do grupo genético ao qual o animal pertence. Quando comparados animais de maturidade fisiológica precoce com animais de maturidade tardia, observa-se maior conteúdo corporal de gordura e menor de proteína nos animais de maturidade precoce. Considerando que o estádio de maturidade fisiológica é importante nos estudos de composição química corporal, as exigências energéticas devem ser corrigidas pelo fator de maturidade fisiológica.

Ambos NRC (2007) e CSIRO (2007) consideram o grau de maturidade do animal, representado pela razão entre o peso corporal e o peso à maturidade para estabelecer diferenças nos padrões de retenção energética. Assume-se que os genótipos com maior peso à maturidade apresentam incremento nas taxas de retenção de gordura corporal somente em pesos mais elevados. As equações para estimativa da ELg para ovinos não são ajustadas para o peso à maturidade.

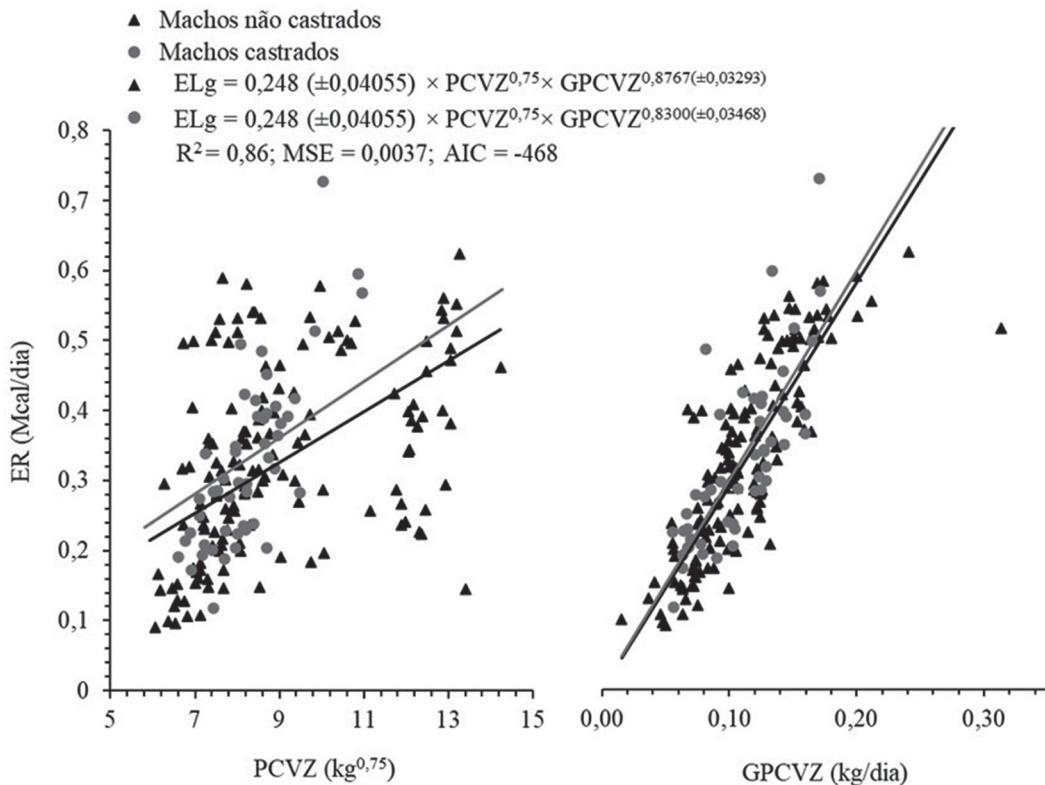


Figura 8.5 – Exigências de energia líquida de ganho em função do peso de corpo vazio metabólico ($\text{kg}^{0,75}$ PCVZ) e do ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) em ovinos deslanados em crescimento.

Para converter a ELg em EMg foi estimada a eficiência de utilização da energia para ganho de peso (kg). Para isso, foi utilizado o princípio sugerido por Ferrell & Jenkins (1998), regressando a ER em função do CEM. No entanto, adaptou-se a retirada do intercepto e utilização do consumo de energia metabolizável para ganho (CEMg) ao invés do CEM, como recomendado por Galvani *et al.* (2014).

$$\text{ER} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{CEMg} \quad \text{Eq. 8.19}$$

onde: β_0 e β_1 são o intercepto e a inclinação da regressão linear, respectivamente, sendo que nesse modelo a inclinação corresponde a kg . CEMg (Mcal/kg^{0,75} PCVZ /dia) é a diferença entre CEM (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia) e EMm (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia) assumindo que ER (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia) é nulo quando CEM (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia) é zero.

A classe sexual não afetou a inclinação da regressão linear (Figura 8.6) e assim uma única equação foi ajustada. O valor de kg sugeridos para machos não castrados e castrados para ovinos deslanados é 0,29.

$$\text{ER} = 0,0080(\pm 0,004072) + 0,2872(\pm 0,05273) \times \text{CEMg} \quad \text{Eq. 8.20}$$

A kg representa a energia alimentar, que é metabolizada e retida no organismo do animal e pode ser influenciada por diversos fatores, como ambiente, atividade animal, energia retida como proteína e metabolizabilidade da dieta (ARC, 1980). Ambos, CSIRO (2007) e NRC (2007) estabelecem kg com base nas características da dieta.

Em termos de aproveitamento energético, a gordura é depositada de forma mais eficiente que a proteína devido ao maior turnover no tecido proteico em comparação

ao tecido adiposo, e, assim, demanda maior gasto energético por unidade de proteína depositada (BR-CORTE, 2016). Por outro lado, em termos de massa de PCVZ ou GPVZ, o ganho de proteína é mais eficiente do que de gordura, pois a porção isenta de gordura do ganho é composta por aproximadamente 75% de água (Ratray & Joyce, 1976). São adicionados entre 4 a 5 g de água a cada grama de proteína depositada, enquanto no tecido adiposo está associado menos de 1 g de água por grama de gordura depositada. Assim, a mesma proporção de energia utilizada para depositar 1 grama de gordura em termos de massa de PCVZ resultaria em um ganho 5 a 6 vezes maior quando direcionado à deposição de proteínas (CSIRO, 2007).

O metabolismo energético do crescimento pode ser avaliado considerando a energia retida no tecido como um conceito uniforme, definindo a eficiência desse processo como kg e separando as principais entidades químicas envolvidas no crescimento, ou seja, a energia retida na forma de proteína e de gordura, com uma eficiência de deposição $k_{proteína}$ (k_{prot}) e $k_{gordura}$ (k_{gord}), respectivamente (Marcondes *et al.*, 2013).

Energeticamente, a deposição de gordura é mais eficiente do que a de proteína. Isso se deve às diferentes vias bioquímicas e ao maior *turnover* diário de proteína em relação à gordura (Vermorel & Bickel, 1980; NRC, 2007). O valor de k_{prot} é influenciado pelo estágio fisiológico, nível e qualidade da dieta e perfil de aminoácidos (CSIRO, 1990), o qual, por sua vez, dita parcialmente o *turnover* de proteína. Fatores como composição da dieta, taxa de deposição de proteína e energia, estado fisiológico, genótipo e ambiente podem afetar a composição do ganho de peso e a kg (Garrett, 1980).

Portanto, variações nos valores de kg entre os estudos podem estar relacionadas às diferenças no tecido ganho, uma vez que a composição do ganho é o principal fator determinante da kg (Tedeschi *et al.*, 2010). Valores superiores de kg , 0,345 e 0,409 para animais alimentados com forragem de média e baixa qualidade, respectivamente, foram reportados para animais mestiços Dorper x Santa Inês. Essas diferenças foram associadas às mudanças na eficiência de deposição de gordura (Galvani *et al.*, 2014).

Sabe-se que a kg aumenta conforme o estágio de maturação avança, devido ao aumento no potencial de deposição de gordura e à estabilização de proteínas no corpo vazio do animal (NRC, 2007; Pereira *et al.*, 2018). Dessa forma, assim como as estimativas de ELg , os valores de kg podem ser afetados pela composição do ganho de peso (Graham, 1980; Galvani *et al.*, 2014). No banco de dados de ovinos deslanados, os valores de k_{prot} e k_{gord} foram estimados a partir dos conteúdos de proteína e gordura, multiplicados pelos teores calóricos 5,686 e 9,367 kcal/g, respectivamente. Desse modo, quanto maior a percentagem de proteína no ganho, menor será a sua concentração energética e vice-versa.

A equação proposta por Van Es (1980) foi utilizadas para a obtenção da k_{prot} e k_{gord} nesse Sistema:

$$CEM = \beta_0 + \beta_1 \times ERg + \beta_2 \times ERp \quad \text{Eq. 8.21}$$

onde CEM é o consumo de energia metabolizável (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia); ERg é a energia retida como gordura (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia); ERp é a energia retida como proteína (Mcal/kg^{0,75} PCVZ/dia); β_0 corresponde a estimativa da EMm; e β_1 e β_2 são os coeficientes que representam as quantidades requeridas para depositar 1 Mcal de EM na

forma de gordura e proteína, respectivamente. As eficiências de RE como gordura e proteína foram calculadas como o recíproco dos coeficientes β_1 e β_2 , ou seja, $1/\beta_1$ e $1/\beta_2$, respectivamente. Usando a Equação 8.21 a EMm foi estimada como $0,123 \text{ Mcal/kg}^{0,75}$ PCVZ/dia, k_{gord} como 0,78 e k_{prot} como 0,27. O Small Ruminant Nutrition System (SRNS) considera a proporção da ER na forma de proteína e gordura como 0,27 e 0,68, respectivamente (Tedeschi *et al.*, 2010).

A kg está correlacionada com a deposição tecidual corporal, logo, a aplicação de um valor fixo de kg pode superestimar a energia

do ganho no corpo do animal (CSIRO 2007), principalmente quando este ganho é formado prioritariamente por proteína (Marcondes *et al.*, 2013).

No entanto, não foi possível estimar o valor de kg utilizando dos valores de k_{prot} e k_{gord} para Ovinos. Dessa forma, mantém-se a recomendação de 0,29 para machos não castrados e castrados, respectivamente.

Assim, ressalta-se a necessidade de incremento do banco de dados para futuras estimativas de kg , e correções para níveis de ganho de peso e peso à maturidade.

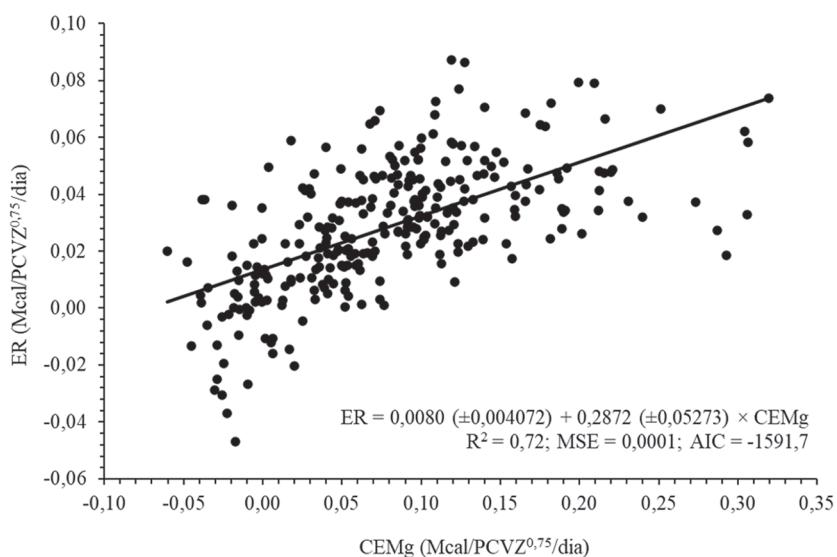


Figura 8.6. Relação entre a energia retida (ER) e o consumo de energia metabolizável para ganho (CEMg) de ovinos deslanados em crescimento.

RESUMO DAS EQUAÇÕES E EXEMPLO PRÁTICO

O sumário das equações recomendadas para a predição das exigências nutricionais de energia para ovinos deslanados em crescimento está apresentado na Tabela 8.4.

Tabela 8.4 – Resumo das equações utilizadas para estimar as exigências nutricionais de energia para ovinos deslanados em crescimento.

Item	Equação	Unidade
PCJ	$-0,547 + 0,9313 \times PC$	kg
PCVZ	$1,4944 + 0,8816 \times PCJ$	kg
GPCVZ	$0,906 \times GMD$	kg/dia
ELm	$0,065 \times PCVZ^{0,75}$	Mcal/dia
<i>km</i>	0,64	%
<i>kg</i>	0,29	%
EMm	ELm/0,64	Mcal/dia
Elg (não castrado)	$0,248 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,8767}$	Mcal/dia
Elg (castrado)	$0,248 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,8300}$	Mcal/dia
EMg (não castrado)	Elg/0,29	Mcal/dia
EMg (castrado)	Elg/0,29	Mcal/dia
ELT	ELm + ELg	Mcal/dia
EMT	EMm + EMg	Mcal/dia
ED	EMT/0,85	Mcal/dia
NDT	ED/4,409	kg/dia

PC = Peso corporal; PCJ = Peso de corpo em jejum; PCVZ = Peso de corpo vazio; GPCVZ = Ganho de peso de corpo vazio; ELm = Exigência de energia líquida para manutenção; *km* = Eficiência de uso da energia para manutenção; *kg* = Eficiência de uso da energia para ganho; EMm = Exigência de energia metabolizável para manutenção; Elg = Exigência de energia líquida para ganho; EMg = Exigência de energia metabolizável para ganho; ELT = Exigência de energia líquida total; EMT = Exigência de energia metabolizável total; ED = Energia digestível; NDT = Nutrientes digestíveis totais.

A fim de demonstrar a aplicação dos modelos apresentados nesse capítulo, será realizada a estimativa das exigências de energia para machos não castrados e castrados. Dessa forma, considerando um macho não castrado de 30 kg, ganhando 0,150 kg/dia, em confinamento, tem-se:

- PCJ = $-0,547 + 0,9313 \times PC = -0,547 + 0,9313 \times 30 = 27,392$ kg
- PCVZ = $-1,4944 + 0,8816 \times PCJ = -1,494 + 0,8816 \times 27,392 = 22,654$ kg
- GPCVZ = $0,906 \times GMD = 0,906 \times 0,150 = 0,136$ kg/dia
- CMS = $-145,68 + 77,3709 \times PC^{0,75} + 1,3985 \times GMD = -145,68 + 77,3709 \times 30^{0,75} + 1,3985 \times 150 = 1,056$ kg/dia

- $ELm = 0,065 \times PCVZ^{0,75} = 0,065 \times 22,654^{0,75} = 0,675 \text{ Mcal/dia}$
- $km = 0,64$
- $EMm = ELm/km = 0,675/0,64 = 1,055 \text{ Mcal/dia}$
- $ELg = 0,248 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,8767} = 0,248 \times 22,654^{0,75} \times 0,136^{0,8767} = 0,448 \text{ Mcal/dia}$
- $kg = 0,29$
- $EMg = ELg/kg = 0,448/0,29 = 1,544 \text{ Mcal/dia}$
- $ELT = ELm + ELg = 0,675 + 0,448 = 1,123 \text{ Mcal/dia}$
- $EMT = EMm + EMg = 1,055 + 1,544 = 2,599 \text{ Mcal/dia}$
- $ED = EMT/0,85 = 2,599/0,85 = 3,058 \text{ Mcal/dia}$
- $NDT = ED/4,409 = 3,058/4,409 = 0,693 \text{ kg/dia}$
- $NDT = (NDT/ CMS) \times 100 = (0,693/1,056) \times 100 = 65,62 \% NDT$

Considerando um macho castrado de 30 kg, ganhando 0,150 kg/dia, em confinamento, tem-se:

- $PCJ = -0,547 + 0,9313 \times PC = -0,547 + 0,9313 \times 30 = 27,392 \text{ kg}$
- $PCVZ = -1,4944 + 0,8816 \times PCJ = -1,494 + 0,8816 \times 27,392 = 22,654 \text{ kg}$
- $GPCVZ = 0,906 \times GMD = 0,906 \times 0,150 = 0,136 \text{ kg/dia}$
- $CMS = -145,68 + 77,3709 \times PC^{0,75} + 1,3985 \times GMD = -145,68 + 77,3709 \times 30^{0,75} + 1,3985 \times 150 = 1,056 \text{ kg/dia}$
- $ELm = 0,065 \times PCVZ^{0,75} = 0,065 \times 22,654^{0,75} = 0,675 \text{ Mcal/dia}$
- $km = 0,64$
- $EMm = ELm/k_m = 0,675/0,64 = 1,055 \text{ Mcal/dia}$
- $ELg = 0,248 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,8300} = 0,248 \times 22,654^{0,75} \times 0,136^{0,8300} = 0,492 \text{ Mcal/dia}$
- $kg = 0,29$
- $EMg = ELg/k_g = 0,492/0,29 = 1,697 \text{ Mcal/dia}$
- $ELT = ELm + ELg = 0,675 + 0,492 = 1,167 \text{ Mcal/dia}$
- $EMT = EMm + EMg = 1,055 + 1,697 = 2,752 \text{ Mcal/dia}$
- $ED = EMT/0,85 = 2,752/0,85 = 3,237 \text{ Mcal/dia}$
- $NDT = ED/4,409 = 3,237/4,409 = 0,734 \text{ kg/dia}$
- $NDT = (NDT/CMS) \times 100 = (0,734/1,056) \times 100 = 69,50 \% NDT$

TABELAS DE EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA OVINOS DESLANADOS

As Tabelas 8.5 e 8.6 apresentam os valores estimados de energia líquida e metabolizável para manutenção e ganho de peso, bem como as exigências totais de ED e NDT para machos não castrados e castrados em crescimento com diferentes pesos corporais e níveis de ganho de peso diário, respectivamente.

Tabela 8.5 – Estimativas das exigências nutricionais de energia para ovinos deslanados machos não castrados em crescimento.

PC (kg)	PCJ (kg)	PCVZ (kg)	GMD (kg)	GPCVZ (kg)	CMS (g/dia)	ELm (Mcal/dia)	EMm (Mcal/dia)	ELg (Mcal/dia)	EMg (Mcal/dia)	EMT (Mcal/dia)	ED (Mcal/dia)	NDT (kg/dia)
8,766	6,234	0,100	0,091	429,259	0,256	0,401	0,119	0,411	0,812	0,955	0,217	
10	8,766	6,234	0,150	0,136	499,184	0,256	0,401	0,170	0,586	0,987	1,161	
	8,766	6,234	0,200	0,181	569,109	0,256	0,401	0,219	0,755	1,156	0,308	
13,423	10,339	0,100	0,091	583,890	0,375	0,586	0,174	0,601	1,187	1,396	0,317	
15	13,423	10,339	0,150	0,136	653,815	0,375	0,586	0,249	0,857	1,443	1,698	
	13,423	10,339	0,200	0,181	723,740	0,375	0,586	0,320	1,103	1,689	1,987	
18,079	14,444	0,100	0,091	725,899	0,482	0,752	0,224	0,772	1,524	1,793	0,407	
20	18,079	14,444	0,150	0,136	795,824	0,482	0,752	0,319	1,101	1,853	2,180	
	18,079	14,444	0,200	0,181	865,749	0,482	0,752	0,411	1,417	2,169	2,552	
22,736	18,549	0,100	0,091	859,203	0,581	0,908	0,270	0,931	1,839	2,164	0,491	
25	22,736	18,549	0,150	0,136	929,128	0,581	0,908	0,385	1,329	2,237	2,632	
	22,736	18,549	0,200	0,181	999,053	0,581	0,908	0,496	1,710	2,618	3,080	
27,392	22,654	0,100	0,091	985,957	0,675	1,055	0,314	1,082	2,137	2,514	0,570	
30	27,392	22,654	0,150	0,136	1055,882	0,675	1,055	0,448	1,544	2,599	3,058	
	27,392	22,654	0,200	0,181	1125,807	0,675	1,055	0,576	1,986	3,041	3,578	
32,049	26,760	0,100	0,091	1107,512	0,765	1,195	0,355	1,226	2,421	2,848	0,646	
35	32,049	26,760	0,150	0,136	1177,437	0,765	1,195	0,507	1,749	2,944	3,464	
	32,049	26,760	0,200	0,181	1247,362	0,765	1,195	0,653	2,251	3,446	4,054	
36,705	30,865	0,100	0,091	1224,786	0,851	1,330	0,396	1,364	2,694	3,169	0,719	
40	36,705	30,865	0,150	0,136	1294,711	0,851	1,330	0,564	1,946	3,276	3,854	
	36,705	30,865	0,200	0,181	1364,636	0,851	1,330	0,726	2,505	3,835	4,512	
											1,023	

PC = Peso corporal; PCJ = Peso corporal de jejum; PCVZ = Peso de corpo vazio; GMD = Ganhão médio diário; GPCVZ = Ganhão de peso de corpo vazio; CMS = Consumo de matéria seca; 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 total; ED = Energia digestível; NDT = Nutrientes digestíveis totais.

Tabela 8.6 – Estimativas das exigências nutricionais de energia para machos castrados em crescimento.

PC (kg)	PCJ (kg)	PCVZ (kg)	GMD (kg)	GPCVZ (kg)	CMS (g/dia)	ELm (Mcal/dia)	EMm (Mcal/dia)	ELg (Mcal/dia)	EMg (Mcal/dia)	EMT (Mcal/dia)	ED (Mcal/dia)	NDT (kg/dia)
8,766	6,234	0,100	0,091	429,259	0,256	0,401	0,134	0,462	0,863	1,015	0,230	
10	8,766	6,234	0,150	0,136	499,184	0,256	0,401	0,187	0,645	1,046	1,230	
	8,766	6,234	0,200	0,181	569,109	0,256	0,401	0,237	0,817	1,218	1,433	
	13,423	10,339	0,100	0,091	583,890	0,375	0,586	0,196	0,676	1,262	1,485	
15	13,423	10,339	0,200	0,181	723,740	0,375	0,586	0,273	0,941	1,527	1,797	
	13,423	10,339	0,150	0,136	653,815	0,375	0,586	0,346	1,193	1,779	2,093	
	18,079	14,444	0,100	0,091	725,899	0,482	0,752	0,251	0,866	1,618	1,903	
20	18,079	14,444	0,150	0,136	795,824	0,482	0,752	0,351	1,210	1,962	2,309	
	18,079	14,444	0,200	0,181	865,749	0,482	0,752	0,445	1,534	2,286	2,690	
	22,736	18,549	0,100	0,091	859,203	0,581	0,908	0,303	1,045	1,953	2,297	
25	22,736	18,549	0,150	0,136	929,128	0,581	0,908	0,423	1,459	2,367	2,784	
	22,736	18,549	0,200	0,181	999,053	0,581	0,908	0,536	1,848	2,756	3,243	
	27,392	22,654	0,100	0,091	985,957	0,675	1,055	0,352	1,214	2,269	2,669	
30	27,392	22,654	0,150	0,136	1055,882	0,675	1,055	0,492	1,697	2,752	3,237	
	27,392	22,654	0,200	0,181	1125,807	0,675	1,055	0,623	2,148	3,203	3,769	
	32,049	26,760	0,100	0,091	1107,512	0,765	1,195	0,399	1,376	2,571	3,025	
35	32,049	26,760	0,150	0,136	1177,437	0,765	1,195	0,557	1,921	3,116	3,666	
	32,049	26,760	0,200	0,181	1247,362	0,765	1,195	0,706	2,434	3,629	4,270	
	36,705	30,865	0,100	0,091	1224,786	0,851	1,330	0,444	1,531	2,861	3,366	
40	36,705	30,865	0,150	0,136	1294,711	0,851	1,330	0,620	2,138	3,468	4,080	
	36,705	30,865	0,200	0,181	1364,636	0,851	1,330	0,786	2,710	4,040	4,753	
											1,078	

PC = Peso corporal; PCJ = Peso corporal de jejum; PCVZ = Peso de corpo vazio; GMD = Ganho médio diário; GPCVZ = Ganho de peso de corpo vazio; CMS = Consumo de matéria seca; ELm = Exigência de energia líquida para manutenção; EMm = Exigência de energia metabolizável para manutenção; ELg = Exigência de energia líquida para ganho; EMT = Exigência de energia metabolizável total; ED = Energia digestível; NDT = Nutrientes digestíveis totais.

