

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE VETERINÁRIA

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

Metabolismo energético da perda de peso, partição energética e exigências nutricionais de energia líquida para manutenção de fêmeas da raça Guzerá, utilizando-se a respirometria

Felipe Pedrosa Melgaço

Belo Horizonte

2021

Felipe Pedrosa Melgaço

Metabolismo energético da perda de peso, partição energética e exigências nutricionais de energia líquida para manutenção de fêmeas da raça Guzerá, utilizando-se a respirometria

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

Área de concentração: Nutrição Animal

Prof. Orientador: Ricardo Reis e Silva

Prof.^a Co-orientadora: Ana Luiza da Costa Cruz Borges

Belo Horizonte

2021

M521m Melgaço, Felipe Pedrosa, 1993 -
Metabolismo energético da perda de peso, partição energética e exigências nutricionais de energia líquida para manutenção de fêmeas da raça Guzerá, utilizando-se a respirometria/ Felipe Pedrosa Melgaço. – 2021.
93 f.:il

Orientador: Ricardo Reis e Silva

Coorientadora: Ana Luiza da Costa Cruz Borges

Dissertação (Mestrado) apresentado à Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia.

Área de concentração: Nutrição de Ruminantes

Bibliografias: f. 42 - 48; f. 88 - 93.

1. Zebu - Teses – 2. Digestibilidade – Teses - 3. Dieta em veterinária – Teses –
4. Nutrição animal – Teses – I. Silva, Ricardo Reis e – II. Borges, Ana Luiza da Costa -
III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária – IV. Título.

CDD – 636 085

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569

Biblioteca da Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais

BANCA EXAMINADORA

Título: Metabolismo energético da perda de peso, partição energética e exigências nutricionais de energia líquida para manutenção de fêmeas da raça Guzerá, utilizando-se a respirometria

Estudante: Felipe Pedrosa Melgaço

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

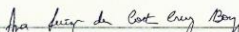
Departamento de Zootecnia - Escola de Veterinária

Universidade Federal de Minas Gerais

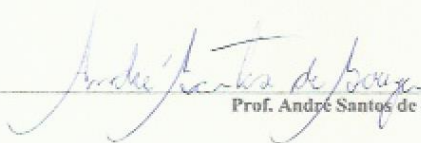
Dissertação defendida e aprovada em 15 de julho de 2021
pela comissão examinadora constituída por:



Prof. Ricardo Reis e Silva
(Orientador)



Prof.ª Ana Luiza da Costa Cruz Borges
(Co-orientadora)



Prof. André Santos de Souza



Prof. Pedro Henrique Araújo de Carvalho

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus, Nosso Senhor Jesus Cristo, meu Criador e Redentor, à Santíssima Virgem Maria, que esteve presente ao longo de toda a caminhada, ao meu Santo Anjo da guarda, aos meus amados pais e irmãos, à minha avó e ao meu avô (*in memoriam*) e a toda a minha família, aos meus estimados amigos e colegas, aos professores e mestres e ao grupo NutriRum. Sem vocês, não teria chegado até aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Nosso Senhor Jesus Cristo. À Sua Mãe, e minha, Maria Santíssima.

À minha avó Vanda, ao meu avô Jair (*in memoriam*), aos meus avós paternos Antônio e Hilda (*in memoriam*).

À minha madrinha Arlete e ao meu padrinho Paulo (*in memoriam*).

Aos meus pais João e Shirley, que me deram a vida, e por todo o amor e suporte que precisei. Sem vocês seria impossível chegar até aqui! Aos meus irmãos estimados Bruno, Juliana e Gabriela. A todos os meus amados tios e primos.

Ao Professor Ricardo, meu orientador, que me acolheu no grupo NutriRum. Pela amizade, pelos ensinamentos e pelas oportunidades.

À Professora Ana Luiza, minha co-orientadora. Pela amizade, pelos ensinamentos e pela confiança em me ceder os dados para que eu pudesse trabalhar nessa dissertação. Este trabalho só foi possível graças à senhora!

Ao André e à Anna Carolynne, que tiveram o árduo trabalho de conduzir os experimentos, por terem cedido e confiado os dados a mim.

Ao André, ao Pedro Henrique e ao Alexandre, por terem aceitado compor a banca examinadora.

Aos meus amigos e colegas do grupo NutriRum Alexandre, Arthur, Frederico, Isabela e Larissa. A todos os estudantes de iniciação científica do grupo. Sem o apoio de vocês não teria conseguido.