REFERÊNCIAS

- Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants*. Wallingford: CAB International, 1993.
- Agricultural Research Council – ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureau. The Gresham Press, 1980.
- Agricultural Research Council – ARC. *The Nutrient Requirements of Farm Livestock*. London: Agricultural Research Council, 1965.
- Andrade, M. E. B.; Härter, C. J.; Gindri, M.; Resende, K. T.; Teixeira, I. A. M. A. Visceral organ growth patterns in Saanen goats. *Journal of Agricultural Science*, 1-22, 2020.
- Assis, D. S. M.; Silva, A. M. A.; Nascimento Júnior, N. G.; Bezerra, L. R.; Pereira Filho, J. M.; Oliveira, R. L.; Pereira, E. S.; Nóbrega, G. H.; Moura, J. F. Dorper× Santa Ines F1 crossbred lambs under different grazing times and supplement levels in tropical regions: performance and macromineral requirements. *Italian Journal of Animal Science*, 17:931-940, 2018.
- Baldwin, R. L.; McLeod, K. R.; Klotz, J. L; Heitmann, R. N. Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre and post weaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 87:55-65, 2004.
- Blaxter, K. L.; Clapperton, J. L.; Wainman, F. W. Utilization of the energy and protein of the same diet by cattle of different ages. *Journal of Animal Science*, 67:67-75, 1966.
- Blaxter, K. L.; Wainman, F. W. The utilization of food by sheep and cattle. *The Journal of Agricultural Science*, 57:419-425, 1961.
- BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle* – BR-CORTE, 4 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 2016.
- Brito Neto, A. S. *Exigências de energia para manutenção e ganho de peso de fêmeas Santa Inês e equações para predição do peso de carcaça, peso de corpo vazio, ganho de peso de corpo vazio e energia retida*. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2024.
- Brody, S. *Bioenergetics and growth*. New York: Reinhold Publishing, 1945.
- Brouwer, E. Report of Sub-committee on Constants and Factors. In: Proceedings of 3rd Symposium on Energy Metabolism. EEAP Publication 11. Academic Press, London, 1965.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO. *Feeding standards for Australian livestock: ruminants*. Melbourne: CSIRO Publishing, 1990.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Melbourne: CSIRO publishing, 2007.
- Costa, M. R. G. F.; Pereira, E. S.; Silva, A. M. A.; Paulino, P. V. R.; Mizubuti, I. Y.; Pimentel, P. G.; Pinto, A. P.; Rocha Junior, J. N. Body composition and net energy and protein requirements of Morada Nova lambs. *Small Ruminant Research*, 114:206-213, 2013.
- Crooker, B. A; Anderson, P.T; Goodrich, R. D. Maintenance energy requirements and energetics of tissue deposition and mobilization in cattle. In. *Grazing Livestock Nutrition Conference*, 1991, Montana. Proceedings... Montana, 1-12, 1991.
- 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: I. Angus, Belgian Blue, Hereford, and Piedmontese sires. *Journal of Animal Science*, 76:637-646, 1998.
- Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Cow Type and the Nutritional Environment: Nutritional Aspects. *Journal of Animal Science*, 61:725-741, 1985.
- Fox, D. G.; Barry, M. C.; Pitt, R. E.; Roseler, D. K; Stone, W. Application of the Cornell net carbohydrate and protein model for cattle consuming forages. *Journal of Animal Science*, 73:267-277, 1995.
- Galvani, D. B.; Pires, A. V.; Susin, I.; Gouvêa, V. N.; Berndt, A.; Chagas, L. J.; Dórea, J. R. R.; Abdalla, A. L.; Tedeschi, L. O. Energy efficiency of growing ram lambs fed concentrate-based diets with different roughage sources. *Journal of Animal Science*, 92:250–63, 2014.
- Garrett, W. N. Factors influencing energetic efficiency of beef production. *Journal of Animal Science*, 51:1434–1440, 1980.
- Graham, N. M. Variation in energy and nitrogen utilization by sheep between weaning and maturity. *Australian Journal Agricultural Research*, 31:335-345, 1980.
- Herbster, C. J. L. Exigências nutricionais de energia e predição do consumo de água em ovinos deslanados. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2024.
- Institut National de la Recherche Agronomique -INRA. *Alimentation des ruminants*. Versailles, France: Éditions Quæ, 728p, 2018.

- Johnson, D. E. Heat increment of acetate and corn and effects of casein infusions with growing lambs. *Journal of Nutrition*, 102:1093–1100, 1972.
- Kleiber, M. Metabolic turnover rate: a physiological meaning of the metabolic rate per unit body weight. *Journal of Theoretical Biology*, 53:199-204, 1975.
- 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, 1968.
- Macedo Junior, G. L. *Exigências nutricionais de ovelhas gestantes da raça Santa Inês*. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. 2008.
- 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 Nellore cattle. *Journal of Animal Science*, 91:4887–489, 2013.
- Maynard, L. A.; Loosli, J. K.; Hintz, H. F.; Warner, R. G. *Animal Nutrition*. Trad. Figueiredo, F. A. B. N. 3 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984.
- Mendes, M. S.; Lôbo, R. N. B.; Herbster, C. J. L.; Souza, J. G.; Rodrigues, J. P. P.; Marcondes, M. I.; Pereira, E. S. Determination of the mature weight of intact male hair sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 159:757-761, 2022.
- Mendes, M. S.; Souza, J. G.; Herbster, C. J. L.; Brito Neto, A. S.; Silva, L. P.; Rodrigues, J. P. P.; Marcondes, M. I.; Oliveira, R. L.; Bezerra, L. R.; Pereira, E. S. Maintenance and growth requirements in male Dorper × Santa Ines lambs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8:676956, 2021.
- National Academies of Sciences Engineering and Medicine – NASEM. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 8th ed. The National Academies Press, Washington, DC, 494p. 2016.
- 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 Beef Cattle*. 5th. rev. ed. Washington: National Academies Press, 1976.
- National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of sheep*. 6th. rev. ed. Washington: National Academy Press, 110 p, 1985.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids*. Washington, DC: National Academy Press, 362p, 2007.
- Nie, H. T.; Zhang, H.; You, J. H.; Wang, F. Determination of energy and protein requirement for maintenance and growth and evaluation for the effects of gender upon nutrient requirement in Dorper × Hu Crossbred Lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 47:841-853, 2015.
- Noller, C. H.; Moe, P. W. Determination of NRC energy and protein requirement for ruminants. In: Simpósio Internacional sobre Exigências Nutricionais de Ruminantes, 1995, Viçosa. *Anais ... Viçosa*, 53-76, 1995.
- Oliveira, A. P.; Pereira, E. S.; Pinto, A. P.; Silva, A. M. A.; Carneiro, M. S. S.; Mizubuti, I. Y.; Ribeiro, E. L. A.; Campos, A. C. N.; Gadelha, C. R. F. Estimativas dos requisitos nutricionais e utilização do modelo Small Ruminant Nutrition System para ovinos deslanados em condições semiáridas. *Semina: Ciências Agrárias*, 35:1985-1998, 2014.
- Pereira, E. S.; Fontenele, R. M.; Silva, A. M. A.; Oliveira, R. L.; Ferreira, M. R. G.; Mizubuti, I. Y.; Carneiro, M. S. S.; Campos, A. C. N. Body composition and net energy requirements of Brazilian Somali lambs. *Italian Journal of Animal Science*, 13:3583, 2014.
- Pereira, E. S.; Lima, F. W. R.; Marcondes, M. I.; Rodrigues, J. P. P.; Campos, A. C. N.; Silva, L. P.; Bezerra, L. R.; Pereira, M. W. F.; Oliveira, R. L. Energy and protein requirements of Santa Ines lambs, a breed of hair sheep. *Animal*, 11:2165-2174, 2017.
- Pereira, E. S.; Pereira, M. W. F.; Marcondes, M. I.; Medeiros, A. N.; Oliveira, R. L.; Silva, L. P.; Mizubuti, I. Y.; Campos, A. C. N.; Heinzen, E. L.; Veras, A. S. C.; Bezerra, L. R.; Araújo, T. L. A. C. Maintenance and growth requirements in male and female hair lambs. *Small Ruminant Research*, 159:75-83, 2018.
- Pereira, G. M. *Exigências de proteína e energia de carneiros Santa Inês na região semiárida brasileira*. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, Brasil, 2011.
- Prentice, A. Le symposium Lavoisier. *Proceedings of the Nutrition Society*, 54:1-8, 1995.
- Rattray, P. V.; Joyce, J. P. Utilisation of metabolisable energy for fat and protein deposition in sheep. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 19:299–305, 1976.
- Regadas Filho, J. G. L.; Pereira, E. S.; Pimentel, P. G.; Villarroel, A. B. S.; Medeiros, A. N.; Fontenele, R. M. Body composition and net energy requirements for Santa Ines lambs. *Small Ruminant Research*, 109:107-112, 2013.

Rodrigues, R. T. S.; Chizzotti, M. L.; Martins, S. R.; Silva, I. F.; Queiroz, M. A. A.; Silva, T. S.; Busato, K. C.; Silva, A. M. A. Energy and protein requirements of non-descript breed hair lambs of different sex classes in the semiarid region of Brazil. *Tropical Animal Health and Production*, 48:87-94, 2016.

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 metabolism trials. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59:495-500, 2007.

Salah, N.; Sauvant, D.; Archimède, H. Nutritional requirements of sheep, goats and cattle in warm climates: a meta-analysis. *Animal*, 8:1439-1447, 2014.

Santos, S. S. *Avaliação nutricional de fenos de resíduos da bananicultura submetidos a diferentes métodos de secagem*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Brasil, 2020.

Silva, A. M. A.; Santos, E. M.; Pereira Filho, J. M.; Bakke, O. A.; Gonzaga Neto, S.; Costa, R. G. Body composition and nutritional requirements of protein and energy for body weight gain of lambs browsing in a tropical semiarid region. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:210-216, 2010.

Taylor, C. S.; Theissen, R. B.; Murray, J. Inter-breed relationship of maintenance efficiency to milk yield in cattle. *Animal Production*, 43:37–61, 1986.

Tedeschi, L. O.; Cannas, A.; Fox, D. G. A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: The development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. *Small Ruminant Research*, 89:174–184, 2010.

Tedeschi, L. O.; Fox, D. G.; Guiroy, 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.

Van Es, A. J. H. Net requirements for maintenance as dependent on weight, feeding level, sex and genotype, estimated from balance trials. *Annales de Zootechnie*, 29:73–84, 1980.

Van Soest, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994.

Vermorel, M.; Bickel, H. Utilization of feed energy by growing ruminants. *Annales de Zootechnie*, 29:127-43, 1980.

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 ovinos deslanados em crescimento

Elzania Sales Pereira, Caio Julio Lima Herbster, Marcos Inácio Marcondes, Alessandra Pinto de Oliveira, Antonio de Sousa Brito Neto, Evandra da Silva Justino, Amanda Cardoso Rocha, João Paulo Pacheco Rodrigues, Stefanie Alvarenga Santos, Leilson Rocha Bezerra, Ronaldo Lopes Oliveira e Aderbal Marcos de Azevedo Silva

INTRODUÇÃO

As proteínas são definidas como compostos orgânicos de importância primária, formados por unidades monoméricas denominadas aminoácidos, que contêm nitrogênio (N). Os aminoácidos são requeridos para manutenção, crescimento, lactação e reprodução, sendo principalmente utilizados para a síntese de proteína, ácidos graxos e como precursores de glicose. As proteínas exercem funções essenciais em processos metabólicos para os organismos vivos.

Existem 20 aminoácidos que são comumente encontrados no tecido animal e de plantas. Os termos “essencial” e “não essencial” são divisões clássicas que definem a capacidade metabólica do animal em sintetizar os aminoácidos. O conceito de essencialidade refere-se a uma exigência dietética, já que todos os aminoácidos en-

contrados na proteína são metabolicamente essenciais. Assim os aminoácidos essenciais são aqueles que os animais não conseguem sintetizar no organismo no ritmo necessário ao crescimento normal, incluindo a histidina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano, arginina e os aminoácidos de cadeia ramificada isoleucina, leucina e valina. Os aminoácidos não essenciais são aqueles que podem ser sintetizados pelo animal em uma quantidade adequada, considerando prolina, aspartato, asparagina, glutamato, glutamina, tirosina, alanina, serina, glicina e cisteína.

Assim, objetivando especificar a quantidade e a qualidade dos aminoácidos absorvidos, faz-se necessário o conhecimento da proteína microbiana sintetizada no rúmen, proteína não degradada no rúmen e digestível nos intestinos e da proteína de origem endógena. Este *pool* constituirá o total de aminoácidos que alcançará o intestino delgado de ruminantes, sendo a absorção intestinal de-

pendente dos coeficientes de digestibilidade de cada uma das fontes proteicas.

Inicialmente, os Comitês expressavam os requerimentos proteicos em termos de proteína bruta (PB). Em 1985, o “*Subcommittee on Nitrogen Usage in Ruminants*” apresentou um conceito racional para expressar os requerimentos proteicos em termos de proteína absorvida, o qual foi adotado pelo NRC (1989). O termo “proteína absorvida” foi assumido como sinônimo de proteína metabolizável, em que os requerimentos foram separados entre as demandas dos microrganismos ruminais e aquelas do hospedeiro. A proteína metabolizável (PM) foi definida como o *pool* de aminoácidos verdadeiramente absorvidos no intestino delgado, oriundo da proteína microbiana verdadeiramente digestível ($PM_{mic_{vd}}$) e da proteína não degradável no rúmen digestível no intestino ($PNDR_d$).

Existem duas razões principais para a adoção do Sistema PM em vez do Sistema PB. A primeira razão é justificada devido maiores informações acerca da síntese de proteína microbiana no rúmen e escape de compostos nitrogenados, o que permite previsões mais acuradas em relação ao Sistema PB. A segunda premissa é que o Sistema de PB é baseado em um conceito inválido que considera que todos os alimentos apresentam a mesma degradação proteica, e que PB seja convertida em PM com a mesma eficiência independentemente das dietas. Com isso, a mudança do Sistema PB para PM foi adotada pelos Comitês.

A eficiência de utilização do nitrogênio pelo ruminante depende da quantidade e qualidade da proteína metabolizável, da capacidade de utilização dos compostos nitrogenados pelos microrganismos ruminais (Clark *et al.*, 1992) e do conhecimento dos

requerimentos em aminoácidos para manutenção e produção (Broderick, 1994). Em dietas bem balanceadas as exigências de PM podem ser atendidas em até 50% a partir da proteína microbiana (NRC, 1996).

O conceito de PM empregado no AFRC (1993) é análogo ao PDI (Proteínas Digeríveis no Intestino) utilizado pelo INRA (2018). Esses sistemas são baseados na pressuposição de aditamento das frações proteicas verdadeiras de origem dietética que escapam da degradação ruminal e da proteína microbiana digestível no intestino.

A formulação de rações para ruminantes com base na PM possibilita previsões mais assertivas para obtenção de resultados em produtividade animal por intermédio do conhecimento da síntese de proteína microbiana e adequação dietética dos teores de PDR e PNDR. Neste Sistema, a energia disponível aos microrganismos é considerada o principal fator de limitação ao seu crescimento (síntese proteica). Já a segunda limitação pode ocorrer na falta de N, diante da escassez de PDR. Nas situações de escassez de N, o rendimento microbiano está relacionado à exigência em PDR, ou seja, se a quantidade de PDR da dieta for menor que a sua exigência então o rendimento ou a quantidade de proteína bruta microbiana sintetizada é limitado por esse nutriente e será igual à concentração de PDR na dieta. Se a quantidade desse nutriente exceder a exigência, então o rendimento é limitado pela disponibilidade ruminal de energia metabolizável fermentescível (EMF) e será igual ao produto entre o rendimento microbiano esperado para um dado nível nutricional e a quantidade de EMF diária ingerida pelo animal, sendo perdido o excesso de N degradável no rúmen. O objetivo básico no uso do Sistema de PM do AFRC (1993) é a formula-

ção de dietas nas quais a quantidade de PDR exigida seja igual à capacidade de utilização da EMF para a síntese de PBmic (proteína bruta microbiana), o que permite a minimização das perdas de nutrientes, particularmente de N, a maximização do crescimento microbiano e o consumo de matéria seca (CMS).

No Sistema Francês, embora diferente do AFRC em termos conceituais, o método de cálculo para o valor proteico dos alimentos é exatamente o mesmo, porém é individual para cada alimento. A predição das exigências nutricionais e das características de utilização dos alimentos pelos animais, numa determinada situação, requer o uso de modelos que integrem o conhecimento relativo ao alimento, o consumo de nutrientes, o escape de proteína dietética e a eficiência de crescimento dos microrganismos ruminais (Fox & Barry, 1995). A partir da determinação das exigências em energia líquida e PM, pode-se verificar o déficit ou excesso de nutrientes em um determinado alimento ou dieta e promover o balanceamento desta para maximização do crescimento microbiano, que representa a forma mais econômica de atender as exigências de PM. Tedeschi *et al.* (2015) discutiram as semelhanças e diferenças dos principais Sistemas em relação às proteínas e aminoácidos. Todavia, os mesmos obstáculos na definição das recomendações têm sido a contribuição da proteína microbiana para a PM, a PNDR, a quantificação do N-ureico reciclado no rúmen e verdadeiramente utilizado pelos microrganismos para síntese proteica e a eficiência de uso da PM pelos ruminantes.

DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS

O banco de dados utilizado para estimativa dos requerimentos de proteína para manutenção e ganho de peso foi constituído por 11 estudos que utilizaram a técnica do

abate comparativo (Tabela 9.1). O banco foi composto em sua maioria de animais Santa Inês ($n = 171$), seguidos de animais da raça Morada Nova ($n = 78$), Somalis Brasileira ($n = 47$), sem padrão racial definido ($n = 36$), Dorper × Santa Inês ($n = 35$) e Dorper ($n = 15$). Foram agrupadas 382 observações, das quais 74 foram de animais utilizados em grupos referência, sendo 54 animais não castrados e 20 animais castrados; 308 animais foram utilizados nos ensaios de desempenho, sendo 245 machos não castrados e 63 castrados. O efeito de sexo foi testado. A estatística descritiva do banco de dados está detalhada na Tabela 9.2.

A técnica do abate comparativo utilizada no BR-CAPRINOS & OVINOS, a qual é a base do Sistema de Energia Líquida da Califórnia (CNES), proposto por Lofgreen & Garrett (1968), consiste na estimativa dos nutrientes retidos no corpo do animal durante um período específico. Sendo assim, separa-se um grupo de animais representativo, os quais são abatidos no início da prova experimental. Já os animais remanescentes são submetidos a um período de alimentação e posteriormente abatidos. A retenção do nutriente em questão é então obtida pela diferença entre o nutriente corporal dos animais que foram submetidos à prova experimental em relação àqueles que foram abatidos inicialmente. Para isso, o peso de corpo vazio inicial (PCVZ_i) dos animais experimentais deverá ser estimado por equações de regressão do PCVZ versus o peso corporal (PC) dos animais referência. Da mesma forma, o conteúdo de energia e proteína corporal inicial dos animais experimentais são preditos por meio de equações de regressão, estabelecidas pela relação entre o conteúdo de energia e proteína no PCVZ dos animais referência.

Tabela 9.1 – Descrição do banco de dados para estimativa das exigências de proteína para ovinos em crescimento.

Estudo	n	Genótipo	Classe sexual	Sistema de criação	PB (g/kg MS)
Silva <i>et al.</i> (2010)	32	Santa Inês	Castrado	Pastejo	50-224
Pereira (2011)	30	Santa Inês	Não Castrado	Confinamento	129-174
Regadas Filho <i>et al.</i> (2011)	23	Santa Inês	Não Castrado	Confinamento	143-230
Costa <i>et al.</i> (2013)	47	Morada Nova	Não Castrado	Confinamento	47-181
Oliveira <i>et al.</i> (2014)	34	Santa Inês	Não Castrado	Confinamento	104-205
Pereira <i>et al.</i> (2016)	47	Somalis Brasileira	Não Castrado	Confinamento	88-202
Rodrigues <i>et al.</i> (2016)	19/17	SRD ¹	Não Castrado / Castrado	Confinamento	204-230
Pereira <i>et al.</i> (2017)	19/18	Santa Inês	Não Castrado / Castrado	Confinamento	154-236
Assis <i>et al.</i> (2018)	15/15	Dorper / Santa Inês	Não Castrado	Pastejo	–
Pereira <i>et al.</i> (2018)	15/16	Morada Nova	Não Castrado / Castrado	Confinamento	169-173
Mendes <i>et al.</i> (2021)	35	Dorper × Santa Inês	Não Castrado	Confinamento	139-150

n = Número de unidades experimentais; MS = Matéria seca; PB = Proteína bruta; ¹SRD = Sem padrão racial definido.

Tabela 9.2 – Estatística descritiva das variáveis utilizadas para estimativa das exigências de proteína para ovinos em crescimento.

Variável	n	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PC _i (kg)	245	18,02	39,60	9,00	7,69
PC _m (kg)	245	22,80	43,47	10,09	7,52
PC _f (kg)	299	25,81	54,40	9,90	9,13
PCVZ _i (kg)	245	13,76	32,36	5,46	6,39
PCVZ _m (kg)	245	18,36	34,51	7,45	6,22
PCVZ _f (kg)	299	20,22	41,66	6,34	7,67
PCVZ (kg ^{0,75})	245	8,78	14,24	4,51	2,22
GMD (kg/dia)	245	0,11	0,37	-0,10	0,07
GPCVZ (kg/dia)	245	0,09	0,31	-0,15	0,07
ER (Mcal kg ^{0,75} PCVZ/dia)	245	0,03	0,09	-0,05	0,02
PR (g/dia)	221	10,60	41,25	-26,15	10,08
CPM (g/dia)	220	90,23	212,04	15,49	42,97
Machos castrados					
PC _i (kg)	63	15,83	22,00	12,50	2,07
PC _m (kg)	63	19,37	25,95	14,88	2,78
PC _f (kg)	83	21,33	31,70	7,98	5,51
PCVZ _i (kg)	63	12,46	21,12	8,83	3,10
PCVZ _m (kg)	63	15,19	24,36	10,47	3,00
PCVZ _f (kg)	83	16,71	29,33	7,67	4,65
PCVZ (kg ^{0,75})	63	7,67	10,97	5,82	1,12
GMD (kg/dia)	63	0,09	0,23	-0,09	0,07
GPCVZ (kg/dia)	63	0,07	0,18	-0,10	0,06
ER (Mcal kg ^{0,75} PCVZ/dia)	63	0,03	0,07	-0,04	0,02
PR (g/dia)	63	12,34	39,91	-21,69	13,62
CPM (g/dia)	63	78,23	233,73	17,06	47,11

n = Número de unidades experimentais (animais); DP = Desvio padrão; PC_i = Peso corporal inicial; PC_m (kg) = Peso corporal médio; PC_f (kg) = Peso corporal final; PCVZ_i = Peso de corpo vazio inicial; PCVZ_m = Peso de corpo vazio médio; PCVZ_f = Peso de corpo vazio final; PCVZ^{0,75} = Peso de corpo vazio metabólico; GMD = Ganho médio diário; GPCVZ = Ganho de peso de corpo vazio; ER = Energia retida; PR = Proteína retida; CPM = Consumo de proteína metabolizável.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA MANTENÇA

Os requerimentos de proteína líquida para manutenção (PLm) têm sido descritos como a quantidade mínima de aminoácidos necessária para contrabalancear as perdas metabólicas endógenas de N pelo organismo do animal. O N excretado nas fezes é proveniente de enzimas e células epiteliais do trato gastrointestinal (TDI). As células microbianas formadas no intestino grosso e os fragmentos de células microbianas oriundas do rúmen também contribuem com o N fecal, mas não são perdas endógenas. O N urinário, por sua vez, é proveniente da oxidação de aminoácidos (*turnover proteico*), que resulta nos seguintes metabólitos: ureia, creatinina, bilirrubina, alantoína, ácido úrico, hipúrico, dentre outros (CSIRO, 2007; NRC, 2007), além das perdas por descamação e retidas no cabelo (NRC, 2007). A estimativa dessas perdas é relativamente difícil, principalmente no que diz respeito às perdas de N fecal, uma vez que é necessário separar as perdas microbianas das verdadeiras perdas metabólicas fecais, exigindo, assim, um procedimento laborioso.

Nos estudos iniciais com ovinos, as estimativas das perdas endógenas foram obtidas a partir de equações de regressão de consumo de N (g/kg^{0,75} PC) em função da retenção de N (g/kg^{0,75} PC). O resultado da multiplicação do intercepto da equação de regressão pelo fator 6,25 era considerado como PLm e o coeficiente de inclinação como a eficiência de utilização da proteína para manutenção (k_{pm}). No estudo conduzido por Gonzaga Neto *et al.* (2005) com cordeiros machos não castrados Morada Nova foi estimado o valor de

2,07 g/kg^{0,75} PC como exigência de PLm. Já Regadas Filho *et al.* (2011), em estudo com ovinos Santa Inês obtiveram 1,73 g/kg^{0,75} PC e Galvani *et al.* (2018) em estudo com Dorper × Santa Inês reportaram como PLm o valor de 1,79 g/kg^{0,75} PCJ.

A utilização do consumo de proteína bruta (CPB) para estimativa dos requerimentos de proteína acarreta maiores erros de predição, pois desconsidera-se o valor biológico da PB e da eficiência de síntese de proteína bruta microbiana (Herbster *et al.*, 2022). Dessa maneira, a utilização do consumo de proteína metabolizável (CPM) seria mais apropriada, pois inclui os aminoácidos verdadeiramente disponíveis no intestino delgado, oriundos da PBmic e da PNDR, baseando-se no crescimento do animal ao invés do balanço de nitrogênio (NRC, 2000; AFRC, 1993).

Proteína metabolizável para manutenção

No BR-CAPRINOS & OVINOS, para estimar a exigência de proteína metabolizável para manutenção (PMm), inicialmente, converteu-se o consumo de proteína bruta (CPB) em consumo de proteína metabolizável (CPM), conforme os passos abaixo:

- a) Estimativa da síntese de proteína bruta microbiana (PBmic) de acordo com a equação apresentada no capítulo 4:

$$\text{PBmic (g/dia)} = 12,7311 + 59,2956 \times \text{CNDT (kg/dia)} \quad \text{Eq. 9.1}$$

onde, CNDT corresponde ao consumo de nutrientes digestíveis totais (kg/dia).

- b) Considerou-se que PDR corresponde à PBmic.

c) A proteína microbiana verdadeiramente digestível ($PBmic_{vd}$) foi calculada conforme a seguinte equação:

$$PBmic_{vd} (\text{g/dia}) = PDR \times 0,64 \quad \text{Eq. 9.2}$$

onde, 0,64 é oriundo da premissa que a $PBmic$ contém 80% de aminoácidos com 80% de digestibilidade intestinal (Smuts, 1935).

d) O consumo de PNDR foi estimado pela diferença entre o CPB e consumo de PDR.

e) Para calcular o consumo de $PNDR_d$ foi considerado o valor fixo de digestibilidade de 80% da PNDR no intestino delgado, conforme a equação:

$$PNDR_d (\text{g/dia}) = PNDR \times 0,80 \quad \text{Eq. 9.3}$$

f) O CPM (g/dia) de cada animal foi calculado a partir da seguinte equação:

$$CPM (\text{g/dia}) = PBmic_{vd} + PNDR_d \quad \text{Eq. 9.4}$$

A partir das informações obtidas acima, a exigência de proteína metabolizável para manutenção (PMm , g/kg^{0,75} PCVZ/dia) foi estimada a partir da relação linear entre o CPM e o GPCVZ:

$$CPM = \beta_0 + \beta_1 \times GPCVZ \quad \text{Eq. 9.5}$$

onde, CPM é o consumo de proteína metabolizável (g/dia); GPCVZ corresponde ao ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); e β_0 e β_1 são os coeficientes da equação de regressão linear.

Esta equação é uma adaptação do modelo de Wilkerson *et al.* (1993), em que o GMD foi substituído pelo GPCVZ. Posteriormente, o intercepto (β_0) do modelo ajustado

foi dividido pela média geral do PCVZ^{0,75} dos animais, sendo este resultado assumido como PMm (g/kg^{0,75} PCVZ/dia).

A classe sexual não influenciou as exigências de PMm , por isso, foi gerada uma equação para ambos os sexos (Figura 1). No BR-CAPRINOS & OVINOS a exigência de PMm foi de 3,95 g/kg^{0,75} PCVZ/dia. Convertendo para as bases de PCJ^{0,75} (fator de conversão – 1,21) e PC^{0,75} g/dia (fator de conversão – 1,28), os valores obtidos foram de 3,26 g/kg^{0,75} e 3,08 g/kg^{0,75}/dia, respectivamente. Maiores detalhes, vide Capítulo 1.

A estimativa obtida para ovinos deslanados é maior do que a sugerida pelo NRC (2007) de 2,51 g/kg^{0,75} PCJ/dia. Wilkerson *et al.* (1993) registraram para bovinos de corte o valor de 3,8 g/kg^{0,75} PC/dia. Para caprinos em crescimento, os valores de 3,07 e 3,8 g/kg^{0,75} PC/dia foram observados por Luo *et al.* (2004) e Souza *et al.* (2021), respectivamente.

As diferenças nas exigências de PMm também podem ser atribuídas ao valor biológico da proteína dietética. Animais alimentados com forragens de baixo valor nutricional tendem a reter baixo nitrogênio (N) e, consequentemente, têm alta exigência de proteína (Goetsch *et al.*, 1997). Maiores exigências de PMm podem ser atribuídas às altas taxas do metabolismo dos órgãos viscerais e tecidos durante o crescimento do animal, o que aumenta os custos de manutenção quando comparados com animais que alcançaram o peso à maturidade (CSIRO, 1990).

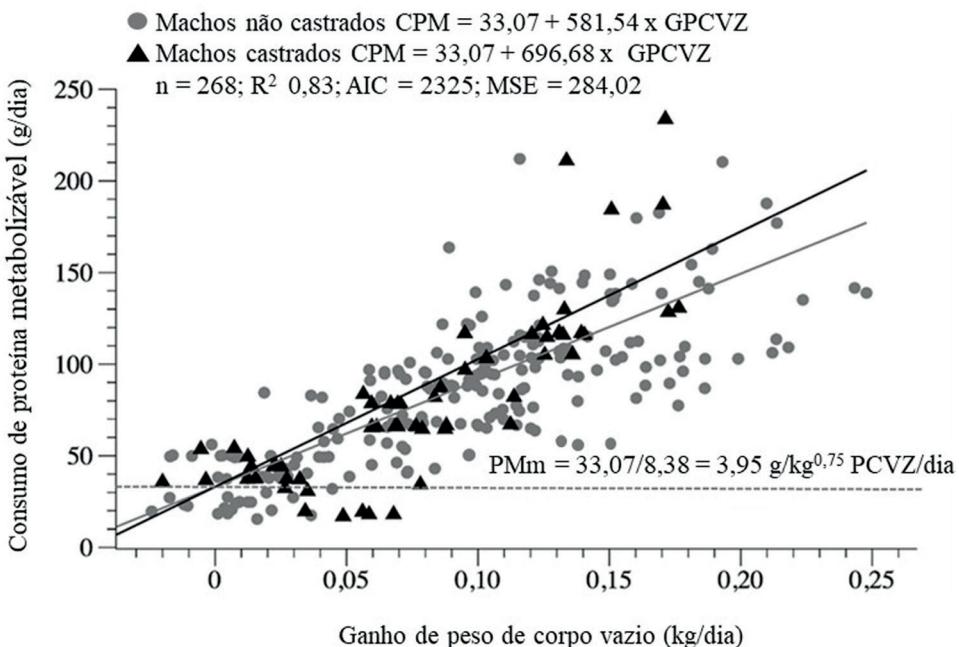


Figura 9.1 – Relação entre o consumo de proteína metabolizável e ganho de peso de corpo vazio em ovinos deslanados.

Proteína líquida para manutenção

No BR-CAPRINOS & OVINOS, a exigência de proteína líquida para manutenção (PLm) foi estimada a partir da regressão linear da proteína retida (PR) em função do CPM, conforme a equação abaixo:

$$PR = \beta_0 + \beta_1 \times CPM \quad \text{Eq. 9.6}$$

onde, PR corresponde a proteína retida em g/kg^{0,75} PCVZ/dia; CPM é o consumo de proteína metabolizável em g/kg^{0,75} PCVZ/dia; e β_0 equivale a PLm e β_1 corresponde a k_{pg} (Figura 9.2).

O valor estimado de PLm foi de 1,32 g/kg^{0,75} PCVZ/dia; convertidos para PCJ e PC, os valores obtidos foram 1,09 g/kg^{0,75} PCJ/dia e 1,03 g/kg^{0,75} PC/dia, respectivamente.

O valor de 1,09 g/kg^{0,75} PCJ/dia foi inferior ao valor preconizado pelo AFRC (1993), o qual sugere 2,18 g/kg^{0,75} PCJ/dia como requerimento de PLm. Essas diferenças podem estar relacionadas às metodologias empregadas para a estimativa dos requerimentos de PLm. O AFRC (1993) estima a PLm por meio de dietas livres de N e infusão intragástrica de N, que podem superestimar a excreção de N (CSIRO, 2007). Ambos NRC (2007) e CSIRO (2007) utilizam equações empíricas para estimar o N excretado nas fezes, urina e retido no cabelo ou lã, sendo o somatório desses valores correspondente ao requerimento de PLm. As variações na exigência de proteína podem estar relacionadas a fatores como raça, classe sexual, estado fisiológico e fatores ambientais.

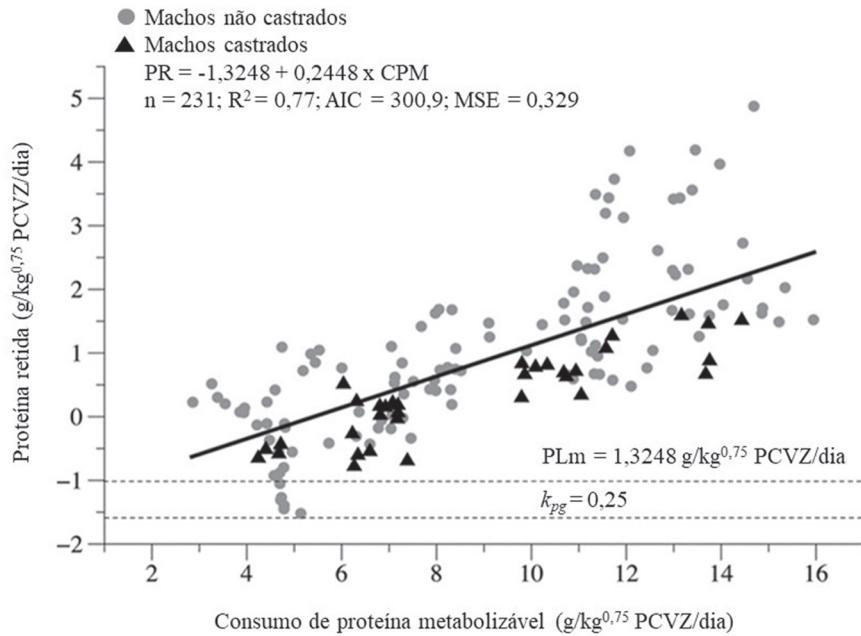


Figura 9.2 – Relação entre a proteína retida e o consumo de proteína metabolizável em ovinos deslanados.

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA GANHO DE PESO

A exigência de proteína líquida para o ganho de peso (PLg) é representada pelo *pool* de aminoácidos disponibilizados para o tecido animal, descontada do *pool* de aminoácidos, que é metabolicamente priorizado para contrabalancear as perdas endógenas de N pelo corpo, tais como perdas fecais, urinárias e dérmicas (CSIRO, 2007).

Conceitualmente, PLg representa a quantidade de PB retida no corpo à medida que os animais crescem, sendo determinada pelo potencial genético e pela influência na qual as condições de ambiente permitem sua expressão. Dentre os diversos fatores que podem afetar o crescimento animal, a nutrição se destaca, pois determina o aporte de nutrientes para retenção tecidual. Todavia, essa retenção não responde de forma direta ao suprimento de nutrientes. A retenção de proteína, por exemplo, é estabelecida até um limite máximo teórico, a partir do qual a deposição de gordura passa a ser o principal componente da retenção energética (Oddy & Sainz, 2002).

Os requerimentos líquidos de proteína para ganho são maiores para animais não castrados e aqueles de maturidade tardia (Geay, 1984). Dessa forma, machos não castrados depositam mais tecido magro no corpo em relação aos castrados (Vanderwert *et al.*, 1985), que por sua vez depositam mais do que fêmeas de mesma idade (Berg & Butterfield, 1976).

No BR-CAPRINOS & OVINOS a PLg (g/dia) foi estimada a partir da PR em função do GPCVZ e da ER, conforme a seguinte equação:

$$PR = \beta_0 + \beta_1 \times GPCVZ + \beta_2 \times ER \quad \text{Eq. 9.7}$$

onde, PR corresponde à proteína retida (g/kg^{0,75} PCVZ/dia); GPCVZ é o ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); ER corresponde à energia retida (Mcal/dia); e β_0 , β_1 e β_2 são os parâmetros da regressão linear.

Para estimativa da PLg somente animais alimentados acima da manutenção foram utilizados. A classe sexual influenciou as exigências de proteína para ganho e duas equações foram geradas (Figura 9.3).

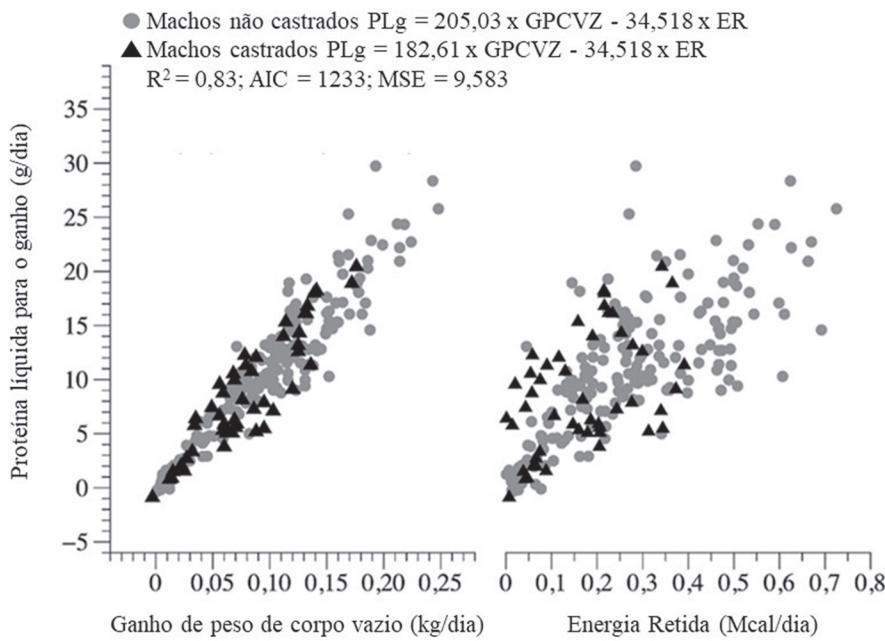


Figura 9.3 – Equações de predição de proteína líquida para ganho de peso em ovinos deslanados.

No BR-CAPRINOS & OVINOS, as exigências líquidas de proteína por unidade de ganho reduzem à medida que o animal cresce, sendo maior para machos não castrados quando comparado aos castrados. A redução da concentração de proteína corporal com o avanço da maturidade tem sido claramente estabelecida em ovinos deslanados (Oliveira *et al.*, 2017) e determina o decréscimo das exigências diárias para ganho de peso.

Os teores de água, proteína, gordura e minerais variam durante o crescimento do animal de maneira paralela aos tecidos muscular, adiposo e ósseo, sendo influenciados pela idade, peso corporal, genótipo, sexo, tamanho à maturidade e nível nutricional do animal. Dessa maneira, quando o animal é jovem a composição do ganho tem maiores proporções de proteína e água. À medida que o animal vai crescendo e atinge o peso à maturidade, a concentração de gordura aumenta, a proteína estabiliza no corpo vazio do animal e, consequentemente, a água diminui.

O peso à maturidade pode ser definido de várias maneiras, sendo que o ponto em que o acréscimo de proteína cessa pode ser

um bom preditor para estimativa do peso corporal maduro (Brody & Lardy, 1946; Fox & Black, 1984).

Em estudo com machos não castrados, Mendes *et al.* (2022) identificaram o ponto em que o conteúdo de proteína no corpo do animal se tornou constante, a estabilização do teor de proteína ocorreu quando o animal atingiu 47,33 kg de PCVZ, o que correspondeu a 54,03 kg de PC. Assim, o peso maduro é definido quando a massa de proteína atinge um platô. Além desse ponto, os animais podem ter uma deposição contínua de gordura e o acréscimo de proteína tender a zero.

A exigência de proteína metabolizável para ganho de peso (PMg) foi obtida a partir da razão entre a PLg e k_{pg} ($PMg = PLg/k_{pg}$). Várias estimativas da PMg têm sido obtidas a partir das previsões do conteúdo corporal de proteína, resultando em uma ampla variação de exigências de proteína metabolizável para ganho. As diferenças nas exigências de PM são comumente correlacionadas com a qualidade da dieta (Salah *et al.*, 2014). O teor de

fibra nas rações apresenta correlação com os requerimentos proteicos. Relações elevadas de volumoso em dietas são reportadas como fator que aumenta os requerimentos de proteína (Goetsch *et al.*, 1997). Áreas quentes associadas com alta umidade podem induzir a especificidades nas características dos alimentos, assim como nos animais. Altas temperaturas nos trópicos são correlacionadas com o aumento das exigências de aminoácidos na fase de crescimento (Buntig *et al.*, 1992), possivelmente devido a reciclagem de N necessária para regeneração tecidual.

Eficiência de utilização da proteína

A eficiência do uso de proteína representa a quantidade de aminoácidos absorvidos e utilizados para repor as perdas de proteína pelo corpo, retenção proteica nos tecidos e secreção de proteína no leite. A eficiência pode variar de acordo com o equilíbrio entre os aminoácidos metabolizados (Oldham, 1987), além da interação com o metabolismo energético (Schroeder & Titgemeyer, 2008).

Os Comitês adotam valores fixos para expressar a eficiência do uso de PM para manutenção como 0,75 para ARC, (1980); 0,70 para CSIRO, (2007); 1,0 para AFRC (1992; 1993) e 0,67 para NRC (2007). Para o crescimento foram reportadas eficiências de utilização de PM de 0,59 para AFRC, (1993) e 0,70 para ambos CSIRO (2007) e NRC, (2007).

Para que as exigências líquidas de proteína sejam convertidas em exigência de PM é preciso estimar a eficiência parcial de utilização da PM para manutenção (k_{pm}) e ganho (k_{pg}). O AFRC (1992, 1993), por exemplo, baseando-se no princípio de que as exigências proteicas de manutenção representam uma demanda obrigatória, assumiu que a PM absorvida é utilizada com máxima eficiência para reposição das perdas de N pelo organismo.

A eficiência de utilização da proteína para manutenção (k_{pm}) igual a 1,0 é biologicamente impossível. Como a proteína é utilizada pelos tecidos sob a forma de aminoácidos uma máxima eficiência teórica apenas seria possível se o *pool* de aminoácidos absorvidos correspondesse exatamente às quantidades necessárias pelos diferentes tecidos (Oldham, 1987; CSIRO, 2007), o que é hipotético. A eficiência de uso da proteína depende da fonte de PM para a sincronização entre o perfil de aminoácidos da proteína metabolizada e os tecidos relacionados à manutenção, portanto, positivamente correlacionada com o valor biológico da proteína (Cantalapiedra-Hijar *et al.*, 2015). Além disso, a estimativa do consumo de proteína metabolizável pode contribuir para a variabilidade observada nas eficiências de utilização das proteínas. A imprecisão associada aos modelos utilizados para estimar a ingestão de PNDR e os valores constantes usados para calcular PBmic_{vd} e PNDR_d podem contribuir para a subestimação ou superestimação do CPM, o que afeta diretamente as estimativas de k_{pm} .

O BR-CAPRINOS & OVINOS sugere como k_{pm} e k_{pg} os valores de 0,34 e 0,25, respectivamente. Esses valores são compatíveis com a ideia de que a eficiência de uso da proteína metabolizável é influenciada pelo suprimento de energia aos animais, o que, possivelmente, está associado à redução do uso de aminoácidos para gliconeogênese hepática na medida em que o consumo de energia aumenta. No entanto, é argumentado que a eficiência de utilização de uma mistura de aminoácidos balanceada seja também uma característica do animal (Oldham, 1987) e, desta forma, poderia variar em função de fatores como raça e estágio fisiológico. A incerteza da real eficiência de uso da PM para ganho e manutenção, todavia, pode ampliar a variabilidade entre as recomendações.

RESUMO DAS EQUAÇÕES E EXEMPLO PRÁTICO

O sumário das equações recomendadas para a predição das exigências nutricionais de proteína para ovinos deslanados em crescimento é apresentado na Tabela 9.3.

Tabela 9.3 – Resumo dos modelos de estimativa das exigências de proteína para ovinos deslanados.

Item	Equações	Unidade
PCJ	$-0,547 + 0,9313 \times PC$	kg
PCVZ	$-1,4944 + 0,8816 \times PCJ$	kg
GPCVZ	$0,906 \times GMD$	kg/dia
PLg (Não castrados)	$205,03 \times GPCVZ - 34,518 \times ER$	g/dia
PLg (Castrados)	$182,61 \times GPCVZ - 34,518 \times ER$	g/dia
k_{pm}	34	%
k_{pg}	25	%
PMg	PLg/k_{pg}	g/dia
PMm	$3,95 \times PCVZ^{0,75}$	g/dia
PMT	$PMm + PMg$	g/dia
PBmic	$12,7311 + (59,2956 \times CNDT)$	g/dia
PDR	PBmic	g/dia
PNDR	$[PMT - (PDR \times 64)] / 0,80$	g/dia
PB	$PDR + PNDR$	g/dia

PC = Peso corporal; PCJ = Peso corporal em jejum; PCVZ = Peso de corpo vazio; GPCVZ = Ganho de peso de corpo vazio; PLg = Proteína líquida para ganho; k_{pm} = Eficiência de utilização da proteína para manutenção; k_{pg} = Eficiência de utilização da proteína para ganho; PMg = Proteína metabolizável para ganho de peso; PMm = Proteína metabolizável para manutenção; PMT = Proteína metabolizável total; PBmic = Proteína bruta microbiana; PDR = Proteína degradável no rúmen; PNDR = Proteína não degradável no rúmen; PB = Proteína bruta.

A fim de demonstrar a aplicação dos modelos apresentados neste capítulo, será realizada a estimativa das exigências de proteína para um macho não castrado e castrado. Dessa forma, considerando um macho não castrado de 30 kg, ganhando 0,150 kg/dia, em confinamento, tem-se:

- $PCJ = -0,547 + 0,9313 \times PC = -0,547 + 0,9313 \times 30 = 27,392 \text{ kg}$
- $PCVZ = -1,4944 + 0,8816 \times PCJ = -1,4944 + 0,8816 \times 27,392 = 22,654 \text{ kg}$
- $GPCVZ = 0,906 \times GMD = 0,906 \times 0,150 = 0,136 \text{ kg/dia}$
- $CMS = -145,68 + 77,3709 \times PC^{0,75} + 1,3985 \times GMD = -145,68 + 77,3709 \times 30^{0,75} + 1,3985 \times 150 = 1,056 \text{ kg/dia}$
- $ELg = 0,248 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,8767} = 0,248 \times 22,654^{0,75} \times 0,136^{0,8767} = 0,448 \text{ Mcal/dia}$
- $PLg = 205,03 \times GPCVZ - 34,518 \times ER = 205,03 \times 0,136 - 34,518 \times 0,448 = 12,420 \text{ g/dia}$

- $k_{pg} = 0,25$
- $PMm = 3,95 \times PCVZ^{0,75} = 3,95 \times 22,654^{0,75} = 41,016 \text{ g/dia}$
- $PMg = PLg/k_{pg} = 12,420/0,25 = 49,680 \text{ g/dia}$
- $PMT = PMm + PMg = 41,016 + 49,680 = 90,696 \text{ g/dia}$
- $PBmic = 12,7311 + (59,2956 \times CNDT) = 12,7311 + (59,2956 \times 0,694) = 53,882 \text{ g/dia}$
- $PDR = PBmic = 53,882 \text{ g/dia}$
- $PNDR = [PMT - (PBmic \times 0,64)]/0,80 = [90,696 - (53,882 \times 0,64)]/0,80 = 70,264 \text{ g/dia}$
- $PB = PDR + PNDR = 53,882 + 70,264 = 124,146 \text{ g/dia}$
- $PB = (PB/CMS) \times 100 = (124,146/1056) \times 100 = 12 \% PB$

Considerando um macho castrado de 30 kg, ganhando 0,150 g/dia, em confinamento, tem-se:

- $PCJ = -0,547 + 0,9313 \times PC = -0,547 + 0,9313 \times 30 = 27,392 \text{ kg}$
- $PCVZ = -1,4944 + 0,8816 \times PCJ = -1,4944 + 0,8816 \times 27,392 = 22,654 \text{ kg}$
- $GPCVZ = 0,906 \times GMD = 0,906 \times 0,150 = 0,136 \text{ kg/dia}$
- $CMS = -145,68 + 77,3709 \times PC^{0,75} + 1,3985 \times GMD = -145,68 + 77,3709 \times 30^{0,75} + 1,3985 \times 150 = 1,056 \text{ kg/dia}$
- $ELg = 0,248 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,8300} = 0,248 \times 22,654^{0,75} \times 0,136^{0,8300} = 0,492 \text{ Mcal/dia}$
- $PLg = 182,61 \times GPCVZ - 34,518 \times ER = 182,61 \times 0,136 - 34,518 \times 0,491 = 7,852 \text{ g/dia}$
- $k_{pg} = 0,25$
- $PMm = 3,95 \times PCVZ^{0,75} = 3,95 \times 22,654^{0,75} = 41,016 \text{ g/dia}$
- $PMg = PLg/k_{pg} = 7,852/0,25 = 31,408 \text{ g/dia}$
- $PMT = PMm + PMg = 41,017 + 31,426 = 72,424 \text{ g/dia}$
- $PBmic = 12,7311 + (59,2956 \times CNDT) = 12,7311 + (59,2956 \times 0,734) = 56,254 \text{ g/dia}$
- $PDR = PBmic = 56,254 \text{ g/dia}$
- $PNDR = [PMT - (PBmic \times 0,64)]/0,80 = [72,424 - (56,254 \times 0,64)]/0,80 = 45,527 \text{ g/dia}$
- $PB = PDR + PNDR = 56,254 + 45,527 = 101,781 \text{ g/dia}$
- $PB = (PB/CMS) \times 100 = (101,781/1056) \times 100 = 10,00 \% PB$

TABELAS DE EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA OVINOS

As Tabelas 9.4 e 9.5 apresentam os valores estimados de proteína líquida e metabolizável para manutenção e ganho de peso, bem como as exigências totais de proteína bruta para machos não castrados e castrados em crescimento com diferentes pesos corporais e níveis de ganho de peso diário, respectivamente.