Aos meus amigos de profissão Ana Paula, Guilherme, Izabella, Juliana, Maria Clara, Marina, Nathalia e Rebecca.

Aos meus amigos de Fé Giovanni, Leandro, Leo, Luiz Felipe, Maurício, Padre Cristiano, Rafael, Renata e Vitor.

Aos animais, objeto de estudo desse trabalho.

À Escola de Veterinária da UFMG, que me proporcionou enorme crescimento pessoal e profissional. A todos os professores, mestres e servidores dessa escola.

À FAPEMIG por todo o apoio e suporte e ao INCT-Ciência Animal – CNPq.

À Fazenda Santa Paula pela concessão dos animais.

EPÍGRAFE

Criador inefável, que no meio dos tesouros da Vossa Sabedoria, elegestes três hierarquias de Anjos e as dispusestes numa ordem admirável acima dos Céus, que dispusestes com tanta beleza as partes do Universo, Vós, a Quem chamamos a verdadeira Fonte de Luz e de Sabedoria, e o Princípio supereminente, dignai-Vos derramar sobre as trevas da minha inteligência um raio de vossa clareza.

Afastai para longe de mim a dupla obscuridade na qual nasci: o pecado e a ignorância.

Vós, que tornais eloquente a língua das criancinhas, modelai a minha palavra e derramai nos meus lábios a graça de vossa bênção.

Dai-me a penetração da inteligência, a faculdade de lembrar-me, o método e a facilidade do estudo, a profundidade na interpretação e uma graça abundante de expressão.

Fortificai o meu estudo, dirigi o seu curso, aperfeiçoi o seu fim, Vós que sois verdadeiro Deus e verdadeiro Homem, e que viveis nos séculos dos séculos.

Amém.

(São Tomás de Aquino)

RESUMO

Objetivou-se com esse trabalho estudar a partição energética e as exigências nutricionais de energia líquida para manutenção em 34 fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto em diferentes planos alimentares, e estudar a dinâmica metabólica da perda de peso em 6 fêmeas Guzerá na fase de crescimento. Os animais tinham peso vivo médio de 451,53 kg (variando de 211,50 a 628,50 kg) e foram submetidos a ensaios de consumo e digestibilidade e a mensurações em câmara respirométrica para se determinar a produção calor e a produção de metano. Os animais foram submetidos aos níveis de consumo a nível de manutenção, controlado e *ad libitum*, permitindo ganhos de 0,100; 0,500 e 1,0 kg/d, respectivamente. O aumento do nível do consumo levou à redução na digestibilidade da matéria seca (MS) e da matéria orgânica (MO) em 1,25% ($P = 0,0045$) e 1,39% ($P < 0,0001$), respectivamente, a cada uma unidade de aumento do consumo de matéria seca (kg/d). A eficiência da conversão da energia bruta em energia digestível (ED/EB) foi de 0,75, e a eficiência da conversão da energia digestível em energia metabolizável (EM/ED) foi de 0,85. A produção diária de metano foi 181,97 L, e com o aumento do nível de consumo observou-se aumento da produção absoluta de metano e redução da produção de metano e da perda de energia de metano por quilograma de MS consumida. A metabolizabilidade (q) média das dietas foi 0,63 e apresentou tendência de redução com o aumento do consumo de MS em porcentagem do peso vivo ($P = 0,07$). Foi determinada a exigência de energia líquida para manutenção (ELm) de 12 animais em fase de crescimento. Além disso, estudou-se o metabolismo da mobilização de reservas energéticas em câmara respirométrica em seis animais com discreta perda de peso (em média 0,11 kg/d), por meio da respirometria. Esses animais mobilizaram, em média, 51,85 kcal/kg PVZ^{0,75}. O quociente respiratório (QR) médio dos animais em jejum foi 0,58. O QR médio dos animais submetidos à respirometria em estado alimentado foi 0,82. Animais em perda de peso ajustaram sua ELm (produção de calor em jejum, PCj) para 54,43 kcal/kg de PVZ^{0,75}, sendo que nos animais em consumo *ad libitum* a PCj foi 111,5 kcal/kg de PVZ^{0,75}. A ELm de fêmeas da raça Guzerá em crescimento foi 68,44 kcal/kg PVZ^{0,75}, a EMm foi 102 kcal/kg PVZ^{0,75} e a eficiência do uso da energia metabolizável para a manutenção, o km, foi de 0,67.