Tabela 9.4 – Estimativas das exigências nutricionais de proteína para ovinos deslanados machos não castrados em crescimento.

	PC (kg)	PCJ (kg)	PCVZ (kg)	GMD (kg)	GPCVZ (kg)	CMS (g/dia)	PLm (g/dia)	PMm (g/dia)	PLg (g/dia)	PMg (g/dia)	PMT (g/dia)	PDR (g/dia)	PNDR (g/dia)	PB (g/dia)
10	8,766	6,234	0,100	0,091	429,259	5,208	15,584	14,516	58,064	73,648	25,598	71,782	97,180	
	8,766	6,234	0,150	0,136	499,184	5,208	15,584	22,016	88,064	103,648	28,326	106,899	135,225	
15	13,423	10,339	0,100	0,091	583,890	7,611	22,775	12,617	50,468	73,243	31,528	66,331	97,859	
	13,423	10,339	0,150	0,136	653,815	7,611	22,775	19,289	77,156	99,931	35,560	96,466	132,026	
20	18,079	14,444	0,100	0,091	725,899	9,780	29,266	10,891	43,564	72,830	36,864	61,546	98,410	
	18,079	14,444	0,150	0,136	795,824	9,780	29,266	16,838	67,352	96,618	42,023	87,154	129,177	
25	22,736	18,549	0,100	0,091	859,203	11,798	35,305	9,303	37,212	72,517	41,845	57,170	99,015	
	22,736	18,549	0,150	0,136	929,128	11,798	35,305	14,560	58,240	93,545	48,131	78,426	126,557	
30	27,392	22,654	0,100	0,091	985,957	13,707	41,016	7,785	31,140	72,156	46,530	52,971	99,501	
	27,392	22,654	0,150	0,136	1055,880	13,707	41,016	12,420	49,680	90,696	53,882	70,264	124,146	
35	32,049	26,760	0,100	0,091	1107,510	15,531	46,474	6,335	25,340	71,814	51,036	48,939	99,975	
	32,049	26,760	0,150	0,136	1177,440	15,531	46,474	10,349	41,396	87,870	59,337	62,368	121,705	
40	32,049	26,760	0,200	0,181	1247,360	15,531	46,474	14,605	58,420	104,894	67,283	77,291	144,574	
	36,705	30,865	0,100	0,091	1224,790	17,285	51,725	4,954	19,816	71,541	55,365	45,134	100,499	
40	36,705	30,865	0,150	0,136	1294,710	17,285	51,725	8,381	33,524	85,249	64,555	54,917	119,472	
	36,705	30,865	0,200	0,181	1364,640	17,285	51,725	12,050	48,200	99,925	73,390	66,194	139,584	

PC = Peso corporal; PCJ = Peso corporal de jejum; PCVZ = Peso de corpo vazio; GMD = Ganhão médio diário; GCVZ = Ganhão de peso de corpo vazio; CMS = Consumo de matéria seca; PLm = Exigência de proteína líquida para manutenção; PMm = Exigência de proteína metabolizável para manutenção; PLg = Exigência de proteína metabolizável para manutenção; PMT = Exigência de proteína metabolizável total; PDR = Proteína degradável no rúmen; PNDR = Proteína não degradável no rúmen; PB = Proteína bruta.

Tabela 9.5 – Estimativas das exigências nutricionais de proteína para ovinos deslanados machos castrados em crescimento.

PC (kg)	PCJ (kg)	PCVZ (kg)	GMD (kg)	GPCVZ (kg)	CMS (g/dia)	PLm (g/dia)	PMm (g/dia)	PLg (g/dia)	PMg (g/dia)	PMT (g/dia)	PDR (g/dia)	PNDR (g/dia)	PB (g/dia)
10	8,766	6,234	0,100	0,091	429,259	5,208	15,584	11,992	47,968	63,552	26,369	58,345	84,714
	8,766	6,234	0,150	0,136	499,184	5,208	15,584	18,380	73,520	89,104	29,275	87,960	117,235
	8,766	6,234	0,200	0,181	569,109	5,208	15,584	24,872	99,488	115,072	32,002	118,238	150,240
15	13,423	10,339	0,100	0,091	583,890	7,611	22,775	9,852	39,408	62,183	32,714	51,558	84,272
	13,423	10,339	0,150	0,136	653,815	7,611	22,775	15,412	61,648	84,423	36,924	75,990	112,914
	13,423	10,339	0,200	0,181	723,740	7,611	22,775	21,109	84,436	107,211	40,897	101,296	142,193
20	18,079	14,444	0,100	0,091	725,899	9,780	29,266	7,953	31,812	61,078	38,347	45,670	84,017
	18,079	14,444	0,150	0,136	795,824	9,780	29,266	12,719	50,876	80,142	43,802	65,136	108,938
	18,079	14,444	0,200	0,181	865,749	9,780	29,266	17,692	70,768	100,034	48,901	85,922	134,823
25	22,736	18,549	0,100	0,091	859,203	11,798	35,305	6,159	24,636	59,941	43,624	40,027	83,651
	22,736	18,549	0,150	0,136	929,128	11,798	35,305	10,234	40,936	76,241	50,147	55,184	105,331
	22,736	18,549	0,200	0,181	999,053	11,798	35,305	14,551	58,204	93,509	56,313	71,836	128,149
30	27,392	22,654	0,100	0,091	985,957	13,707	41,016	4,467	17,868	58,884	48,605	34,721	83,326
	27,392	22,654	0,150	0,136	1055,880	13,707	41,016	7,852	31,408	72,424	56,254	45,527	101,781
	27,392	22,654	0,200	0,181	1125,810	13,707	41,016	11,548	46,192	87,208	63,429	58,267	121,696
35	32,049	26,760	0,100	0,091	1107,510	15,531	46,474	2,845	11,380	57,854	53,408	29,591	82,999
	32,049	26,760	0,150	0,136	1177,440	15,531	46,474	5,608	22,432	68,906	62,006	36,528	98,534
	32,049	26,760	0,200	0,181	1247,360	15,531	46,474	8,683	34,732	81,206	70,129	45,404	115,533
40	36,705	30,865	0,100	0,091	1224,790	17,285	51,725	1,292	5,168	56,893	57,974	24,737	82,711
	36,705	30,865	0,150	0,136	1294,710	17,285	51,725	3,434	13,736	65,461	67,580	27,762	95,342
	36,705	30,865	0,200	0,181	1364,640	17,285	51,725	5,921	23,684	75,409	76,652	32,940	109,592

PC = Peso corporal; PCJ = Peso corporal de jejum; PCVZ = Peso de corpo vazio; GMD = Ganhão médio diário; GPCVZ = Ganhão de peso de corpo vazio; CMS = Consumo de matéria seca; PLm = Exigência de proteína líquida para manutenção; PMm = Exigência de proteína metabolizável para manutenção; PLg = Exigência de proteína metabolizável para manutenção; PMg = Exigência de proteína metabolizável para manutenção; PMt = Exigência de proteína metabolizável total; PDR = Proteína degradável no rúmen; PNDR = Proteína não degradável no rúmen; PB = Proteína bruta.

REFERÊNCIAS

- Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 159p, 1993.
- Agricultural and Food Research Council – AFRC. Technical Committee on Responses to Nutrients. Report No. 9. *Nutritive requirements of ruminant animal: protein*. Nutr. Abstr. and Reviews. Series B. 62:787–835, 1992.
- Agricultural Research Council – ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. 3rded. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK, 351p, 1980.
- Assis, D. S. M.; Silva, A. M. A.; Nascimento Júnior, N. G.; Bezerra, L. R.; Pereira Filho, J. M.; Oliveira, R. L.; Pereira, E. S.; Nóbrega, G. H.; Moura, J. F. Dorper × Santa Ines F1 crossbred lambs under different grazing times and supplement levels in tropical regions: performance and macromineral requirements. *Italian Journal of Animal Science*, 17:931-940, 2018.
- Berg, R.T.; Butterfield, R.M. *New concepts of cattle growth*. Sydney: Sydney University, 240p, 1976.
- Broderick, G. A. Quantifying forage protein quality. In: Fahey, G. C. Jr.; Collins, M. D.; Mertens, D. R. and Moser, L. E. (Edit.). *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. American Society of Agronomy. Madison, WI, 200-228, 1994.
- Brody, S.; Lardy, H. A. Bioenergetics and growth. *The Journal of Physical Chemistry*, v. 50, n. 2, p. 168-169, 1946.
- Bunting, L. D.; Sticker, L. S.; Wozniak, P. J. Effect of ruminal escape protein and fat on nitrogen utilization in lambs exposed to elevated ambient temperatures. *Journal of animal science*, 70:1518-1525, 1992.
- Cantalapiedra-Hijar, Ortigues-Marty, I.; Sepchat, B.; Agabriel, J.; Huneau, J.F.; Fouillet, H. Diet-animal fractionation of nitrogen stable isotopes reflects the efficiency of nitrogen assimilation in ruminants. *British Journal of Nutrition*, 113:1158-1169, 2015.
- 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*, 8:2304-2323, 1992.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. Collingwood, VIC: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 270 p, 2007.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO. *Feeding Standards for Australian Livestock: Ruminants*. Melbourne, Australia. 266 p, 1990.
- Costa, M. R. G. F.; Pereira, E.S.; Silva, A.M.A.; Paulino, P.V.R.; Mizubuti, I.Y.; Pimentel, P.G.; Pinto, A.P.; Rocha Junior, J. N. Body composition and net energy and protein requirements of Morada Nova lambs. *Small Ruminant Research*, 114:206-213, 2013.
- Fox, D. G.; Barry, M. C. Predicting nutrient requirements and supply for cattle with the Cornell net carbohydrate and protein system. *Simpósio Internacional sobre Exigências Nutricionais de Ruminantes*, 77-101, 1995.
- Fox, D. G.; Black, J. R. A system for predicting body composition and performance of growing cattle. *Journal of Animal Science*, 58:725-739, 1984.
- Galvani, D. B.; Pires, A. V.; Susin, I.; Gouvêa, V. N.; Berndt, A.; Abdalla, A. L.; Tedeschi, L. O. Net protein requirements and metabolizable protein use for growing ram lambs fed diets differing in concentrate level and roughage source. *Small Ruminant Research*, 165:79-86, 2018.
- Geay, Y. Energy and protein utilization in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 58:766-778, 1984.
- Goetsch, A. L.; Patil, A. R.; Galloway, D. L.; Kouakou, B.; Wang, Z. S.; Park, K. K.; Rossi, J. E. Net flux of nutrients across splanchnic tissues in wethers consuming grasses of different sources and physical forms ad libitum. *British Journal of Nutrition*, 77:769-781, 1997.
- Gonzaga Neto, S.; Sobrinho, A. G. S.; Resende, K. T.; Zeola, N. M. B. L.; Silva, A. M. A.; Marques, C. A. T.; Leão, A. G. Body composition and nutritional requirements of protein and energy for Morada Nova Lambs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:2446-2456, 2005.
- Herbster, C.J.L.; Mendes, S.M.; Oliveira, A.P.; Marcondes, M.I.; Rodrigues, J.P.P.; Silva, L.P.; Santos, S.A.; Teixeira, I.A.M.A.; Pereira, E.S. *Protein requirements of hair sheep raised in warm areas: a multi-study approach*. Scientific Reports. 12:18154, 2022.
- Institut National de la Recherche Agronomique – INRA. *Feeding System for Ruminants*. Wageningen: Wageningen, Academic Publishers, 728p, 2018.
- 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.
- Luo, J.; Goetsch, A.L.; Nsahlai, I.V.; Johnson, Z.B.; Sahlu, T.; Moore, J.E.; Ferrell, C.L.; Galyean, M.L.; Owens, F.N. Maintenance energy requirements of goats: predictions based on observations of heat and recovered energy. *Small Ruminant Research*, 53:221-230, 2004.

- Mendes, M. S.; Lôbo, R. N. B.; Herbster, C. J. L.; Souza, J. G.; Rodrigues, J. P. P.; Marcondes, M. I.; Pereira, E. S. Determination of the mature weight of intact male hair sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 159:757-761, 2022.
- Mendes, M. S.; Souza, J. G.; Herbster, C. J. L.; Brito Neto, A. S.; Silva, L. P.; Rodrigues, J. P. P.; Marcondes, M. I.; Oliveira, R. L.; Bezerra, L. R.; Pereira, E. S. Maintenance and growth requirements in male Dorper × Santa Ines lambs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8:676956, 2021.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Updated 7th. edition. Washington, DC: National Academy Press, 244 p, 1996.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Washington, DC: National Academy Press, 244 p, 2000.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 6th. edition. Washington, D.C: National Academy Press, 1989.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids*. Washington, DC: National Academy Press, 362p, 2007.
- Oddy, V. H.; Sainz, R. D. Nutrition for sheep meat production. In: FREER, M.; DOVE, H. (Edit.) *Sheep nutrition*. Wallingford, UK. CABI Publishing, 237-262, 2002.
- Oldham, J. D. Efficiencies of amino acid utilization. In: R. Jarrige and G. Alderman (Edit.), *Feed Evaluation and Protein Requirement Systems for Ruminants*. Commission of the European Communities, Luxembourg, 171-186, 1987.
- Oliveira, A. P.; Pereira, E. S.; Biffani, S.; Medeiros, A. N.; Silva, A. M. A.; Oliveira, R. L.; Marcondes, M. I. Meta-analysis of the energy and protein requirements of hair sheep raised in the tropical region of Brazil. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1:52-60 2017.
- Oliveira, A. P.; Pereira, E. S.; Pinto, A. P.; Silva, A. M. A; Carneiro, M. S. S.; Mizubuti, I. Y.; Ribeiro, E. L. A.; Campos, A. C. N.; Gadelha, C. R. F. Estimativas dos requisitos nutricionais e utilização do modelo Small Ruminant Nutrition System para ovinos deslanados em condições semiáridas. *Semina: Ciências Agrárias*, 35:1985-1997, 2014.
- Pereira, E. S., Fontenele, R. M., de Medeiros, A. N., Oliveira, R. L., Campos, A. C. N., Heinzen, E. L., Bezerra, L. R. Requirements of protein for maintenance and growth in ram hair lambs. *Tropical animal health and production*, 48, 1323-1327, 2016.
- Pereira, E. S.; Lima, F. W. R.; Marcondes, M. I.; Rodrigues, J. P. P.; Campos, A. C. N.; Silva, L. P.; Bezerra, L. R.; Pereira, M. W. F.; Oliveira, R. L. Energy and protein requirements of Santa Ines lambs, a breed of hair sheep. *Animal*, 11:2165-2174, 2017.
- Pereira, E. S.; Pereira, M. W. F.; Marcondes, M. I.; Medeiros, A. N.; Oliveira, R. L.; Silva, L. P.; Mizubuti, I.Y.; Campos, A. C. N.; Heinzen, E. L.; Veras, A. S. C.; Bezerra, L. R.; Araújo, T. L. A. C. Maintenance and growth requirements in male and female hair lambs. *Small Ruminant Research*, 159:75-83, 2018.
- Pereira, G. M. *Exigências de proteína e energia de carneiros Santa Inês na região semiárida brasileira*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Campina Grande, 2011.
- Regadas Filho, J. G. L.; Pereira, E. S.; Villarroel, A. B. S.; Pimentel, P. G.; Medeiros, A. N.; Fontenele, R. M.; Maia, I. S. G. Composição corporal e exigências líquidas proteicas de ovinos Santa Inês em crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:1339-1346, 2011.
- Rodrigues, R. T. S.; Chizzotti, M. L.; Martins, S. R.; Silva, I. F.; Queiroz, M. A. A.; Silva, T. S.; Busato, K. C.; Silva, A. M. A. Energy and protein requirements of non-descript breed hair lambs of different sex classes in the semiarid region of Brazil. *Tropical Animal Health and Production*, 48:87-94, 2016.
- Salah, N.; Sauvant, D.; Archimède, H. Nutritional requirements of sheep, goats and cattle in warm climates: a meta-analysis. *Animal*, 8:1439-47, 2014.
- 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.
- Silva, A. M. A.; Santos, E. M.; Pereira Filho, J. M.; Bakke, O. A; Gonzaga Neto, S.; Costa, R. G. Body composition and nutricional requirements of protein and energy for body weight gain of lambs browsing in a tropical semiarid region. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39:210-216, 2010.
- 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, A. P.; Vargas, J. A., Fernandes, M. H., Almeida, A. K., Resende, K. T., & Teixeira, I. A. Metabolizable Protein: 2. Requirements for maintenance in growing Saanen goats. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 8, p. 650203, 2021.
- Tedeschi, L. O.; Fox, D. G.; Fonseca, M. A.; Cavalcanti, L. F. L. Models of protein and amino acid requirements for cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44:109-132, 2015.

Vanderwert, W.; Berger, L. L.; McKeith, F. K.; Baker, A. M.; Gonyou, H. W.; Bechtel, P. J. Influence of zeranol implants on growth, behavior and carcass traits in Angus and Limousin bulls and steers. *Journal of Animal Science*, 61:310-319, 1985.

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.

10

Exigências de minerais para ovinos deslanados em crescimento

Elzania Sales Pereira, Caio Julio Lima Herbster, Matheus Lima Correa Abreu, Marcos Inácio Marcondes, Luciano Pinheiro da Silva, Amanda Cardoso Rocha, Luciano da Silva Cabral, Evandra da Silva Justino, Leilson Rocha Bezerra, Ronaldo Lopes Oliveira e Antonio de Sousa Brito Neto

INTRODUÇÃO

Os minerais são elementos essenciais que desempenham funções específicas no organismo do animal (Underwood, 1981), constituindo cerca de 3-5% do peso corporal (PC) e requeridos para manutenção e produção (McDowell, 2003). Dietas que apresentam desequilíbrios nas concentrações de minerais (deficiências ou quantidades excessivas) resultam em danos à saúde e à produtividade (Beede, 1991). Fatores inerentes à alimentação, biodisponibilidade e forma química do elemento, juntamente com aspectos relacionados ao antagonismo e agonismo entre minerais, raça ou genótipo e estágio de crescimento podem afetar as necessidades dietéticas destes elementos.

Os minerais exigidos em maiores quantidades (g) são referidos como macrominerais e, nesse grupo, estão inclusos o cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg), sódio (Na), po-

tássio (K), cloro (Cl) e enxofre (S). Aqueles elementos requeridos em menores quantidades (mg ou µg) são referidos como elementos traços ou microminerais. Neste grupo estão inclusos o cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobalto (Co), cromo (Cr), iodo (I), molibdênio (Mo) e selênio (Se), além de outros elementos traços descobertos a partir de 1970, como estanho (Sn), vanádio (V), flúor (F), silício (Si), níquel (Ni), arsênio (As), alumínio (Al), boro (B), chumbo (Pb), bromo (Br), germânio (Ge), lítio (Li) e rubídio (Rb).

Os minerais são expressos em g ou mg/kg de tecido animal. Desempenham funções vitais no organismo, como função estrutural, constituintes dos fluidos corporais (Suttle, 2010). Adicionalmente, exercem função primordial no equilíbrio ácido-base, controle da pressão osmótica (NRC, 2001), atuam como cofatores enzimáticos, na formação de metaloenzimas (NRC, 1980) e participam ainda na transmissão de impulsos nervosos (NASEM, 2016).

Uma abordagem factorial tem sido utilizada para descrever os requisitos de macro e microminerais (ARC, 1980). O método implica na estimativa dos requerimentos de manutenção, crescimento, gestação e lactação separadamente e depois somadas para estimar a exigência líquida total. Desta forma, a partir da soma das exigências para manutenção e produção, dividida pelo coeficiente de absorção (NRC, 2007) ou retenção (BR-CORTE, 2016) do mineral, obtém-se as exigências dietéticas.

A grande vantagem do uso do método factorial é a possibilidade de os requisitos serem preditos para uma grande variação de circunstâncias produtivas.

BANCO DE DADOS

Para estimativa das exigências de minerais para ovinos utilizou-se de um total de seis estudos que continham informações de 139 machos não castrados, 75 machos castrados e 34 fêmeas. Totalizou-se 248 observações (Tabela 10.1). Para estimativas das exigências de macro e microminerais para manutenção foram utilizadas 52 observações e o efeito de classe sexual não foi testado. Para estimativa das exigências de ganho de peso foram utilizadas 248 observações e o efeito de sexo foi testado.

Tabela 10.1 – Descrição dos estudos que compõem o banco de dados utilizado para a estimativa das exigências líquidas de minerais para manutenção e crescimento de ovinos deslanados.

Estudo	n	Genótipo	Classe sexual	PC (kg)	PCVZ (kg)
Cabral <i>et al.</i> (2008)	24	Santa Inês	Castrado	17,90-24,40	13,13-22,65
Pereira <i>et al.</i> (2016)	40	Morada Nova	Não Castrado	10,12-31,62	6,58-27,10
	19		Não Castrado	10,64-33,60	9,77-30,10
Silva <i>et al.</i> (2016)	17	Cruzados	Castrado	7,97-31,70	7,68-29,44
	18		Fêmea	7,98-29,40	7,68-26,28
Pereira <i>et al.</i> (2017) ¹	19	Santa Inês	Não Castrado	11,20-33,20	8,30-24,57
	18		Castrado	12,60-31,56	8,50-29,30
Pereira <i>et al.</i> (2018a)	47	Somalis Brasileira	Não Castrado	10,90-35,74	7,95-31,18
Pereira <i>et al.</i> (2018b) ¹	14	Morada Nova	Não Castrado	13,66-38,28	9,62-29,38
	16		Castrado	12,54-31,25	8,66-23,08
	16		Fêmea	12,74-26,95	8,89-21,71

n = Número de observações; PC = Peso corporal; PCVZ = Peso de corpo vazio; ¹Estudos utilizados para estimativa das exigências líquidas de manutenção.

Exigências Líquidas de Minerais para Manutenção (MLm)

Para estimativa das MLm, uma regressão linear foi gerada a partir da relação entre minerais retidos e consumidos, conforme o seguinte modelo:

$$MR = \beta_0 + \beta_1 \times MI \quad \text{Eq. 10.1}$$

onde: MR corresponde ao mineral retido (g, mg ou μg /kg PCVZ/dia); MI corresponde ao mineral ingerido (g, mg ou μg /kg PCVZ/dia); β_0 é considerado a exigência líquida de cada mineral para a manutenção (g, mg ou μg /kg PCVZ/dia); e β_1 corresponde ao coeficiente de inclinação, considerado o coeficiente de retenção (CR).

Nas Tabelas 10.2 e 10.3 estão apresentadas a descrição dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de macro e microminerais para manutenção.

A exigência líquida para manutenção representa a quantidade do mineral necessária para repor as perdas endógenas (fecal e urinária) inevitavelmente perdidas pelo corpo. Ademais, as perdas endógenas dos minerais incluem a fração do mineral excretada via saliva, secreções digestivas (estomacal, biliar, pancreática e intestinal), bem como decorrentes da descamação do epitélio gastrointestinal que não foram reabsorvidas.

Tabela 10.2 – Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) para manutenção de ovinos deslanados.

Variáveis	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
PC (kg)	52	19,33	2,90	38,28	11,20
PCVZ (kg)	52	14,24	2,42	29,38	8,30
Consumo (mg/dia)					
Ca	52	142,91	42,92	232,47	77,31
P	52	89,84	24,3	149,78	59,05
Mg	52	63,58	16,34	97,78	37,55
Na	52	170,64	40,57	255,66	105,72
K	52	441,30	96,12	622,32	278,37
Retenção (mg/dia)					
Ca	52	55,56	30,67	124,92	2,99
P	52	41,53	21,98	87,97	2,87
Mg	52	2,78	2,20	8,90	-0,31
Na	52	6,66	3,81	13,35	-0,17
K	52	10,39	5,29	19,43	0,09

n = Número de observações; DP = Desvio padrão; PC = Peso corporal; PCVZ = Peso de corpo vazio.

Tabela 10.3 – Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de microminerais (Cu, Fe, Mn, Zn, Co e Cr) para manutenção de ovinos deslanados.

Itens	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
PC (kg)	52	19,33	2,90	38,28	11,20
PCVZ (kg)	52	14,24	2,42	29,38	8,30
Consumo (μg/dia)					
Cu	52	312,25	68,16	139,46	33,06
Fe	52	3519,4	1298,4	6489,9	1821,8
Mn	52	1755,3	538,2	2750,9	913,7
Zn	52	1303	311,7	1926,9	797,2
Co	52	79,4	24,7	139,5	33,1
Cr	52	28,46	17,03	59,80	3,66
Retenção (μg/dia)					
Cu	52	35,76	28,90	94,26	- 29,34
Fe	52	418,6	385,3	1734,3	- 262,2
Mn	52	6,7	6,9	32,7	- 2,23
Zn	52	178,4	105,2	416,2	1,41
Co	52	4,8	6,1	19,5	- 5,1
Cr	52	10,28	8,67	36,58	- 1,23

n = Número de observações; DP = Desvio padrão; PC = Peso corporal; PCVZ = Peso de corpo vazio.

As exigências em minerais podem ser determinadas pelo método das perdas endógenas, pelo uso de radioisótopos e pelo abate comparativo. Para estimativa das exigências de minerais para manutenção, os valores de perdas endógenas nas fezes e urina podem ser estimados pelas regressões das produções fecais ou urinárias em função da ingestão de determinado mineral.

As demandas dos macrominerais para ovinos varia entre os diferentes comitês (ARC, 1980; AFRC, 1991; NRC, 1985; CSIRO, 2007; INRA, 2018). Os principais

fatores que contribuem para essas diferenças estão nos valores adotados para as exigências de manutenção e o coeficiente de absorção ou retenção dos minerais.

Os resultados contrastantes desses coeficientes, como expressos na Tabela 10.4, são devido às perdas endógenas que são associadas as variações no consumo voluntário, que influenciam diretamente os requisitos de manutenção. Assim, o uso do coeficiente de retenção verdadeiro parece ser mais preciso em relação ao coeficiente de absorção quando se trata de estimar as exigências de minerais.

Tabela 10.4 – Coeficientes de absorção ou retenção de minerais para ovinos.

Fonte	Ca	P	Mg	Na	K
ARC (1980) ¹	68	73	17	91	–
Gerashev <i>et al.</i> (2000) ²	44	55	–	–	–
Baião <i>et al.</i> (2003) ¹	68	73	–	–	–
Baião <i>et al.</i> (2004) ¹	–	–	17	91	100
Gonzaga Neto <i>et al.</i> (2005) ¹	68	64	17	91	100
NRC (2007) ¹	40	60	17	91	90
Ji Shou-Kun <i>et al.</i> (2015) ²	26	34	3	11	13
INRA (2018) ¹	38	75	46	90	93

¹Coeficientes de absorção; ²Coeficientes de retenção.

Exigências Líquidas de Minerais para Ganhos de Peso (MLg)

Para estimativa das exigências líquidas de ganho, a composição corporal de cada mineral foi estimada em função do peso de corpo vazio (PCVZ), de acordo com modelo proposto por Brody (1945):

$$MR = \beta_0 \times PCVZ^{\beta_1} \quad \text{Eq. 10.2}$$

onde: MR corresponde ao mineral retido (g ou mg); PCVZ é o peso de corpo vazio (kg); e β_0 e β_1 são parâmetros da regressão. Posteriormente, a equação acima foi derivada e, considerando o ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ), as exigências líquidas de minerais para ganho foram estimadas conforme Equação 10.3:

$$MLg = GPCVZ \times (\beta_0 \times \beta_1 \times PCVZ^{(\beta_1 - 1)}) \quad \text{Eq. 10.3}$$

onde: MLg corresponde à exigência líquida de cada mineral (g ou mg/dia) para crescimento; e GPCVZ refere-se ao ganho de peso de corpo vazio (kg/dia).

Nas Tabelas 10.5 e 10.6 são apresentadas as estatísticas descritivas dos dados

utilizados nas estimativas das exigências de macro e microminerais para crescimento em função da classe sexual. As exigências dietéticas de cada mineral foram calculadas pela soma MLm e MLg e divididas pelo coeficiente de retenção de cada mineral.

A exigência para crescimento representa a quantidade do mineral depositada no corpo do animal, geralmente expressa em g ou mg por kg de peso vivo ganho ou proteína retida (NASEM, 2016), que foi considerada durante algum tempo como sendo constante. No entanto, alguns minerais como Ca, P e Mg, são mais concentrados nos ossos em relação aos tecidos moles, e, assim, as demandas destes minerais são reduzidas por kg de peso ganho à medida que ocorre aumento do PC do animal (AFRC, 1991).

As estimativas de exigências líquidas de minerais para crescimento envolvem a análise do conteúdo de minerais corporal em diferentes PCVZ, e o modelo mais comumente utilizado é o modelo alométrico (ARC, 1980), de forma que as equações são ajustadas usando o PCVZ como variável independente e conteúdo de minerais como variável dependente.

Tabela 10.5 – Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e K) para crescimento de ovinos.

Itens	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
Machos não castrados					
PC (kg)	139	21,56	6,54	38,28	10,12
PCVZ (kg)	139	17,23	5,93	31,18	6,58
Retenção (g)					
Ca	139	172,63	83,98	542,23	42,76
P	139	114,32	61,00	390,74	33,70
K	139	31,34	17,03	88,81	1,56
Mg	139	6,16	4,36	31,59	1,82
Na	139	25,22	14,93	77,29	2,02
Machos castrados					
PC (kg)	75	21,50	5,76	31,70	7,97
PCVZ (kg)	75	16,81	4,87	29,44	7,68
Retenção (g)					
Ca	75	235,45	75,02	395,48	89,33
P	75	133,13	53,59	268,26	55,49
K	75	33,14	19,08	69,74	2,42
Mg	51	6,16	4,36	31,59	1,82
Na	75	22,38	11,93	49,17	2,42
Fêmeas					
PC (kg)	34	18,91	5,36	29,40	7,98
PCVZ (kg)	34	16,03	4,99	26,28	7,68
Retenção (g)					
Ca	34	216,90	85,68	547,40	92,96
P	34	144,56	64,36	394,93	66,57
K	34	20,85	19,16	60,80	2,64
Mg	34	6,97	6,27	34,99	2,34
Na	34	16,23	14,04	52,30	2,69

n = Número de animais; DP = Desvio padrão; PC = Peso corporal; PCVZ = Peso de corpo vazio.

Tabela 10.6 – Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências líquidas de microminerais (Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Cr) para crescimento de ovinos.

Itens	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
Machos não castrados					
PC (kg)	139	21,56	6,54	38,28	10,12
PCVZ (kg)	139	17,23	5,93	31,18	6,58
Retenção (mg)					
Cu	139	58,57	66,29	309,82	1,52
Fe	139	1278,85	921,33	6829,34	143,60
Mn	139	24,84	24,18	153,25	0,0
Zn	139	617,05	921,33	5612,29	169,30
Co	33	23,84	13,65	60,53	6,75
Cr	33	31,83	18,54	82,18	18,54
Machos castrados					
PC (kg)	75	21,50	5,76	31,70	7,97
PCVZ (kg)	75	16,81	4,87	29,44	7,68
Retenção (mg)					
Cu	51	103,56	90,31	407,57	0,90
Fe	51	1738,81	904,56	3918,77	215,07
Mn	41	22,36	15,88	93,52	1,98
Zn	51	993,18	904,56	3918,77	215,07
Co	34	24,65	15,41	71,14	5,88
Cr	34	30,42	23,51	106,66	5,05
Fêmeas					
PC (kg)	34	18,91	5,36	29,40	7,98
PCVZ (kg)	34	16,03	4,99	26,28	7,68
Retenção (mg)					
Cu	34	128,39	83,32	328,77	30,25
Fe	34	1530,35	854,65	3216,52	96,83
Mn	34	15,74	84,08	328,77	0,00
Zn	34	1087,53	854,65	3216,52	96,83
Co	34	19,83	13,46	49,66	5,67
Cr	34	18,64	4,86	26,51	9,58

n = Número de animais; DP = Desvio padrão; PC = Peso corporal; PCVZ = Peso de corpo vazio.

MACROMINERAIS

Cálcio (Ca) e Fósforo (P)

Ca e P são os minerais mais abundantes no corpo do animal, sendo que 98% do Ca e 80% do P encontram-se armazenados nos ossos exercendo função estrutural. O Ca livre, ou seja, não armazenado no tecido ósseo está distribuído nos tecidos e fluidos extracelulares, e, assim, atua na contração muscular, coagulação sanguínea, regulação cardíaca, transmissão dos impulsos nervosos, na constrição e relaxamento dos vasos sanguíneos, e na liberação de hormônios.

O P é o segundo mineral mais abundante no corpo, onde atua como componente do DNA e RNA, dos fosfolipídios das membranas celulares. Adicionalmente, participa nas reações que produzem ou consomem energia como integrante do ATP, ADP, AMP, Pi e NADPH. Além disso, contribui na regulação do balanço ácido-base no plasma.

Em ruminantes, o P é componente da saliva na forma de íon fosfato, a qual exerce importante função tamponante no rúmen (CSIRO, 2007). Notavelmente, as glândulas salivares dos ruminantes concentram 10 vezes a quantidade de P circulante (plasma). A alta concentração na saliva representa um importante mecanismo de reciclagem desse mineral e redução da sua excreção urinária.

A absorção de Ca e P ocorre ao longo do trato gastrointestinal (TGI), principalmente no duodeno e jejuno, por meio de transporte passivo e ativo (Wasserman, 1981; Braithwaite, 1984), dependendo da concentração do mineral na dieta. Em dietas com baixas concentrações de Ca, a absorção pelo TGI ocorre principalmente por transporte ativo (Kornegay, 1985), enquanto elevadas concen-

trações do mineral na dieta induzem a absorção por transporte passivo, favorecido pelo gradiente de concentração. O Ca é excretado principalmente pelas fezes, porém, quando em altas concentrações, ocorrem estímulos para excreção por via urinária.

A concentração de Ca no plasma é mantida dentro de uma faixa muito estreita (8 a 12 mg/dL) comparada à concentração de P (1 a 20 mg/dL), em que o paratormônio (PTH) e a calcitonina atuam no controle da concentração de Ca plasmático (CSIRO, 2007), mediados pela Vitamina D. O PTH é um hormônio secretado pela glândula paratireoide, exercendo papel fundamental no controle endócrino do Ca, tanto em condições de menor quantidade de Ca na dieta ou quando há aumento da sua demanda pelo animal (vacas/cabras/ovelhas leiteiras de alta produção), o qual atua no estímulo da absorção de Ca intestinal, reduz a sua excreção renal e promove a mobilização de Ca ósseo.

Já a calcitonina atua de forma contrária ao PTH (McDowell, 2003). Dessa forma, a porcentagem de P absorvido não está diretamente relacionada aos requisitos do animal (ARC, 1980). A absorção de Ca pelo TGI pode ser influenciada por vários fatores, tais como sua concentração na dieta e no plasma (requisitos do animal), pela forma química e fonte do mineral, pelo antagonismo com outros minerais e pelo teor de lipídeos na dieta, os quais formam sabões de Ca, reduzindo a absorção do mineral (NASEM, 2016).

De acordo com o NRC (1980), cordeiros jovens com elevada taxa de ganho absorvem Ca com maior eficiência do que animais adultos, os quais apresentam baixa exigência diária do elemento. A deficiência de Ca, P ou vitamina D em animais jovens é geralmente apresentada na forma de raquitismo, enquanto

em animais adultos a deficiência se manifesta na forma de desordens ósseas (osteomalácia) (McDowell, 2003).

Embora os animais possam usar a excreção renal de Ca de forma muito eficiente em condições de consumo excessivo do mineral, a excreção renal de P parece ser apenas acionada quando a concentração no plasma excede valores acima de 45 – 60 mg/L (CSIRO, 2007). Isso geralmente acontece em animais alimentados com dietas ricas em concentrado, condição essa que pode induzir a formação de cálculos urinários (urolitíase obstrutiva) em cordeiros confinados. O P é considerado um dos elementos minerais requeridos pelos animais que apresenta maior potencial de poluição ambiental. Dessa forma, a porcentagem de P na dieta deve ser acuradamente calculada para ótimo desempenho animal, com mínimo impacto ambiental (NASEM, 2016).

É importante destacar que o esqueleto, embora considerado uma porção inerte do corpo do animal, é altamente lábil e representa uma fonte desses minerais em momentos de deficiência dietética (McDowell, 2003), os quais podem ser mobilizados para cumprir funções nos tecidos moles.

Para ovinos em manutenção o BR-CAPRINOS & OVINOS sugere 23,70 mg de Ca /kg de PC. O coeficiente de retenção corresponde a 54,30% (Figura 10.1 A, Tabela 10.7). Desta forma, animais deslanados com 30 kg de PC apresentariam exigência líquida de Ca para manutenção de 710 mg Ca/dia (ou 0,710g), o que corresponderia à uma exigência dietética de 4,05 g/dia. A exigência dietética de Ca sugerida nesse Sistema é 35% superior à recomendação apresentada no NRC (2007), porém 32% inferior ao valor sugerido pelo INRA (2018).

De acordo com o ARC (1980), as perdas endógenas fecais de Ca para ovinos são de 16 mg/kg de PC. Ambos, o AFRC (1991) e o CSIRO (2007) consideram que a excreção endógena de Ca varia em função do consumo de matéria seca (CMS), propondo que a perda endógena de Ca (g/dia) pode ser calculada como $0,623 \times CMS + 0,228$. Esta equação é adotada no NRC (2007), o qual reporta um coeficiente de absorção de 40%, conforme sugerido no NRC (1985), bem próximo ao coeficiente sugerido pelo INRA (2018) de 38%, enquanto no CSIRO (2007) é assumido um coeficiente de absorção do Ca de 68%.

O BR-CAPRINOS & OVINOS recomenda que a exigência líquida de P para manutenção de ovinos seja de 25,33 mg/kg de PC, e coeficiente de retenção 79,8% (Figura 1 B, Tabela 10.7). Desta forma, machos não castrados com 30 kg de PC apresentariam exigência líquida de P para manutenção de 760 mg P/dia (ou 0,760 g), o que corresponderia à uma exigência dietética de 1,78 g/dia. Esse valor é próximo ao NRC (2007) que sugere 1,98 g/dia para ovinos.

Ambos, NRC (1985) e NRC (2007), consideram o valor de 72% como coeficiente de absorção do P, enquanto o AFRC (1991) e o CSIRO (2007) consideram como sendo 70% para animais alimentados com dietas de alto valor nutritivo, valor esse próximo ao coeficiente de retenção obtido para ovinos (79,8%) e aquele sugerido pelo INRA (2018) de 75%. É importante considerar a demanda exata das necessidades minerais para reduzir a excreção mineral e a poluição ambiental, principalmente aquela causada pela excreção excessiva de fósforo.

O desequilíbrio nos níveis de P contribui para a contaminação do solo, que, quando carregado pela chuva pode contribuir para a eutrofização da água (Valk *et al.*, 2000).

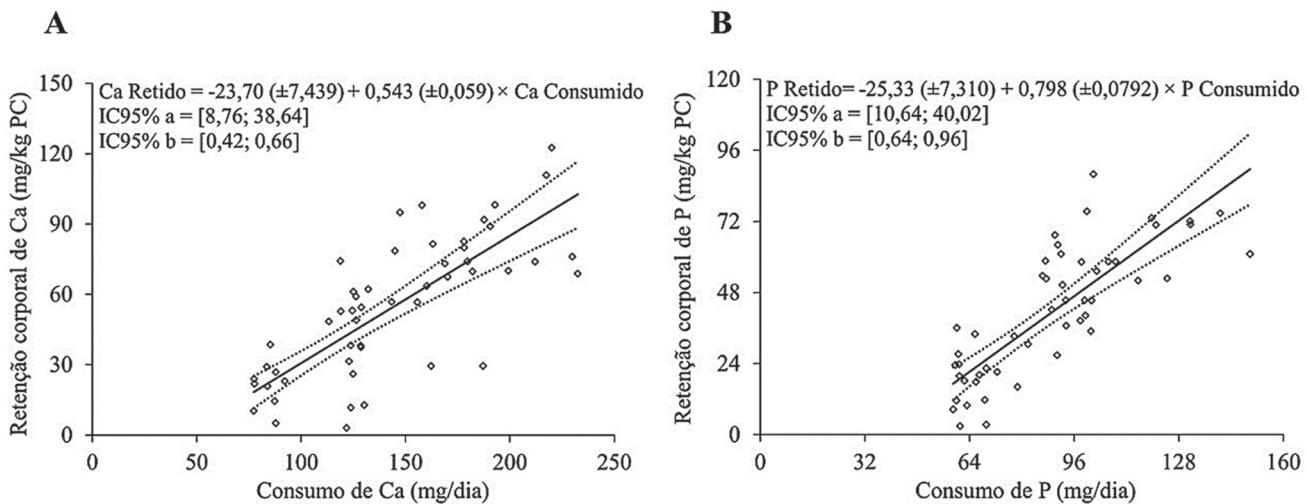


Figura 10.1 – Relação entre Ca e P retidos e consumidos pelo animal. O valor observado de retenção do macromineral na manutenção está representado pelos marcadores em forma de losango (\diamond), a linha contínua representa os valores médios estimados pelo modelo linear simples (retenção = $a + b \times \text{consumo}$) da retenção em função do consumo do mineral e as linhas pontilhadas são os valores inferiores e superiores do intervalo de confiança a 95% (IC95%). Os parâmetros a e b são apresentados com o erro padrão e IC95%.

As exigências líquidas de Ca e P para crescimento sugeridas pelo BR-CAPRINOS & OVINOS podem ser calculadas por meio das equações apresentadas na Tabela 10.7, considerando machos não castrados, castrados e fêmeas. Dessa forma, para estimativa das exigências de Ca e P, considerando machos não-castrados, castrados e fêmeas, com PC de 30 kg com ganho médio diário (GMD) de 150 g (GPCVZ de 136 g), a exigência líquida de Ca é de 1,38; 1,57 e 1,51 g/dia; e P corresponde a 0,66; 0,78 e 0,75 g/dia, respectivamente.

O efeito do sexo nas necessidades minerais pode variar de acordo com o estágio fisiológico (crescimento ou manutenção). Fêmeas deslanadas apresentam maiores exigências de Ca em relação aos machos não castrados, o que indica que a taxa de acréscimo de Ca aos ossos seja superior a taxa de reabsorção óssea. Assim, a retenção esquelética de Ca em fêmeas é, portanto, superior.

Braithwaite e Riazuddin (1971) constataram o efeito do hormônio do crescimento sobre o metabolismo do Ca, promovendo maior retenção e taxa de acréscimo de Ca ósseo em ovelhas próximas a maturidade. Na fase de crescimento de fêmeas próximas da maturidade sexual, Ca e P estão principalmente envolvidos na finalização do desenvolvimento ósseo. Além disso, estradiol atua modulando indiretamente as deposições de Ca ósseo (Hafez, 2004), promovendo o fechamento da cartilagem epifisária (Weise *et al.*, 2001) devido a substituição dos condrócitos por células osteogênicas. O estrógeno, por sua vez, promove a apoptose de osteoclastos e, assim, diminui a reabsorção óssea. Por outro lado, esse hormônio afeta positivamente a absorção de Ca, independentemente de outros hormônios calciotrópicos. Dessa forma, a presença estrogênica no ápice do crescimento da fêmea, além de diminuir a reabsorção óssea, pode resultar em um balanço positivo de Ca, pois favorece sua absorção no intestino e diminui a excreção renal (Riggs *et al.*, 2002).

Isso explica por que a classe sexual afeta os requisitos de Ca e P, implicando em maior exigência desses minerais para essa categoria na fase de maturidade, em relação aos machos inteiros.

Os requisitos líquidos dependem da composição corporal, de maneira que qualquer fator que altere a deposição de minerais no corpo (isto é, o padrão de crescimento) influencia as exigências para ganho, já que esses minerais são altamente relacionados ao crescimento do esqueleto do animal. No tecido ósseo, a relação entre Ca e P é próxima de 2:1, a qual é alterada apenas nas situações em que ocorre desbalanço dietético.

Conforme o animal cresce, o conteúdo total de cinzas aumenta em taxas semelhantes no início da vida, e desacelera mais tarde, de modo que atinge um platô que coincide com a maturidade (Moulton, 1923; NRC, 2000). No ARC (1980) é considerado que a composição corporal em minerais é constante e independente do peso do animal, sendo sugerido o valor de 14 g Ca/kg de ganho de PC. Já no NRC (2007) é sugerido que a proporção de massa esquelética diminui com a idade. Adicionalmente, ovinos têm menor proporção de osso no corpo em relação aos caprinos. A deposição de Ca é ligeiramente menor em caprinos (9,4 g/kg PC ganho) do que em ovinos (11 g Ca/kg PC ganho), embora as exigências para crescimento diminuem com idade, mas aumentem com a taxa de crescimento (AFRC, 1991).

Magnésio (Mg)

Cerca de 70% do Mg corporal está associado ao esqueleto, 25% à massa muscular esquelética e 1% nos fluidos extracelulares (Suttle, 2010), sendo o cátion divalente intracelular mais abundante no corpo dos animais. O Mg atua como cofator de enzimas

envolvidas na fosforilação oxidativa e no metabolismo de carboidratos (hexoquinase), lipídios, proteínas e ácidos nucléicos.

A função extracelular do Mg inclui o controle dos impulsos nervosos e a transmissão neuromuscular, sendo sua concentração plasmática normal mantida entre 0,75 e 1,3 mmol/L (1,8-3,5 mg/dL). A queda dessa concentração pode resultar em redução na concentração de Mg no líquido cefalorraquidiano para valores inferiores a 0,5 mmol/L (1,0 – 1,8 mg/dL; NRC, 2007), o que causaria hiperexcitabilidade, espasmos musculares, convulsões e morte por tetania (tetania hipomagnesiana), problema este relatado em vacas leiteiras de elevada produção mantidas em pastejo, especialmente em pastos contendo elevada concentração de potássio (NRC, 2001).

O principal sítio de absorção de Mg é o intestino delgado de animais lactentes e no rúmen de animais adultos, cuja absorção se dá por transporte ativo. A concentração de K na dieta, bem como elevadas concentrações de amônia no rúmen, tendem a reduzir a eficiência de absorção de Mg pelo epitélio ruminal (CSIRO, 2007).

O BR-CAPRINOS & OVINOS sugere para ovinos deslanados o valor de 2,63 mg de Mg/kg de PC como exigência líquida para manutenção e o coeficiente de retenção de 8,5% (Figura 10.2, Tabela 10.7).

No ARC (1980), são sugeridas como perdas endógenas (fecais) diárias de Mg em ovinos valores de 3 mg/kg de PC, e o coeficiente de absorção do Mg é considerado como 25% para ovinos adultos mantidos sob condições de pastejo, valores estes também adotados pelo CSIRO (2007).

No INRA (2018), a exigência de Mg para manutenção de ovinos é de 0,014 g/kg

de PC, enquanto no ARC (1980) e CSIRO (2007) o valor do coeficiente de absorção é baseado apenas na excreção fecal, o que tende a superestimar a real disponibilidade ou uso. Já no NRC (2007), considera-se um coeficiente de absorção do Mg de 17%.

No BR-CAPRINOS & OVINOS, machos não castrados, castrados e fêmeas de 30 kg com GMD de 150 g (GPCVZ de 136 g) apresentam exigência líquida de Mg de 0,047, 0,062 e 0,050 g/dia, respectivamente. No Brasil, não existe a ocorrência de deficiências de Mg para ovinos devido as características dos solos e ao manejo das forragens utilizadas. No CSIRO (2007) e NRC (2007), as recomendações de Mg para crescimento de ovinos são de 0,41 g/kg de PC ganho.