Palavras-chave: Crescimento. Calorimetria. Zebuínos.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the energy partition and the net energy requirement for maintenance in 34 Guzerat females from weaning to adult weight and the metabolic dynamic of the weight loss in 6 growing Guzerat females. The average weight of the animals was 451,53 kg, ranging from 211,50 to 628,50 kg. The feed consumption of the animals and the digestibility of the diet were determined and then, the animals were submitted to respirometry to determine their heat production and methane production. The animals were fed at three levels of diet intake: maintenance, moderate, and *ad libitum*, to allow average daily gains of 0,100, 0,500 e 1,0 kg/d, respectively. The increase of the level of consumption led to a reduction in dry matter (DM) and organic matter (OM) digestibility at the rates of 1,25% ($P = 0,0045$) and 1,39% ($P < 0,0001$) at each increase in a unit of DM intake (kg/d). The efficiency of converting gross energy to digestible energy (DE/GE) was on average 0,75 and the efficiency of converting digestible energy to metabolizable energy (ME/DE) was on average 0,85. Methane production was on average 181,97 L/d and its daily production increased as the level of intake increased. However, methane production and energy lost as methane per kilogram of DM consumed decreased as the level of feed intake increased. The metabolizability (q) of the diets was on average 0,63 and tended to decrease as the consumption of DM as a percentage of live weight increased ($P = 0,07$). The net energy requirement of 12 growing animals was determined by linear regression between the logarithm of heat production of fed animals and their consumption of metabolizable energy. In addition, the metabolism of body energy reserves mobilization in six animals with slight weight loss (0,11 kg/d) was studied using respirometry. These animals mobilized, on average, 51,85 kcal/kg PVZ^{0,75}. The mean respiratory quotient (RQ) of fasting animals was 0,58. The mean QR of fed animals submitted to respirometry was 0,82. Fasting heat production (FHP) at restricted and *ad libitum* levels of intake were 54,43 e 111,5 kcal/kg PVZ^{0,75}, respectively. The NEm for growing Guzerat females was 68,44 kcal/kg PVZ^{0,75}, the MEM was 102 kcal/kg PVZ^{0,75}, and the efficiency of the use of metabolizable energy for maintenance (km) was 0,67.

Keywords: Growth. Calorimetry. Zebu cattle.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1 - Partição energética em ruminantes. Adaptado de Baldwin e Sainz (1995).....17
- Figura 2 - Partição da energia metabolizável consumida. Adaptado de Williams e Jenkins (2003a).....20
- Figura 3 - Esquema da câmara respirométrica. Adaptado de Silva et al. (2018).....27
- Figura 4 - Relação entre a energia retida (ER) e consumo de energia metabolizável (CEM). PV, peso vivo; km, eficiência da conversão da energia metabolizável para energia líquida para manutenção; kg, eficiência da conversão da energia metabolizável para energia líquida para ganho. Adaptado de Ferrel e Oltjen (2008).....32

CAPÍTULO II

- Figura 1 - Relação entre a digestibilidade da matéria seca (DMS) em função do consumo de matéria seca (CMS) em fêmeas da raça Guzará em crescimento ($R^2 = 0,6814$, $P < 0,001$) (experimento 1, $n = 12$).....60
- Figura 2 - Relação entre a digestibilidade da matéria orgânica (DMO) em função do consumo de matéria seca (CMS) em novilhas da raça Guzará em crescimento ($R^2 = 0,8362$, $P < 0,0001$) (experimento 1, $n = 12$).....61
- Figura 3 - Relação entre a digestibilidade da matéria orgânica (DMO) em função da digestibilidade da matéria seca (DMS) em fêmeas Guzará da desmama à idade adulta ($R^2 = 0,9632$, $P < 0,0001$) ($n = 34$).....62
- Figura 4 - Relação entre o teor de nutrientes digestíveis totais da dieta (NDT) em função da digestibilidade da matéria orgânica (DMO) em fêmeas da raça Guzará em crescimento (experimento 1, $n = 12$).....65
- Figura 5 - Relação entre o consumo de energia digestível (CED) em função do consumo de energia bruta (CEB) em fêmeas Guzará da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,9626$, $P < 0,0001$) ($n = 34$).....67
- Figura 6 - Relação entre concentração de energia metabolizável (EM) em função da energia digestível (ED) em dietas de fêmeas Guzará da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,8187$, $P < 0,0001$) ($n = 22$).....68