Sódio (Na) e Potássio (K)

O Na é o principal cátion dos fluidos extracelulares, cuja concentração no plasma

varia de 3200-3500 mg/L (CSIRO, 2007). Em ação conjunta com o Cl e K, o Na desempenha papel central no controle da pressão osmótica e na regulação do equilíbrio ácido-base nos fluidos intra e extracelulares. Exerce, portanto, controle da entrada e saída de água das células, bem como no transporte de nutrientes (incluindo glicose), na transmissão de impulsos nervosos e na contração muscular (incluindo músculo cardíaco). Além disso, o Na é regulador do consumo de sal e componente da saliva e, dessa forma, colabora no controle do pH ruminal.

A absorção de glicose e aminoácidos pelo intestino depende da presença de Na no lúmen intestinal (Grim, 1980), por meio do mecanismo Na-Simporte (Nelson e Cox, 2018). A absorção de Na no TGI ocorre no rúmen, omaso e intestinos, sendo que ovinos e caprinos apresentam maior absorção de Na no intestino grosso do que os bovinos, razão pela qual apresentam menor conteúdo de

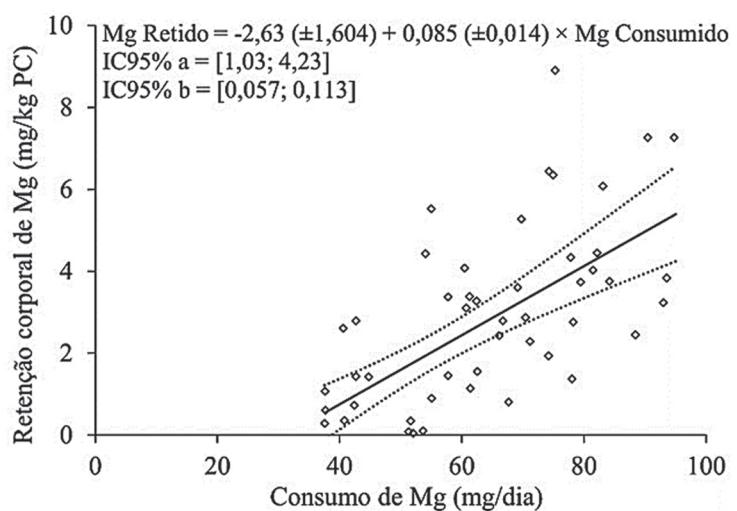


Figura 10.2 – Relação entre Mg retido e consumido pelo animal. O valor observado de retenção do macromineral na manutenção está representado pelos marcadores em forma de losango (◊), a linha contínua representa os valores médios estimados pelo modelo linear simples (retenção = a + b × consumo) da retenção em função do consumo do mineral e as linhas pontilhadas são os valores inferiores e superiores do intervalo de confiança a 95% (IC95). Os parâmetros a e b são apresentados com o erro padrão e IC95%.

água (maior teor de matéria seca) nas fezes em relação aos bovinos.

A deficiência de Na é uma das mais antigas e comumente relatadas na literatura, em decorrência da baixa concentração do mineral nas forrageiras (exceto em regiões litorâneas), causada pela reduzida capacidade do solo em ligar e reter o Na, o qual apresenta elevada facilidade de perda por movimentação de água no solo.

Dessa forma, os animais herbívoros apresentam elevado apetite pelo consumo de sódio (cloreto de sódio = sal comum), sendo esse o principal motivador e regulador do consumo de misturas minerais completas (McDowell, 2003). Os sinais de deficiência de Na incluem avidez por sal, redução do CMS e do desempenho.

No BR-CAPRINOS & OVINOS a exigência líquida de Na recomendada para a manutenção é 7,01 mg de Na/kg de PC e coeficiente de retenção 8,1% (Figura 10.3A, Tabela 10.7), requisito este menor que o sugerido pelo NRC (2007) e INRA (2018), os quais sugerem valores de 10,8 e 15,0 mg kg/PC respectivamente. Contudo, é pouco superior ao valor de 5 mg/kg PC recomendado por Underwood & Suttle (1999).

O ARC (1980) sugere que os requisitos em Na para manutenção sejam calculados considerando 5,8 mg/kg de PC para as perdas fecais e 20 mg/kg de PC para as perdas urinárias e considera ainda um coeficiente de absorção de Na de 91%. Deve ser salientado que as estimativas de sódio para manutenção obtidas com os valores pelo ARC (1980) são bem maiores do que os valores usados em condições práticas de alimentação.

O K é o terceiro mineral mais abundante, visto que representa 0,3% do peso corporal, dos quais 98% estão localizados no conteúdo celular. Dessa forma, a concentração intracelular de K é de 150 mM, enquanto a extracelular é de apenas 5 mM (CSIRO, 2007). As funções do K no organismo incluem a manutenção do balanço ácido-base nos tecidos, controle da pressão osmótica, formação do gradiente eletróquímico celular, que juntamente com o Na são fundamentais no transporte de nutrientes pelas células (Nelson & Cox, 2018).

O K participa ainda na formação de sinapses durante a transmissão de impulsos nervosos, na contração muscular e na liberação de hormônios, bem como atua como cofator em alguns sistemas enzimáticos nas vias do metabolismo de carboidratos e síntese de proteínas, tais como adenosina trifofatase, hexoquinase, anidrase carbônica, piruvato quinase e frutoquinase. Além disso, pela sua participação no transporte de aminoácidos, K influencia o crescimento dos animais (McDowell, 2003).

A absorção de K nos animais não ruminantes ocorre principalmente no intestino delgado e, em menor proporção, no intestino grosso. Nos ruminantes, o rúmen e o omaso são os principais sítios de absorção do mineral. Considerando que a maior parte do K está localizada dentro das células, o transporte de K para o interior das mesmas ocorre por transporte ativo, pois ocorre contra um gradiente de concentração (McDowell 2003). A principal forma de excreção ocorre por meio da urina, e também pode ser excretado pelas fezes e via sudorese. Desta forma, os níveis de K na dieta precisam ser observados especialmente em locais de clima quente, dada a elevada perda do mineral pelo suor.

Considerando que o K não é armazenado no organismo, diferentemente de outros minerais como Ca e P, o K deve ser consumido diariamente no sentido de atender os requisitos do animal para manutenção e funções produtivas. Entretanto, em decorrência da sua elevada concentração nos alimentos consumidos pelos animais ruminantes, não é comum a ocorrência de deficiências em condições normais de alimentação. Sintomas de deficiência de K incluem redução do CMS e desempenho, emaciação, paralisia muscular e rigidez dos membros (NRC, 2007).

No BR-CAPRINOS & OVINOS é recomendado como exigência líquida de K para manutenção o valor de 11,74 mg de K/kg de PC, sendo considerado o coeficiente de retenção de 5% (Figura 10.3B, Tabela 10.7). Desta forma, para um ovino de 30 Kg de PC o presente Sistema sugere 0,35 g/dia, enquanto o NRC (2007) e INRA (2018) sugerem 4,10 e 3,15 g/dia, respectivamente, valores esses bem superiores ao recomendado pelo presente Sistema. Além disso, condições ambientais, composição corporal do genótipo, sexo e qualidade da alimentação podem influenciar nas necessidades de minerais.

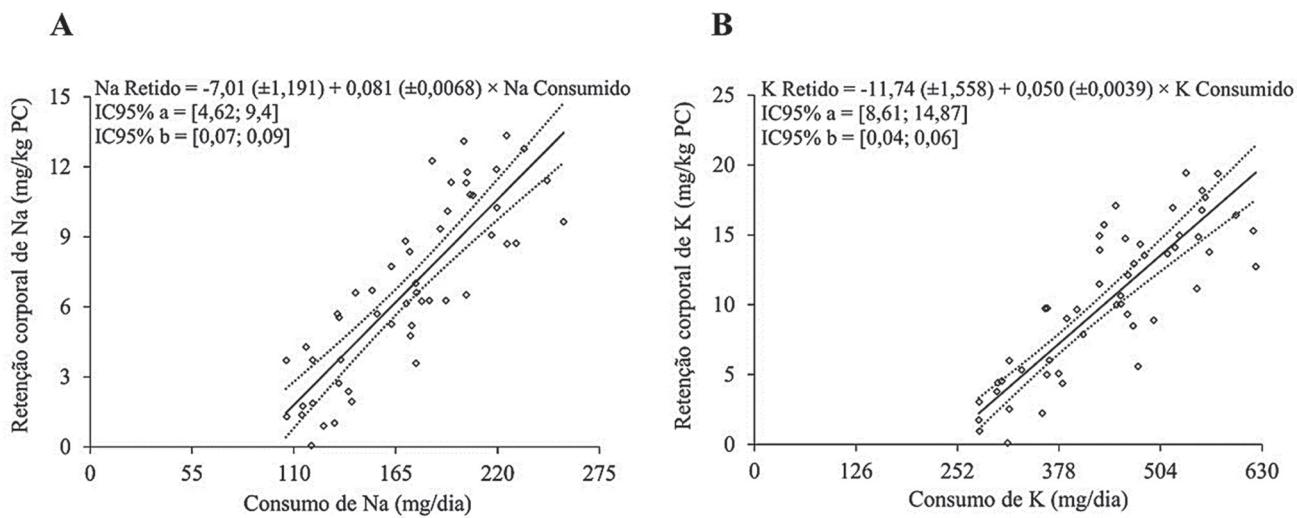


Figura 10.3 – Relação entre Na e K retidos e consumidos pelo animal. O valor observado de retenção do macromineral na manutenção está representado pelos marcadores em forma de losango (\diamond), a linha contínua representa os valores médios estimados pelo modelo linear simples (retenção = $a + b \times$ consumo) da retenção em função do consumo do mineral e as linhas pontilhadas são os valores inferiores e superiores do intervalo de confiança a 95% (IC95%).

Machos castrados e fêmeas demandam maiores quantidades de Na com o aumento do PC quando comparados aos machos não castrados. Para exemplificar, fêmeas deslanadas com peso corporal de 30 kg e GMD de 150 g (GPCVZ de 136 g) apresentam exigência líquida total de Na de 0,458 g/dia. Para ambos, ARC (1980) e Underwood & Suttle (1999), as recomendações para ovinos de mesma classe sexual e mesmo peso é cerca de 1,1 g/kg de ganho de peso, valor este também sugerido pelo NRC (2007).

Na e K, são encontrados em maiores proporções em outros componentes corporais, que não o tecido ósseo, assim as exigências desses minerais estão relacionadas com o ganho corporal como um todo, com um contínuo acréscimo dos mesmos à medida que o animal cresce. De modo geral, a concentração sérica de Na é preservada dentro de uma faixa fisiológica fina, apesar das grandes variações na ingestão diária de Na e água.

O BR-CAPRINOS & OVINOS sugere uma única equação para estimativa dos requerimentos líquidos de K para ovinos, de modo que, independentemente do sexo, para um ovino de 30 kg com GMD de 150 g (GPCVZ de 136 g), os requisitos líquidos de K corresponde a 258 mg/dia (0,258 g). Nesse contexto, o valor sugerido por esse Sistema está próximo às recomendações do NRC (2007) e do INRA (2018), que corresponde a 270 mg/dia (0,270 g).

MICROMINERAIS OU ELEMENTOS TRAÇOS

Os microminerais ou elementos traços são distribuídos no corpo animal em pequenas quantidades, e, assim, correspondem a menos de 0,3% do total dos minerais depositados no corpo, porém são de grande importância

para manter o metabolismo celular normal (Suttle, 2010; Lee *et al.*, 2002). Cu, Mn e Zn atuam em sistemas enzimáticos e contribuem para o aumento da resistência às infecções. Esses minerais impedem a ação deletéria de radicais livres, sendo classificados como antioxidantes de prevenção.

Cobre (Cu)

O Cu desempenha funções extremamente importantes no corpo dos animais, sendo necessário para a respiração celular, formação óssea, função cardíaca, desenvolvimento do tecido conjuntivo, mielinização da medula espinhal e queratinização (NASEM, 2016). Participa ainda como cofator de várias metaloenzimas, tais como citocromo oxidase, lisil oxidase, superóxido dismutase, dopamina β-hidroxilase e tirosinase (McDowell, 2003).

A absorção de Cu, na maioria das espécies de animais, é considerada muito baixa, sendo ainda influenciada negativamente pela presença de fitato e outros minerais, tais como Ca, S, Fe, Zn, Cd ou Mo (NASEM, 2016). Desta forma, a sua concentração nos alimentos (forragem e concentrado) não é considerada indicador do status de Cu dietético em relação aos requisitos dos animais.

Ademais, há diferenças na eficiência de absorção em relação à idade dos animais, de forma que animais jovens apresentam maior eficiência de absorção (15 – 30%) em relação a animais adultos (5 – 10%). A absorção de Cu no TGI parece ocorrer por mecanismo saturável e não saturável (Bronner & Yost, 1985).

Após sua absorção no intestino delgado, seu maior sítio de absorção, o Cu que entra na circulação porta-hepática é rapidamente depositado nos tecidos, especialmente no fí-

gado. No organismo, aproximadamente 90% do Cu está na forma de ceruloplasmina, uma metaloproteína sintetizada no fígado.

O BR-CAPRINOS & OVINOS recomenda 0,03485 mg/kg de PC para atendimento das exigências de manutenção de Cu e o coeficiente de retenção no corpo de 23% (Figura 10.4A, Tabela 10.7). Considerando um ovino de 30 kg com GMD de 150 g (GPCVZ de 136 g), a demanda corresponde a 1,05 e 6,38 mg/dia, para os requisitos líquidos de manutenção e dietéticos, respectivamente.

No NRC (2007), utilizando-se o método fatorial, é adotado o valor de 0,004 mg/kg de PC (4 µg/ kg de PC), sendo considerado o coeficiente de absorção do Cu de 6,0 % em cordeiros, sob condições de confinamento. As exigências de Cu para ovinos foram primeiramente descritas como 5 mg/kg de MS (NRC, 1975), sendo posteriormente ajustadas para 7-11 mg (NRC, 1985). Já no ARC (1980) foi sugerido que os requisitos variavam de 1 a 8,6 mg de Cu/kg de MS, em função do estado fisiológico dos animais. O BR-CAPRINOS & OVINOS recomenda para um ovino de 30 kg com GMD de 150 g (GPCVZ de 136 g), a quantidade líquida de 0,42 mg/dia.

As exigências de Cu para ruminantes são dependentes das interações com outros componentes dietéticos, especialmente Fe, Mo e S. Essa interdependência faz com que seja necessário especificar as condições nas quais as exigências são aplicadas, pois a absorção e utilização de Cu dietético é sensível a antagonistas presentes na dieta. Mo na presença de S reduz acentuadamente a absorção, armazenamento e utilização do Cu, por meio da síntese de tiomolibdatos no rúmen-retículo e formação de tiomolibdatos de cobre insolúveis na digesta (Suttle & Field, 1983).

Em animais alimentados com dietas contendo baixas concentrações de Cu, ocorre redução na concentração das proteínas ceruloplasmina, superóxido dismutase citosólica e citocromo-C oxidase (Linder, 1996), as quais podem ser utilizadas como indicadores da deficiência de Cu. Entre os sintomas mais comuns de deficiência de Cu destacam-se a anemia, diarreia grave, depressão no crescimento, mudança na cor dos cabelos, ataxia neonatal, infertilidade temporária, insuficiência cardíaca e fragilidade dos ossos longos, que se quebram facilmente (Underwood & Suttle, 1999).

A deficiência de Cu em herbívoros tem sido relatada em áreas que apresentam elevado pH no solo, natural ou artificialmente (uso de calagem ou gessagem), condição essa que aumenta a assimilação de Mo pelas plantas, reduzindo a absorção de Cu no TGI dos animais (Underwood & Suttle, 1999). Ao mesmo tempo em que há um número expressivo de informações a respeito de ruminantes com sintomas de deficiência de Cu na dieta, o Cu também pode causar toxidez, havendo, desta forma, grande preocupação relativa aos níveis desse mineral na dieta.

Vale ressaltar que embora todos os animais ruminantes sejam susceptíveis à toxidez causada pelo Cu, a espécie ovina é considerada a que apresenta maior sensibilidade ao excesso de Cu na dieta e, dessa forma, misturas minerais formuladas para bovinos não devem ser usadas para ovinos. A razão para maior sensibilidade dos ovinos se dá pelo fato desses animais armazenarem a maior parte do Cu no fígado, enquanto os bovinos excretam consideráveis quantias do mineral via secreção biliar, reduzindo desta forma sua predisposição à intoxicação.

Além disso, o limiar entre a exigência e a toxicidade é pequeno o que aumenta a preocupação com os riscos de intoxicação. Geralmente, ovinos em confinamento apresentam maior propensão à intoxicação por Cu, uma vez que os alimentos componentes dessas dietas apresentam maiores teores de Cu com maior disponibilidade e menores concentrações de Mo e S. Sintomas de toxidez incluem hemoglobinúria, prostração, perda do apetite e em casos mais graves, o óbito (McDowell, 2003).

Ferro (Fe)

O Fe é o elemento traço mais abundante do corpo, uma vez que forma complexos com proteínas e desempenha importantes funções em várias reações bioquímicas. Participa como ativador ou componente de enzimas transportadoras de elétrons e proteínas, as quais atuam no transporte de oxigênio e CO₂ (hemoglobina e mioglobina). Cerca de 60% do Fe no organismo do animal está associado à hemoglobina (McDowell, 2003).

Dentre as enzimas que contém o Fe na sua molécula destacam-se: catalase, citocromo (A, B e C), lactoperoxidase (no leite), succinato desidrogenase, NAD e NADH, fosfatases e glutamato formiminotransferase (Conrad *et al.*, 1980). Já sua atuação como cofator enzimático envolve ativação das enzimas triptofano peroxidase-oxidase, aconitase, fenilalanina hidroxilase e histidina descarboxilase (Fruton & Simmonds, 1953).

Como os animais apresentam uma capacidade limitada na excreção de Fe, sua homeostase no organismo é basicamente controlada pela absorção, a qual é afetada pela idade, status de Fe do organismo e o estado de saúde do animal. De modo geral, a

absorção de Fe pelo TGI é baixa (7 – 10%), sendo mais bem absorvido de fontes de origem orgânica animal (grupo-heme) do que proveniente de fontes vegetais (forma não heme), havendo uma relação negativa entre a concentração de Fe na dieta e a porcentagem absorvida (McDowell, 2003).

O principal sítio de absorção de Fe no TGI é o intestino delgado. O Fe no estado ferroso é rapidamente oxidado ao estado férrego, o qual se complexa à transferrina, forma como o mineral é transportado para todo o corpo. Como a maior parte do Fe do organismo está ligada à hemoglobina, um importante sintoma de deficiência é a anemia. A carência deste mineral também causa menor ganho de peso, apatia, dificuldade respiratória, redução do apetite e menor resistência às infecções (NASEM, 2016).

O requerimento de Fe para ovinos deslanados para manutenção no BR-CAPRINOS & OVINOS é de 0,03963 mg de Fe/kg de PC e o coeficiente de retenção de 13% (Figura 10.4B, Tabela 10.7). A título de exemplo, um macho não castrado de 30 kg de PC com GMD de 150 g (GPCVZ de 136 g) demanda 1,19 e 77,83 mg/dia de Fe como exigências líquidas de manutenção e dietéticas, respectivamente. A classe sexual influencia as exigências para ganho de peso, para machos não castrados, castrados e fêmeas de 30 kg com GMD de 150 g (GPCVZ de 136 g) a quantidade de Fe depositada no ganho e, portanto, a quantidade líquida desse mineral exigida para crescimento é de 8,93; 6,81 e 2,91 mg/dia, respectivamente. As estimativas obtidas para machos deslanados neste Sistema são semelhantes a recomendação geral para ovinos machos em crescimento do NRC (2007), de 8,25 mg/dia.

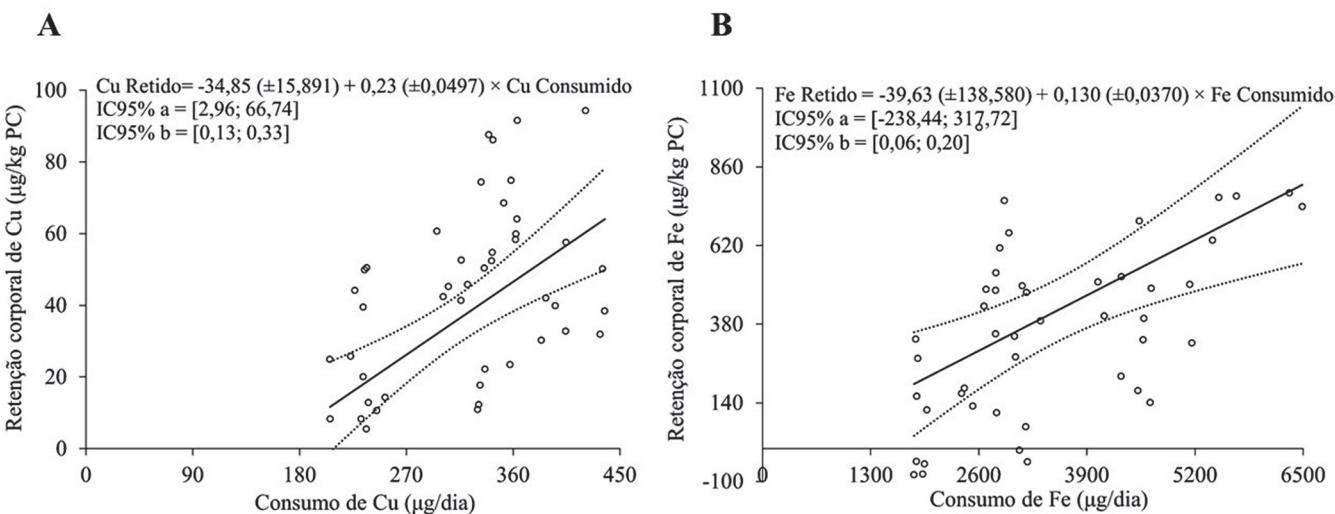


Figura 10.4 – Relação entre Cu e Fe retidos e consumidos pelo animal. O valor observado de retenção do micromineral na manutenção está representado pelos marcadores em forma de losango (○), a linha contínua representa os valores médios estimados pelo modelo linear simples (retenção = a + b × consumo) da retenção em função do consumo do mineral e as linhas pontilhadas são os valores inferiores e superiores do intervalo de confiança a 95% (IC95%). Os parâmetros a e b são apresentados com o erro padrão e IC95%.

Manganês (Mn)

Semelhantemente ao Fe, o Mn atua tanto como constituinte de algumas enzimas (glicosil hidrolases, arginase, piruvato carboxilase e Mn superóxido dismutase- SOD) como enquanto ativador de enzimas (hidrolases, quinases, descarboxilases e transferases). A participação na molécula da SOD torna o Mn extremamente importante na prevenção do acúmulo de íons superóxidos nas células (NRC, 2007).

A absorção de Mn ocorre no intestino delgado e semelhante a outros minerais, a proporção absorvida é muito baixa (3-4% do ingerido). A limitada absorção do mineral parece estar associada ao efeito negativo da presença de fitatos ou fibra sob certas condições dietéticas (Underwood & Suttle, 1999). Além disso, a absorção também é negativamente influenciada pela presença de outros minerais (Co, Fe, Mg e P). O Mn compete diretamente com o Fe e o Co por sítios de ligação no in-

testino delgado e, dessa forma, o excesso de Fe ou Co pode induzir a deficiência de Mn.

Os principais sintomas associados à deficiência de Mn incluem atraso no crescimento, anormalidades no esqueleto, redução da eficiência reprodutiva e distúrbios no metabolismo de carboidratos e lipídeos (NRC, 2007).

O BR-CAPRINOS & OVINOS recomenda como exigência líquida de Mn para manutenção o valor de 0,00611 mg/kg de PC e o coeficiente de retenção de 0,7% (Figura 10.5A, Tabela 10.7). Para um ovino de 30 kg de PC a exigência de Mn para manutenção e dietética independente do sexo é de 0,183 e 72,86 mg/dia, respectivamente.

Utilizando a equação de predição desse Sistema para estimativa do requerimento de fêmeas com 30 kg de PC, com GMD de 150 g (GPCVZ de 136 g), a demanda corresponde a 0,28 mg/dia, requerimento inferior ao de machos não castrados, os quais demandam

0,55 mg/dia. Machos apresentam maiores exigências de Mn devido ao crescimento testicular (Masters *et al.*, 1988). As exigências desse mineral para a espermatogênese e desenvolvimento testicular são significativas.

Zinco (Zn)

Como a maioria dos elementos traços, o principal papel do Zn no organismo animal está relacionado à sua função estrutural em algumas proteínas ou como ativador enzimático. Nesse sentido, cerca de mil proteínas associadas ao Zn são conhecidas no organismo animal. As enzimas mais importantes são anidrase carbônica, carboxipeptidase A, fosfatase alcalina, álcool desidrogenase e a superóxido dismutase citossólica (McDowell, 2003; NRC, 2007). Destaca-se, ainda, a sua relação com proteínas ligadoras do DNA, as quais influenciam a replicação e transcrição (NRC, 2007).

A absorção de Zn no TGI de animais não ruminantes parece ocorrer principalmente no intestino delgado, enquanto em ovinos o rúmen parece ser mais eficiente na absorção desse mineral do que o intestino delgado (McDowell, 2003). No entanto, no último segmento do TGI, o Zn pode ser absorvido na forma livre ou na forma de complexos com aminoácidos. Nos animais domésticos, a variação reportada na literatura relativa à absorção de Zn se estende de 15 a 60%. No epitélio intestinal, a absorção de Zn ocorre, inicialmente, pela sua transferência da luz do intestino para dentro da borda em escova do epitélio, sendo sua entrada no enterócito mediada pela ação de carreadores (metalotioneína), os quais, provavelmente, promovem a formação de quelatos com o mineral. A metalotioneína é uma proteína de baixo peso molecular, rica em cisteína que se liga ao Zn e facilita sua entrada nos enterócitos.

Os sintomas de deficiência de Zn têm sido reportados em situações práticas nas mais variadas espécies de animais de produção, bem como no homem. Em animais em crescimento, a redução do consumo e, consequentemente, do ganho de peso, são os primeiros sinais de deficiência do mineral. Em algumas espécies, ocorre depressão do desenvolvimento das gônadas e falhas no sistema imunológico.

O clássico sintoma de deficiência de Zn é o desenvolvimento de lesões na pele e perda de pelo, conhecidas como paraqueratose, a qual é manifestada geralmente em animais com severa deficiência do mineral. As áreas do corpo afetadas são a cabeça, dorso, bolsa escrotal, pescoço, área das narinas e pernas, mas, em fêmeas, até mesmo os tetos podem mostrar sinais de paraqueratose.

No Brasil, a deficiência de Zn tem sido relatada em ovinos e bovinos jovens mantidos em pastagem de capim Marandu, problema conhecido comumente como requeima, que é confundido com problemas associados à composição do capim ou à presença de fungos na pastagem. Embora a paraqueratose seja, geralmente, o sintoma mais comum da deficiência clínica de Zn nos animais, é de menor importância econômica e relevância prática que os efeitos da deficiência subclínica, a qual pode causar menor desempenho (ganho de peso ou produção de leite), redução da fertilidade e baixos níveis de Zn no plasma, causados pela redução do consumo (Underwood & Suttle, 1999).

O BR-CAPRINOS & OVINOS recomenda para ovinos, independente do sexo, exigência líquida de manutenção de 0,194 mg/kg de PC, e o coeficiente de retenção de 28% (Figura 10.5B, Tabela 10.7).

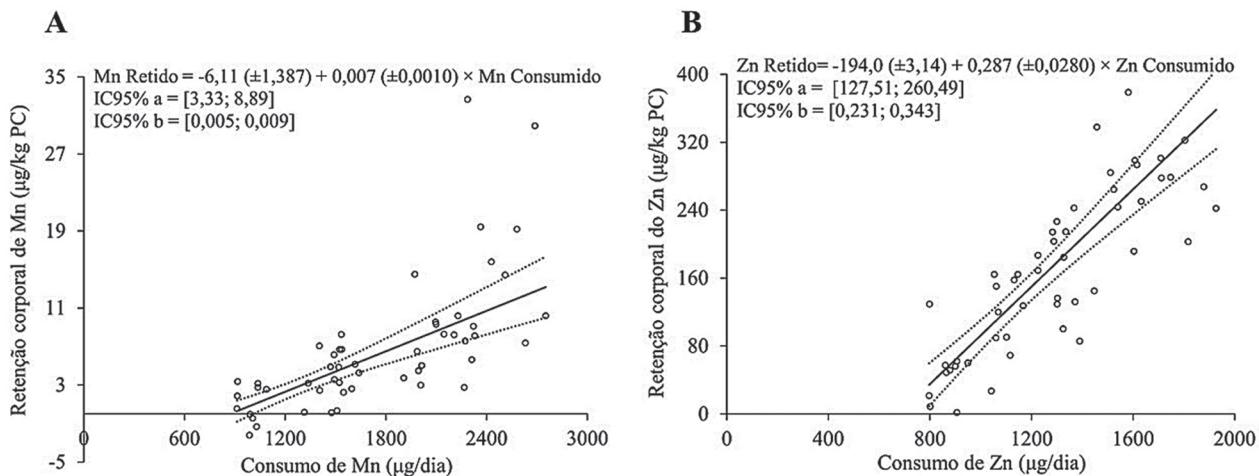


Figura 10.5 – Relação entre Mn e Zn retidos e consumidos pelo animal. O valor observado de retenção do micromineral na manutenção está representado pelos marcadores em forma de losango (○), a linha contínua representa os valores médios estimados pelo modelo linear simples (retenção = a + b × consumo) da retenção em função do consumo do mineral e as linhas pontilhadas são os valores inferiores e superiores do intervalo de confiança a 95% (IC95%). Os parâmetros a e b são apresentados com o erro padrão e IC95%.

No ARC (1980) as exigências de Zn para ovinos em crescimento são de 24 – 51 mg/kg de MS, enquanto no NRC (1985) adotou-se o valor de 20 mg/kg de MS. No NRC (2007) sugere-se o valor de 0,076 mg de Zn/kg de PC como exigência líquida de manutenção, com um coeficiente de absorção de 30% para cordeiros com PC entre 20 e 40 kg.

No BR-CAPRINOS & OVINOS, com base nas equações apresentadas na Tabela 10.7, um ovino de 30 kg e GMD de 150 g demanda 5,82 e 34,15 mg/dia como exigências líquidas de manutenção e dietética, respectivamente. Com relação ao ganho de peso, no NRC (2007) é sugerido o valor de 0,024 g/kg de peso ganho.

Utilizando as equações sugeridas no BR-CAPRINOS & OVINOS, as exigências de Zn para crescimento de machos não castrados, castrados e fêmeas com 30 kg e GMD de 150 g (GPCVZ de 136 g), a exigência líquida de Zn é de 5,37; 5,0 e 1,57 mg/dia, respectivamente.

Cobalto (Co)

Diferentemente dos outros minerais, o Co não é requerido pelos mamíferos, os quais necessitam na verdade, da vitamina B₁₂ (cianocobalamina). Nos ruminantes, a vitamina B₁₂ é sintetizada no rúmen pela microbiota ruminal, principalmente por bactérias. A vitamina B₁₂ contém o Co na sua molécula representando 4,5% do seu peso (Osman *et al.* 2021). Dessa forma, em animais com rúmen ainda não desenvolvido (menos de 8 semanas de vida), deverá ser feita a suplementação com vitamina B₁₂ dietética (McDowell, 1992).

A vitamina B₁₂ é parte essencial de alguns sistemas enzimáticos que participam de funções metabólicas muito básicas e importantes no organismo, especialmente das coenzimas ativas adenosilcobalamina e metilcobalamina (McDowell, 2003). Nos animais, três enzimas dependem da vitamina B₁₂: metilmalonil COA mutase e leucina mutase, que são dependentes de adenosilcobalamina,

e metionina sintetase, a qual requer metilcobalamina como cofator.

Na maioria das reações que requerem adenosilcobalamina, essa coenzima atua como carreador de hidrogênio intermediário. Já a metilcobalamina atua em reações químicas que envolvem a transferência ou síntese de unidades de 1 carbono, tais como grupos metil, que ocorrem no metabolismo de ácidos nucleicos (síntese de bases nitrogenadas), na síntese proteica e no metabolismo de carboidratos e lipídeos (McDowell, 2003).

Em ruminantes, a vitamina B₁₂ assume papel fundamental na conversão hepática de propionato a glicose, via gliconeogênese hepática, evento esse de extrema importância para suprir glicose hepática a tecidos que a demandam (sistema nervoso central, eritrócitos, glândula mamária), uma vez que ocorre pequena absorção de glicose no intestino delgado desses animais (Van Soest, 1994).

O BR-CAPRINOS & OVINOS sugere que a exigência líquida para manutenção seja de 0,00606 mg de Co/kg de PC, com coeficiente de retenção de 13,8%, independentemente do sexo (Figura 10.6A, Tabela 10.7). Neste Sistema, é sugerido para um ovino de 30 kg e GMD de 150 g valores de 0,18 mg/dia e 2,63mg/dia como exigência líquida para manutenção e dietética, respectivamente. O requerimento dietético é relativamente superior às sugestões do NRC (1985; 2007) e do INRA (2018), cujas recomendações são de 0,17 e 0,28 mg/ dia, respectivamente.

As informações iniciais sobre os requisitos de Co para ruminantes são reportadas no NRC (1975), com recomendações de valores dietéticos de 0,1 mg/kg de MS. No NRC (1985) e NRC (2007) os valores correspondem a 0,1-0,2 mg/kg de MS. Já o CSIRO (2007) recomenda o valor de 0,11 mg de Co/kg de MS.

Considerando que o Co é utilizado no rúmen para síntese de Vitamina B₁₂, a qual é necessária pelos tecidos dos mamíferos, Durand e Kawashima (1980) identificaram que a demanda de Co para máximo crescimento da microbiota ruminal estava entre 0,5 e 1,0 mg/kg de MS da dieta. De acordo com McDowell (2003), com exceção do P, a deficiência de Co é uma das deficiências de minerais mais severas que acomete os ruminantes em pastos tropicais.

Cromo (Cr)

Cr é um mineral que ocorre nas valências de - 2 a + 6, sendo mais comum nas formas Cr²⁺, Cr³⁺ e Cr⁶⁺ (Borel & Anderson, 1984). Os primeiros estudos de Mertz & Schwartz (1959) mostraram que o Cr poderia estar associado a um fator de tolerância à glicose. Estudos posteriores demonstraram que o Cr potencializava a função da insulina (Offenbacher *et al.*, 1997).

Sinais clínicos de deficiência de cromo, como a intolerância à glicose, perda de peso e distúrbios nervosos e cerebrais, foram observados em humanos recebendo nutrição parenteral de longo prazo (Anderson, 1995). A dificuldade no estabelecimento de uma referência dietética para Cr se deve principalmente às limitações da estimativa da ingestão. Estas limitações abrangem a ausência de dados relativos à quantidade de Cr presente nos alimentos, devido às dificuldades de análise desse mineral na maioria dos ingredientes dietéticos, em decorrência da sua reduzida concentração e a problemas de contaminações ambientais. Acrescentam-se a isso as baixas concentrações do Cr no corpo do animal, pois as concentrações de Cr no sangue não estão em equilíbrio com as concentrações de Cr nos tecidos e não refletem às reservas corporais. As concentrações de Cr são baixas

no fígado, rins e baço. Já os ossos apresentam a maior concentração desse mineral.

Estudos com ratos tem determinado que o Cr é absorvido prioritariamente no intestino delgado (Chen *et al.*, 1973), especialmente no duodeno, sendo sua absorção na forma de Cr trivalente muito baixa, e varia de 0,5 a 3% do total ingerido. O mecanismo de absorção do Cr ainda não é bem compreendido, mas parece envolver tanto transporte passivo quanto ativo.

Vários fatores interferem na absorção do Cr no TGI, como a presença de inibidores (fitato, Zn, Fe e V) no intestino (Kobla & Stella, 2000). Entretanto, a absorção de Cr é aumentada na presença de transferrina ou albumina, já que transferrina atua no transporte de Cr no plasma.

Com relação ao mecanismo de ação do Cr no metabolismo de carboidratos, é sugerido sua influência sobre a ação da insulina, pois é hipotetizado que esse mineral se liga a um oligopeptídeo de baixo peso molecular denominado Cromodulina (low-molecular weight chromium-binding substance – LMW-Cr; Vincent, 2001).

De acordo com os relatos de Offenbacher *et al.* (1997), a ligação dos íons de Cr a cromodulina amplifica a atividade da tirosina quinase do receptor celular da insulina, aumentando a ação da insulina. Na ausência de Cr, a apocromodulina é ineficaz em estimular a atividade da tirosina quinase, de modo que a ativação da apocromodulina é específica para Cr.

O modelo proposto para explicar a ação da cromodulina como parte do sistema de auto-amplificação da sinalização da insulina sugere que a cromodulina é estocada na forma apo no citosol e núcleo de células sensíveis

à insulina. O aumento da insulina circulante provoca duas situações concomitantes: (i) maior mobilização do Cr para células-alvo, mediada principalmente pela transferrina; e (ii) mobilização de receptores de transferrina a partir de vesículas intracelulares para se fundirem com a membrana.

Sendo assim, a transferrina saturada com Cr liga-se a seus respectivos receptores e o complexo formado é internalizado por endocitose. No espaço intravesicular, o pH ácido promove a digestão deste complexo e a liberação do Cr para o citosol. Quatro íons de Cr³⁺ unem-se à apocromodulina tornando-a ativa sob a forma de cromodulina, que, por sua vez, liga-se ao sítio ativo no receptor insulínico, e, assim, completa a ativação do mesmo e amplificando o sinal da insulina.

Quando as concentrações de insulina diminuem, acredita-se que a cromodulina seja liberada das células e excretada na urina. A urina é a principal via de excreção do Cr absorvido. Dessa forma, o consumo de carboidratos não fibrosos aumenta as concentrações de insulina no sangue e consequentemente elevam a excreção urinária de Cr.

Além de sua atuação principal sobre o metabolismo de carboidratos, o Cr também participa no metabolismo proteico ao estimular a captação de aminoácidos pelas células, uma vez que está diretamente ligado à atividade insulínica (Kreider, 1999). Existem, ainda, algumas evidências sobre a função do Cr no metabolismo lipídico, as quais parecem estar relacionadas com o aumento das concentrações de lipoproteínas de alta densidade (HDL) e com a redução do colesterol total e de lipoproteínas de baixa densidade (LDL, VLDL), por meio do aumento da atividade da enzima lipase de lipoproteínas em indivíduos com dislipidemias (Grant *et al.*, 1997).

Estudos com bovinos têm demonstrado respostas favoráveis para a suplementação de Cr durante o pré-parto de vacas leiteiras, com melhora no status energético (redução de triglicerídeo acumulado no fígado), aumento no CMS, produção de leite (Besong *et al.*, 2001) e aumento na produção de vacas primíparas (Yang *et al.*, 1996). A recomendação dietética de Cr para ovinos não é estabelecida Sistemas Mundiais.

Embora o Cr seja um micromineral importante, no NRC (2007) é citado que provavelmente nem deficiência ou toxicidade ocorreriam em condições normais de alimentação. Desta forma, não há relatos sobre sinais de deficiência do mineral em animais e humanos. Entretanto, considerando a relação do Cr com o sistema imune e seu efeito antiestresse, alguns estudos têm apontado redução da morbidade, da mortalidade e aumento da eficiência em animais recentemente transportados por longas distâncias, tanto

bezerros como novilhos, que receberam suplementação com Cr, especialmente na forma orgânica (Moonsie-Shageer & Mowat, 1993; Mowat *et al.*, 1993). Da mesma forma, o Cr tem sido sugerido por melhorar a resistência de bovinos a doenças, em função do seu papel em estimular a resposta imune, e, assim, promove-se a melhoria do desempenho de bezerros estressados (Wright *et al.* 1994; Almeida & Barajas, 1999).

O BR-CAPRINOS & OVINOS sugere que a exigência líquida para manutenção seja de 0,011 mg Cr/dia, com coeficiente de retenção de 8,6% (Figura 10.6B, Tabela 10.7). Portanto, a partir dessas estimativas, para um ovino de 30 kg e GMD de 150 g obtém-se o valor de 0,35 mg/dia como exigência líquida para manutenção. Para exigências dietéticas, recomenda-se 9,47, 10,31 e 4,88 mg/dia para machos não castrados, castrados e fêmeas, respectivamente.

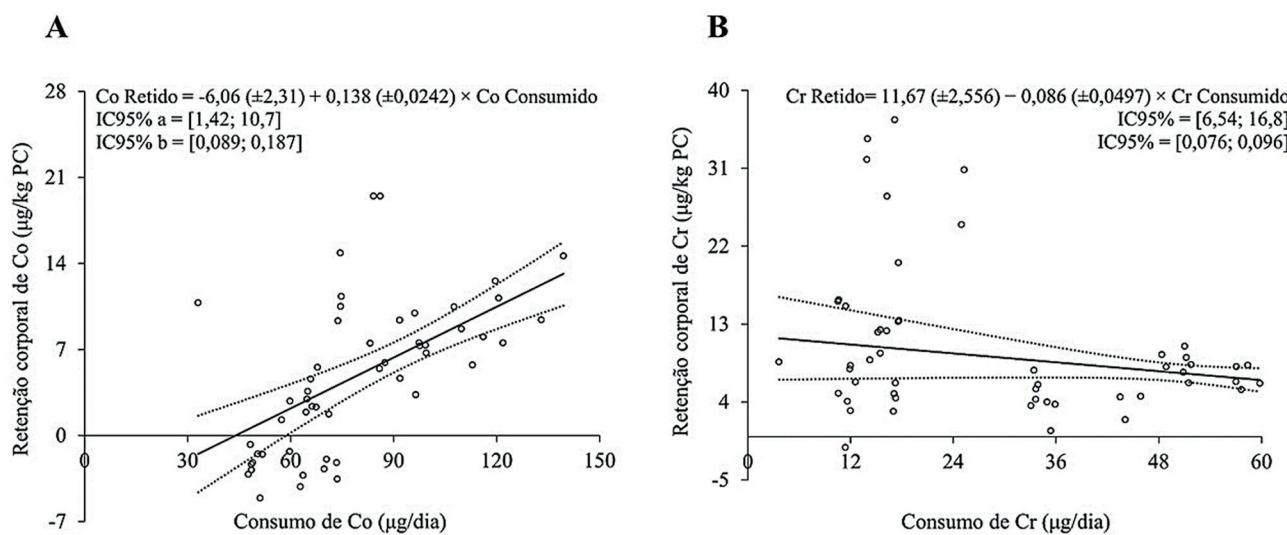


Figura 10.6 – Relação entre Co e Cr retidos e consumidos pelo animal. O valor observado de retenção do micromineral na manutenção está representado pelos marcadores em forma de losango (\circ), a linha contínua representa os valores médios estimados pelo modelo linear simples (retenção = $a + b \times$ consumo) da retenção em função do consumo do mineral e as linhas pontilhadas são os valores inferiores e superiores do intervalo de confiança a 95% (IC95%). Os parâmetros a e b são apresentados com o erro padrão e IC95%.

De acordo com as equações apresentadas na Tabela 10.7, no BR-CAPRINOS & OVINOS, para machos não castrados, castrados e fêmeas com 30 kg com GMD de 150 g (GPCVZ de 136 g) a quantidade de Cr depositada no ganho e, portanto, a quantidade líquida do mineral exigida, é de 0,46; 0,54 e 0,07 mg/dia, respectivamente.

RESUMO DAS EQUAÇÕES E EXEMPLO PRÁTICO

O resumo das equações recomendadas para estimativa das exigências de macrominerais e microminerais para ovinos deslanados em crescimento está apresentado na Tabela 10.7.

Tabela 10.7 – Resumo das equações utilizadas na estimativa das exigências nutricionais de macrominerais e microminerais para ovinos em crescimento.

Minerais	Classe sexual	Mantenção	Coeficiente de retenção	Exigências líquidas de cada mineral para ganho de peso
		(mg/kg PC)		(g/dia)
Ca	Não Castrado			$GPCVZ \times [(17,04) \times PCVZ^{-0,1652}]$
	Castrado	23,70	54,3	$GPCVZ \times [(16,75) \times PCVZ^{-0,1192}]$
	Fêmea			$GPCVZ \times [(17,52) \times PCVZ^{-0,1465}]$
P	Não Castrado			$GPCVZ \times [(9,19) \times PCVZ^{-0,2057}]$
	Castrado	25,33	79,8	$GPCVZ \times [(8,65) \times PCVZ^{-0,1317}]$
	Fêmea			$GPCVZ \times [(9,16) \times PCVZ^{-0,1627}]$
Mg	Não Castrado			$GPCVZ \times [(0,45) \times PCVZ^{-0,0847}]$
	Castrado	2,63	8,5	$GPCVZ \times [(0,39) \times PCVZ^{0,048}]$
	Fêmea			$GPCVZ \times [(0,45) \times PCVZ^{-0,0649}]$
Na	Não Castrado			$GPCVZ \times [(1,66) \times PCVZ^{-0,1622}]$
	Castrado	7,01	8,1	$GPCVZ \times [(1,23) \times PCVZ^{0,031}]$
	Fêmea			$GPCVZ \times [(1,03) \times PCVZ^{0,184}]$
K	Geral	11,74	5,0	$GPCVZ \times [(1,96) \times PCVZ^{-0,0102}]$
Cu	Geral	34,85	23	$GPCVZ \times [(7,64) \times PCVZ^{-0,2876}]$
Fe	Não Castrado			$GPCVZ \times [(121,72) \times PCVZ^{-0,1976}]$
	Castrado	39,63	13,0	$GPCVZ \times [(144,8) \times PCVZ^{-0,3403}]$
	Fêmea			$GPCVZ \times [(186,57) \times PCVZ^{-0,6933}]$

PC = Peso corporal; GPCVZ = Ganho de peso de corpo vazio; PCVZ = Peso de corpo vazio. ¹A equação pode ser simplificada como $GPCVZ \times 1,37$.

Tabela 10.7 – Resumo das equações utilizadas na estimativa das exigências nutricionais de macrominerais e microminerais para ovinos em crescimento. (*Continuação*).

Minerais	Classe sexual	Mantenção (mg/kg PC)	Coeficiente de retenção (%)	Exigências líquidas de cada mineral para
				ganho de peso (g/dia)
Mn	Não Castrado			$GPCVZ \times [(3,51) \times PCVZ^{0,0450}]$
	Castrado	6,11	0,7	$GPCVZ \times [(2,67) \times PCVZ^{-0,2845}]$
	Fêmea			$GPCVZ \times [(3,09) \times PCVZ^{-0,1278}]$
Zn	Não Castrado			$GPCVZ \times [(45,8) \times PCVZ^{-0,0474}]$
	Castrado	194,00	28,7	$GPCVZ \times [(48,34) \times PCVZ^{-0,0875}]$
	Fêmea			$GPCVZ \times [(86,42) \times PCVZ^{-0,6441}]$
Co ¹	Geral	6,06	13,8	$GPCVZ \times [(1,37) \times PCVZ^{0,0000}]$
Cr	Não Castrado			$GPCVZ \times [(1,32) \times PCVZ^{0,3050}]$
	Castrado	11,67	8,6	$GPCVZ \times [(1,17) \times PCVZ^{0,3900}]$
	Fêmea			$GPCVZ \times [(3,67) \times PCVZ^{-0,6311}]$

PC = Peso corporal; GPCVZ = Ganho de peso de corpo vazio; PCVZ = Peso de corpo vazio. ¹A equação pode ser simplificada como $GPCVZ \times 1,37$.