Figura 7 - Relação entre o consumo de energia metabolizável (CEM) em função do consumo de energia digestível (CED) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,9983$, $P < 0,0001$) ($n = 22$).....	69
Figura 8 - Equações de regressão propostas pelo NRC (2001), Borges et al. (2016), Galyean et al. (2016), e a equação obtida no presente estudo para se determinar a concentração de energia metabolizável (Mcal/kg de MS) a partir a concentração de energia digestível (Mcal/kg de MS) da dieta em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($n = 22$).....	71
Figura 9 - Relação entre a produção diária de metano (CH_4) em função do consumo de matéria seca (CMS) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,8509$, $P < 0,0001$) ($n = 22$).....	73
Figura 10 - Relação entre a produção diária de metano (CH_4) por quilograma de matéria seca consumida (MS) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,7642$, $P < 0,0001$) ($n = 22$).....	75
Figura 11 - Relação entre a produção de metano (L/kg de MS ingerida) ($R^2 = 7571$, $P < 0,0001$) e da perda de energia na forma de metano (Mcal/kg de MS ingerida) ($R^2 = 7586$, $P < 0,0001$) em função do consumo de FDNcp (kg/d).....	76
Figura 12 - Relação entre a perda de energia bruta (EB) na urina por quilograma de matéria seca consumida (MS) em função do consumo de matéria seca (CMS) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,4642$, $P < 0,001$) ($n = 22$).....	77
Figura 13 - Relação entre a energia bruta perdida nas fezes, na urina e no metano por quilograma de matéria seca consumida e a metabolizabilidade (q) em função do consumo de matéria seca (%PV) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($n = 22$).....	79

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Consumo de oxigênio e produção de gás carbônico, expressos em litros, e quociente respiratório da oxidação de carboidratos, lipídeos, proteína e ácidos graxos voláteis.....	28
Tabela 2 - Fatores que podem levar a um valor de QR inferior a 0,70.....	30
Tabela 3 - Massa, fluxo sanguíneo e gasto estimados de energia estimados de tecidos e órgãos de ruminantes.....	37
Tabela 4 - Composição do corpo vazio em diferentes escores de condição corporal relativos à energia líquida fornecida pela perda de peso vivo em vacas de corte.....	41

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Estatística descritiva das dietas experimentais.....	53
Tabela 2 - Equações e parâmetros utilizados para obtenção das exigências nutricionais de energia líquida de manutenção em novilhas Guzerá em crescimento.....	57
Tabela 3 - Estatística descritiva do consumo e da digestibilidade aparente da matéria seca, da matéria orgânica e dos nutrientes.....	59
Tabela 4 - Consumo de nutrientes digestíveis totais por fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto.....	63
Tabela 5 - Partição energética em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto e a concentração energética das dietas.....	66
Tabela 6 - Relação entre a energia bruta perdida na forma de metano e os consumos de matéria seca, de energia bruta, digestível e metabolizável.....	74
Tabela 7 - Consumo de oxigênio, produção de gás carbônico, quociente respiratório médios, produção de calor e incremento calórico, em estado alimentado e em jejum, de novilhas Guzerá em crescimento ¹	80

Tabela 8 – Estimativa da produção de calor referente à mobilização de reservas corporais, fracionamento da energia mobilizada, produção de calor em jejum corrigido para produção de calor da mobilização de reservas corporais em novilhas Guzerá em crescimento, com perda de peso.....82

Tabela 9 – Produção de calor em jejum em plano alimentar restrito, *ad libitum* e exigência de energia líquida para manutenção obtida por regressão linear, em peso vivo vazio metabólico, de novilhas Guzerá em crescimento.....83

Tabela 10 - Exigências nutricionais de nutrientes digestíveis totais, energia metabolizável e energia líquida de manutenção por dia para fêmeas da raça Guzerá em crescimento.....85

LISTA DE ABREVIATURAS

ATP	Adenosina trifosfato
CEB	Consumo de energia bruta
CED	Consumo de energia digestível
CEM	Consumo de energia metabolizável
CH ₄	Metano
CHOT	Carboidratos totais
CNDT	Consumo de nutrientes digestíveis totais
CNF	Carboidratos não fibrosos
CO ₂	Dióxido de carbono
EB	Energia bruta
ECC	Esconde de condição corporal
ED	Energia digestível
EE	Extrato etéreo
EL	Energia líquida
ELm	Energia líquida de manutenção
EM	Energia metabolizável
EMm	Energia metabolizável de manutenção
ER	Energia retida