A fim de demonstrar a aplicação das equações de predição para minerais será realizada a estimativa das exigências de Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Fe, Mn, Zn, Co e Cr para um ovelho deslanado macho não castrado com peso de 30 kg e com ganho médio diário (GMD) de 0,150 kg/dia.

$$PCJ = -0,5470 + 0,9313 \times PC = -0,5470 + 0,9313 \times 30 = 27,392 \text{ kg}$$

$$PCVZ = -1,4944 + 0,8816 \times PCJ = -1,4944 + 0,8816 \times 27,392 = 22,654 \text{ kg}$$

$$GPCVZ = 0,906 \times GMD = 0,906 \times 0,150 = 0,136 \text{ kg/dia}$$

Cálcio

$$\text{Mantenção} = 23,70 \times PC = 23,70 \times 30 = 711 \text{ mg/dia} = 0,711 \text{ g/dia}$$

$$\text{Ganho} = GPCVZ \times (17,04 \times PCVZ^{-0,1652}) = 0,136 \times (17,04 \times 22,65^{-0,1652}) = 1,382 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências líquidas totais} = \text{mantenção} + \text{ganho} = 0,711 + 1,382 = 2,093 \text{ g/dia}$$

$$\text{Exigências dietéticas} = \text{exigências líquidas totais}/\text{coeficiente de retenção} = 2,093/0,543 = 3,855 \text{ g/dia}$$

Fósforo

Mantença = $25,33 \times PC = 25,33 \times 30 = 759,9$ mg/dia = 0,760 g/dia

Ganho = $GPCVZ \times (9,19 \times PCVZ^{-0,2057}) = 0,136 \times (9,19 \times 22,65^{-0,2057}) = 0,657$ g/dia

Exigências líquidas totais = manutenção + ganho = 0,760 + 0,657 = 1,417 g/dia

Exigências dietéticas = exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = $1,417 / 0,798 = 1,776$ g/dia

Magnésio

Mantença = $2,63 \times PC = 2,63 \times 30 = 78,9$ mg/dia = 0,079 g/dia

Ganho = $GPCVZ \times (0,45 \times PCVZ^{-0,0847}) = 0,136 \times (0,45 \times 22,65^{-0,0847}) = 0,047$ g/dia

Exigências líquidas totais = manutenção + ganho = 0,079 + 0,047 = 0,126 g/dia

Exigências dietéticas = exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = $0,126 / 0,085 = 1,482$ g/dia

Sódio

Mantença = $7,01 \times PC = 7,01 \times 30 = 210,3$ mg/dia = 0,210 g/dia

Ganho = $GPCVZ \times (1,67 \times PCVZ^{-0,1622}) = 0,136 \times (1,67 \times 22,65^{-0,1622}) = 0,137$ g/dia

Exigências líquidas totais = manutenção + ganho = 0,210 + 0,137 = 0,347 g/dia

Exigências dietéticas = exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = $0,347 / 0,081 = 4,285$ g/dia

Potássio

Mantença = $11,74 \times PC = 11,74 \times 30 = 352,2$ mg/dia = 0,352 g/dia

Ganho = $GPCVZ \times (1,96 \times PCVZ^{-0,0102}) = 0,136 \times (1,96 \times 22,65^{-0,0102}) = 0,258$ g/dia

Exigências líquidas totais = manutenção + ganho = 0,352 + 0,258 = 0,610 g/dia

Exigências dietéticas = exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = $0,610 / 0,05 = 12,204$ g/dia

Cobre

Mantença = $34,85 \times PC = 34,85 \times 30 = 1046 \mu\text{g/dia} = 1,046 \text{ mg/dia}$

Ganho = $GPCVZ \times (7,64 \times PCVZ^{-0,2876}) = 0,136 \times (7,64 \times 22,65^{-0,2876}) = 0,423 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = manutenção + ganho = $1,046 + 0,423 = 1,469 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = $1,469 / 0,23 = 6,38 \text{ mg/dia}$

Ferro

Mantença = $39,63 \times PC = 39,63 \times 30 = 1189 \mu\text{g/dia} = 1,189 \text{ mg/dia}$

Ganho = $GPCVZ \times (121,72 \times PCVZ^{-0,1976}) = 0,136 \times (121,72 \times 22,65^{-0,1976}) = 8,929 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = manutenção + ganho = $1,189 + 8,929 = 10,118 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = $10,118 / 0,13 = 77,830 \text{ mg/dia}$

Manganês

Mantença = $6,11 \times PC = 6,11 \times 30 = 183,3 \mu\text{g/dia} = 0,183 \text{ mg/dia}$

Ganho = $GPCVZ \times (3,51 \times PCVZ^{0,045}) = 0,136 \times (3,51 \times 22,65^{0,045}) = 0,549 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = manutenção + ganho = $0,183 + 0,549 = 0,732 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = $0,732 / 0,007 = 104,571 \text{ mg/dia}$

Zinco

Mantença = $194 \times PC = 194 \times 30 = 5820 \mu\text{g/dia} = 5,820 \text{ mg/dia}$

Ganho = $GPCVZ \times (45,80 \times PCVZ^{-0,0474}) = 0,136 \times (45,80 \times 22,65^{-0,0474}) = 5,368 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = manutenção + ganho = $5,820 + 5,368 = 11,188 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = exigências líquidas totais/coeficiente de retenção = $11,188 / 0,287 = 38,983 \text{ mg/dia}$

Cobalto

Mantença = $6,06 \times PC = 6,06 \times 30 = 181,8 \mu\text{g/dia} = 0,182 \text{ mg/dia}$

Ganho = $GPCVZ \times (1,37 \times PCVZ^{0,0000}) = 0,136 \times (1,37 \times 22,65^{0,0000}) = 0,186 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = manutenção + ganho = $0,182 + 0,186 = 0,368 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = exigências líquidas totais / coeficiente de retenção = $0,368 / 0,14 = 2,628 \text{ mg/dia}$

Cromo

Mantença = $11,67 \times PC = 11,67 \times 30 = 350,1 \mu\text{g/dia} = 0,350 \text{ mg/dia}$

Ganho = $GPCVZ \times (1,32 \times PCVZ^{0,305}) = 0,136 \times (1,32 \times 22,65^{0,305}) = 0,465 \text{ mg/dia}$

Exigências líquidas totais = manutenção + ganho = $0,350 + 0,465 = 0,815 \text{ mg/dia}$

Exigências dietéticas = exigências líquidas totais / coeficiente de retenção = $0,815 / 0,086 = 9,477 \text{ mg/dia}$

TABELAS DE EXIGÊNCIAS DE MACROMINERAIS E MICROMINERAIS PARA OVINOS DESLANADOS

As Tabelas 10.8 e 10.9 apresentam os valores estimados de exigência dietética de macro-minerais e microminerais para machos não castrados, castrados e fêmeas em crescimento com diferentes pesos corporais e níveis de ganho de peso diário.

Tabela 10.8 – Exigências dietéticas de macrominerais (g/dia) para ovinos deslanados.

PC	GMD	Machos não castrados				Machos castrados				Fêmeas				Todos os sexos	
		Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na	K	
10	0,100	2,537	1,033	0,718	2,254	2,683	1,089	0,765	2,322	2,672	1,090	0,735	2,479	5,834	
	0,150	3,587	1,392	0,918	2,948	3,807	1,475	0,988	3,050	3,790	1,476	0,948	3,285	7,577	
	0,200	4,637	1,750	1,129	3,642	4,931	1,861	1,212	3,778	4,908	1,862	1,161	4,092	9,320	
15	0,100	2,586	1,121	0,847	2,577	2,770	1,198	0,929	2,777	2,731	1,187	0,876	3,069	6,990	
	0,150	3,552	1,444	1,047	3,216	3,828	1,559	1,153	3,517	3,769	1,543	1,082	3,954	8,724	
	0,200	4,518	1,767	1,247	3,856	4,886	1,920	1,388	4,256	4,807	1,898	1,288	4,840	10,458	
20	0,100	2,701	1,237	1,012	2,942	2,906	1,326	1,094	3,225	2,850	1,308	1,022	3,614	8,152	
	0,150	3,615	1,538	1,200	3,548	3,922	1,671	1,329	3,973	3,838	1,645	1,224	4,555	9,880	
	0,200	4,529	1,840	1,388	4,153	4,939	2,017	1,565	4,720	4,827	1,982	1,425	5,497	11,608	
25	0,100	2,845	1,366	1,153	3,327	3,064	1,462	1,259	3,670	2,997	1,440	1,170	4,135	9,317	
	0,150	3,722	1,652	1,341	3,908	4,051	1,796	1,494	4,423	3,950	1,764	1,369	5,121	11,041	
	0,200	4,599	1,938	1,529	4,490	5,037	2,131	1,729	5,176	4,903	2,087	1,567	6,107	12,765	
30	0,100	3,006	1,501	1,294	3,722	3,236	1,603	1,412	4,112	3,160	1,578	1,320	4,642	10,484	
	0,150	3,855	1,776	1,482	4,285	4,199	1,929	1,659	4,870	4,085	1,891	1,516	5,665	12,204	
	0,200	4,703	2,051	1,671	4,848	5,163	2,255	1,894	5,627	5,011	2,204	1,712	6,688	13,925	
35	0,100	3,179	1,642	1,447	4,125	3,416	1,748	1,565	4,552	3,334	1,720	1,470	5,138	11,652	
	0,150	4,004	1,907	1,624	4,673	4,361	2,066	1,812	5,314	4,237	2,025	1,664	6,193	13,370	
	0,200	4,829	2,172	1,812	5,221	5,305	2,385	2,059	6,076	5,140	2,329	1,858	7,248	15,087	
40	0,100	3,358	1,785	1,588	4,533	3,603	1,895	1,729	4,992	3,515	1,865	1,622	5,627	12,821	
	0,150	4,165	2,043	1,776	5,068	4,531	2,207	1,965	5,757	4,399	2,163	1,814	6,710	14,536	
	0,200	4,971	2,300	1,953	5,604	5,460	2,520	2,212	6,522	5,283	2,460	2,006	7,793	16,251	

PC = Peso corporal; GMD = Ganhão médio diário.

Tabela 10.9 – Exigências dietéticas de microminerais (mg/dia) para ovinos deslanados.

PC	GMD	Machos não castrados				Machos castrados				Fêmeas				Todos os sexos	
		Fe	Mn	Zn	Cr	Fe	Mn	Zn	Cr	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Co
0,100	62,138	58,000	20,017	3,791	57,185	29,286	19,763	3,872	39,608	40,429	15,153	2,581	3,293	1,321	
10	91,677	82,714	26,645	5,000	84,254	39,571	26,261	5,140	57,892	56,143	19,352	3,186	4,182	1,764	
0,200	121,223	107,429	33,272	6,221	111,323	49,714	32,763	6,395	76,169	72,000	23,547	3,802	5,071	2,207	
0,100	58,038	63,571	23,084	4,872	50,146	30,857	22,578	5,105	30,315	42,857	16,199	2,919	3,810	1,536	
15	84,769	88,857	29,554	6,291	72,931	39,857	28,798	6,628	43,185	57,714	19,230	3,360	4,579	1,979	
0,200	111,500	114,143	36,024	7,709	95,723	48,714	35,017	8,163	56,062	72,429	22,258	3,802	5,347	2,421	
0,100	56,146	68,714	26,258	5,849	46,777	33,571	25,599	6,198	26,515	45,857	18,404	3,430	4,427	1,750	
20	81,169	94,286	32,627	7,419	67,108	41,714	31,641	7,942	36,731	60,143	20,847	3,779	5,125	2,193	
0,200	106,200	119,857	38,997	8,988	87,446	49,714	37,679	9,698	46,938	74,286	23,289	4,140	5,823	2,636	
0,100	55,262	73,714	29,488	6,779	44,977	36,857	28,718	7,244	24,792	49,429	21,056	4,012	5,087	1,971	
25	79,077	99,571	35,784	8,477	63,654	44,429	34,627	9,174	33,377	63,143	23,136	4,314	5,737	2,414	
0,200	102,892	125,429	42,077	10,174	82,331	52,000	40,537	11,093	41,954	77,000	25,216	4,616	6,387	2,857	
0,100	54,938	78,429	32,749	7,674	44,046	40,429	31,892	8,233	24,092	53,000	23,934	4,605	5,772	2,186	
30	77,831	104,571	38,983	9,477	61,492	47,429	37,700	10,314	31,562	66,429	25,763	4,884	6,386	2,629	
0,200	100,723	130,714	45,220	11,279	78,938	54,571	43,505	12,395	39,038	79,857	27,592	5,151	6,999	3,071	
0,100	54,977	83,286	36,031	8,535	43,646	44,143	35,105	9,186	23,985	56,857	26,944	5,233	6,473	2,400	
35	77,131	109,571	42,216	10,430	60,131	50,857	40,826	11,407	30,646	70,000	28,585	5,477	7,057	2,843	
0,200	99,285	135,857	48,404	12,326	76,615	57,714	46,551	13,628	37,300	83,143	30,226	5,721	7,642	3,286	
0,100	55,308	87,857	39,328	9,384	43,615	47,857	38,341	10,128	24,308	60,714	30,035	5,872	7,183	2,614	
40	76,846	114,429	45,470	11,372	59,385	54,429	43,993	12,477	30,308	73,571	31,533	6,093	7,744	3,057	
0,200	98,385	140,857	51,617	13,349	75,077	60,857	49,645	14,826	36,385	86,429	33,031	6,314	8,306	3,500	

PC = Peso corporal; GMD = Ganhão médio diário.

REFERÊNCIAS

- Agricultural and Food Research Council – AFRC. *A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 45p, 1991.
- Agricultural Research Council – ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. 3rd ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK, 351p, 1980.
- Almeida, L.; Barajas, R. Effect of vitamin E and chromium-L-methionine supplementation on serum levels of immunoglobulins G and M, and aspartate aminotransferase enzyme of calves recently arrived to feedlot. *Journal of Animal Science*, 77:218, 1999.
- Anderson, R. A. Chromium and parenteral nutrition. *Nutrition* (Burbank, Los Angeles County, Calif.), 11:83-86, 1995.
- Baião, E. A. M.; Perez, J. R. O.; Baião, A. A. F.; Baião, L. A.; Geraseev, L. C.; Teixeira, J. C.; Oliveira, A. N. D. Composição corporal e exigências nutricionais de magnésio, potássio e sódio de cordeiros Santa Inês e seus cruzamentos com Bergamácia, Ilé de France e Texel dos 15 aos 45 kg de peso vivo. *Ciência e Agrotecnologia*, 28: 156-166, 2004.
- Baião, E. A. M.; Perez, J. R. O.; Baião, A. A. F.; Geraseev, L. C.; Oliveira, A. N. D.; Teixeira, J. C. Composição corporal e exigências nutricionais de cálcio e fósforo para ganho em peso de cordeiros. *Ciência e Agrotecnologia*, 27: 1370-1379, 2003.
- Beede, D. K. Mineral and water nutrition. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 7: 373-390, 1991.
- Besong, S.; Jackson, J. A.; Trammell, D. S.; Akay, V. (2001). Influence of supplemental chromium on concentrations of liver triglyceride, blood metabolites and rumen VFA profile in steers fed a moderately high fat diet. *Journal of Dairy Science*, 84: 1679-1685, 2001.
- Borel, J. S.; Anderson, R. A. *Biochemistry of the Essential Ultratrace Elements*. Springer US, Plenum Press, NY, 444p, 1984.
- Braithwaite, G. D. Some observations on phosphorus homoeostasis and requirements of sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 102: 295-306, 1984.
- Braithwaite, G. D.; Riazuddin, Sh. The effect of age and level of dietary calcium intake on calcium metabolism in sheep. *British Journal of Nutrition*, 26:215-225, 1971.
- BR-CORTE. Valadares Filho, S. C.; Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L. *Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle* – BR-CORTE, 4 ed. – Viçosa: UFV, DZO. 2016.
- Brody, S. *Bioenergetics and growth*. Reinhold Publishing Corporation, NY, 1023p, 1945.
- Bronner, F.; Yost, J. H. Saturable and nonsaturable copper and calcium transport in mouse duodenum. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 249: G108-G112, 1985.
- Cabral, P. K. A.; Azevedo Silva, A. M.; Santos, E. M. J.; Marques, K. B.; Neto, S. G.; Pereira Filho, J. M. Composição corporal e exigências nutricionais em cálcio e fósforo de cordeiros Santa Inês em pastejo no semi-árido. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 30: 59-65, 2008.
- Chen, W. K.; Peterson, N. L.; Robinson, L. C. Chromium tracer diffusion in NiO crystals. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 34: 705-709, 1973.
- Conrad, H. R; Zimmerman, D. R., and Combs, G. F. NFIA. *Literature Review on Iron in Animal and Poultry Nutrition*. National Feed Ingredients Association, West Des Moines, IA, 118p. 1980.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. Collingwood, VIC: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 270 p, 2007.
- Durand, M.; Kawashima, R. Influence of minerals in rumen microbial digestion. In: Ruckebusch, Y.; Thivend, P. editors. *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*. Springer, Dordrecht, 375-408, 1980.
- Fruton, J. S.; Simmonds, S. General Biochemistry. *Soil Science*, John Wiley and Son, NY, 76:167, 1953.
- Geraseev, L. C.; Olalquiaga Perez, J. R.; Resende, K. T. D.; Silva Filho, J. C. D.; Bonagurio, S. Composição corporal e exigências nutricionais em cálcio e fósforo para ganho e manutenção de cordeiros Santa Inês dos 15 kg aos 25 kg de peso vivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29: 261-268, 2000.
- Gonzaga Neto, S., Silva Sobrinho, A. G. D., Resende, K. T. D., Zeola, N. M. B. L., Silva, A. M. D. A., Marques, C. A. T., Rombola, L. G. Composição corporal e exigências nutricionais de macrominerais para cordeiros Morada Nova. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34: 2133-2142. 2005.

- Grant, K. E.; Chandler, R. M.; Castle, A. L.; Ivy, J. L. Chromium and exercise training: effect on obese women. *Medicine and science in Sports and Exercise*, 29: 992-998, 1997.
- Grim, E. Sodium: Its absorption and transport within the body. *Sodium in Medicine and Health* (c. Moses, Ed.). Reese Press, Baltimore, Maryland, 1980.
- Hafez, E. S. E.; Hafez, B. *Reprodução animal*. Manole, São Paulo, 513p, 2004.
- Institut National de la Recherche Agronomique – INRA. *Feeding System for Ruminants*. Wageningen: Wageningen, Academic Publishers, 728p, 2018.
- Ji, S. K., Xu, G. S., Diao, Q. Y., Deng, K. D., Jiang, C. G., Yan, T. U., & Zhang, N. F. Macromineral requirements of Dorper x thin-tailed Han crossbred female lambs. *Journal of Integrative Agriculture*, 14: 1617-1626, 2015.
- Kobla, H. V.; Stella L. V. *Chromium, exercise, and body composition*. Critical reviews in food science and nutrition, 40: 291-308, 2000.
- Kornegay, E. T. *Calcium and Phosphorus in Animal Nutrition*. West Des Moines, IA, 1985.
- Kreider, R B. Dietary supplements and the promotion of muscle growth with resistance exercise. *Sports Medicine*, 27: 97-110, 1999.
- Lee, S. H.; Engle, T. E.; Hossner, K. L. Effects of dietary copper on the expression of lipogenic genes and metabolic hormones in steers. *Journal of Animal Science*, 80:1999-2005, 2002.
- Linder, M. C.; Hazegh-Azam, M. Copper biochemistry and molecular biology. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 63: 797S-811S, 1996.
- Masters, D.G.; Paynter, D.I.; Briegel, J.; Baker, S. K.; Purser, D. B. Influence of manganese intake on body, wool and testicular growth of young rams and on the concentration of manganese and the activity of manganese enzymes in tissues. *Australian Journal of Agricultural Research*, 39:517-524, 1988.
- McDowell, L. R. *Minerals in animal and human nutrition*. 1st ed. Elsevier Science BV, 644p, 2003.
- McDowell, L. R. *Minerals in animal and human nutrition*. Academic Press Inc., 1992.
- Mertz, W.; Schwartz, K. *Chromium as a trace metal and essential nutrient*. *American Journal of Physiology*, 196: 614-618, 1959.
- Moonsie-Shageer, S.; Mowat, D. N. Effect of level of supplemental chromium on performance, serum constituents, and immune status of stressed feeder calves. *Journal of Animal Science*, 71: 232-238, 1993.
- Moulton, C. R. Age and chemical development in mammals. *Journal of Biological Chemistry*, 57:79-97, 1923.
- Mowat, D. N.; Chang, X.; Yang, W. Z. Chelated chromium for stressed feeder calves. *Canadian Journal of Animal Science*, 73: 49-55, 1993.
- National Academies of Sciences Engineering and Medicine – NASEM. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 8th ed. The National Academies Press, Washington, DC, 494p. 2016.
- National Research Council – NRC. *Mineral tolerance of domestic animals*. National Academies Press, Washington, DC, 1980.
- NRC – National Research Council. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th.ed. Washington, DC: National Academy Press, 242p. 2000.
- National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th ed. National Academy Press, Washington, DC, 381p, 2001.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Sheep*. National Academy of Sciences, Washington, DC, 1975.
- National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of sheep*. 6th ed. National Academies Press, Washington, DC, 112p, 1985.
- National Research Council – NRC. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. 1st ed. National Academy Press, Washington, DC, 362p, 2007.
- Nelson, D. L.; Cox, M. M. *Princípios de Bioquímica de Lehninger*. 7.ed. Artmed Editora, 1312p, 2018.
- Offenbacher, E. G.; Pi-Sunyer, F. X.; Stoecker, B. J. Chromium. In: O'Dell, B. L.; Sunde, R. A. *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. Dekker, New York, 389-412, 1997.
- Osman, D.; Cooke, A.; Young, T. R.; Deery, E.; Robinson, N. J.; Warren, M. J. The requirement for cobalt in vitamin B12: A paradigm for protein metalation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1868: 118896, 2021.

- Pereira, E. S.; Carmo, A. B. R.; Costa, M. R. G. F.; Medeiros, A. N.; Oliveira, R. L.; Pinto, A. P.; Carneiro, M. S. S.; Lima, F. W. R.; Campos, A. C. N.; Gomes, S. P. Mineral requirements of hair sheep in tropical climates. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100: 1090-1096, 2016.
- Pereira, E. S.; Lima, F. W. R.; Campos, A. C. N.; Carneiro, M. S. S.; Silva, L. P.; Pereira, M. W. F.; Medeiros, A. N.; Bezerra, L. R.; Oliveira, R. L. Net mineral requirements for the growth and maintenance of Somali lambs. *Animal*, 13:112-118, 2018a.
- Pereira, E. S.; Lima, F. W. R.; Marcondes, M. I.; Rodrigues, J. P. P.; Campos, A. C. N.; Silva, L. P.; Bezerra, L. R.; Pereira, M. W. F.; Oliveira, R. L. Energy and protein requirements of Santa Ines lambs, a breed of hair sheep. *Animal*, 11: 2165-2174, 2017.
- Pereira, E. S.; Pereira, M. W. F.; Marcondes, M. I.; Medeiros, A. N.; Oliveira, R. L.; Silva, L. P.; Mizubuti, I. Y.; Campos, A. C. N.; Heinzen, E. L.; Veras, A. S. C.; Bezerra, L. R.; Araújo, T. L. A. C. Maintenance and growth requirements in male and female hair lambs. *Small Ruminant Research*, 159: 75-83, 2018b.
- Riggs, B. L.; Khosla, S.; Melton III, L. J. *Sex steroids and the construction and conservation of the adult skeleton*. Endocrine reviews 23: 279-302, 2002.
- Silva, I. F.; Rodrigues, R. T. S.; Queiroz, M. A. Á.; Chizzotti, M. L.; Zanetti, M. A.; Cunha, J. A.; Busato, K. C. Net requirements of calcium, phosphorus, magnesium, and sulphur for growth of non-descript breed hair lambs of different sex classes in the Brazilian semiarid conditions. *Tropical animal health and production*, 48:817-822, 2016.
- Sousa, D. L.; Marcondes, M. I.; Silva, L. P.; Lima, F. W. R.; Herbster, C. J. L.; Souza, J. G.; Rodrigues, J. P. P.; Bezerra, L. R.; Oliveira, R. L.; Pereira, E. S. Macromineral and trace element requirements for Santa Ines sheep. *Scientific Reports*, 11:1-10, 2021.
- Suttle, N. F. *Mineral nutrition of livestock*. 4th ed. CABI Head Office, 595p, 2010.
- Suttle, N. F.; Field, A. C. Effects of dietary supplements of thiomolybdates on copper and molybdenum metabolism in sheep. *Journal of Comparative Pathology*, 93: 379-389, 1983.
- Underwood, E. J. *Mineral Nutrition of Livestock*. 2nd ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough, UK, 180p, 1981.
- Underwood, E. J.; Suttle, N. F. *The mineral nutrition of livestock*. 3rd ed. London. UK: CABI Publishing, 614p, 1999.
- 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.
- Van Soest. P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press, 476p, 1994.
- Vincent, J. B. The bioinorganic chemistry of chromium (III). *Polyhedron*, 20: 1-26, 2001.
- Wasserman, R. H. Intestinal absorption of calcium and phosphorus. *Federation proceedings*, 40: 68-72, 1981.
- Weise, M.; De-Levi, S.; Barnes, K. M.; Gafni, R. I.; Abad, V.; Baron, J. Effects of estrogen on growth plate senescence and epiphyseal fusion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98: 6871-6876, 2001.
- Wright, A. J.; Mowat, D. N.; Mallard, B. A. Supplemental chromium and bovine respiratory disease vaccines for stressed feeder calves. *Canadian Journal of Animal Science*, 74: 287-295, 1994.
- Yang, W. Z.; Mowat, D. N.; Subiyatno, A.; Liptrap, R. M. Effects of chromium supplementation on early lactation performance of Holstein cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 76: 221-230, 1996.

REALIZAÇÃO



UESC



UFBA



UFC



APOIO