FDA	Fibra em detergente ácido
FDN	Fibra em detergente neutro
FDNcp	Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína
g	Gramma
H ₂	Gás hidrogênio
IC	Incremento calórico
Kcal	Quilocaloria
kg	Quilograma
kg	Eficiência da utilização da energia metabolizável para ganho
km	Eficiência da utilização da energia metabolizável para manutenção
L	Litros
Mcal	Megacalorias
MO	Matéria orgânica
MS	Matéria seca
NDT	Nutrientes digestíveis totais
Nur	Nitrogênio urinário
O ₂	Gás oxigênio
PB	Proteína bruta
PC	Produção de calor
PV	Peso vivo
PVj	Peso vivo em jejum
PVZ	Peso vivo vazio
q	Metabolizabilidade da energia bruta
QR	Quociente respiratório
TGI	Trato gastrointestinal

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA	17
1.1. – PARTIÇÃO ENERGÉTICA EM RUMINANTES	17
1.1.1. – Energia bruta, energia digestível e energia metabolizável	17
1.1.2. – Metabolizabilidade	22
1.1.3. – Produção de metano.....	23
1.1.4. – Nutrientes digestíveis totais.....	24
1.2. – RESPIROMETRIA	26
1.2.1. – Quociente Respiratório (QR).....	28
1.3. – EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA	31
1.3.1. – Metabolismo basal.....	33
1.3.2. – Exigências de energia líquida para manutenção em bovinos	34
1.3.2.1. – Fatores que afetam as exigências nutricionais de energia em bovinos de corte.....	35
1.3.2.1.1. – Raça	35
1.3.2.1.2. – Nível de produção.....	36
1.3.2.1.3. – Classe sexual	37
1.3.2.1.4. – Idade	38
1.3.2.1.5. – Atividade física.....	38
1.3.2.1.6. – Temperatura.....	39
1.3.2.1.7. – Plano nutricional prévio	39
1.3.3. – Mobilização de reservas corporais de energia para suprir as exigências de manutenção.....	40
1.4. – CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
1.5. – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
CAPÍTULO II – METABOLISMO ENERGÉTICO DA PERDA DE PESO, PARTIÇÃO ENERGÉTICA E EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA LÍQUIDA PARA MANTENÇA DE FÊMEAS DA RAÇA GUZERÁ, UTILIZANDO-SE A RESPIROMETRIA	49
2.1. – INTRODUÇÃO.....	49
2.2. – MATERIAL E MÉTODOS.....	50
2.2.1. – Animais e dietas experimentais	50
2.2.2. – Consumo e digestibilidade	52
2.2.3. – Partição energética, respirometria e exigências nutricionais de energia para manutenção	53
2.2.3.1 – Exigências nutricionais em animais em discreta perda de peso	55

2.2.4. – Análises estatísticas	58
2.3. – RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
2.3.1. – Consumo e digestibilidade	59
2.3.2. – Consumo de nutrientes digestíveis totais	63
2.3.3. – Partição energética.....	66
2.3.3.1. – Produção de metano e perdas energéticas na forma de metano e urina	73
2.3.3.2. – Metabolizabilidade	78
2.3.4. – Respirimetria	80
2.3.5. – Exigências nutricionais de energia líquida para manutenção.....	82
2.4. – CONCLUSÕES	87
2.5. – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

INTRODUÇÃO GERAL

Os animais da raça Guzerá ocupam o quarto lugar entre as raças zebuínas registradas na Associação Brasileira dos Criadores de Zebu (ABCZ, 2020), sendo cerca de 767.234 animais em 2020. Animais da raça Guzerá são bem adaptados às condições de produção tropicais, são rústicos e são criados para a produção tanto de carne quanto de leite. Apesar de sua importância para a pecuária nacional, faltam dados na literatura a respeito das exigências nutricionais desses animais, particularmente daqueles relacionados com a produção leiteira.

Os comitês internacionais de nutrição de bovinos utilizam bancos de dados de animais taurinos, criados em condições temperadas e alimentados com alimentos e dietas frequentemente diversos dos utilizados no Brasil. Algumas das recomendações e ajustes em seus modelos não condizem com o que é reportado na literatura sobre os animais produzidos no Brasil. Por esse motivo, estudos nacionais de exigência nutricional de zebuínos e seus cruzados leiteiros precisam ser realizados para alimentar o banco de dados brasileiro.

A respirometria é uma técnica precisa e pode fornecer informações da dinâmica do metabolismo energético. Como característica particularmente interessante para bovinos leiteiros e de alto valor agregado, permite estudar o metabolismo de um mesmo animal em todas as fases de crescimento e estádios fisiológicos. A respirometria também serve como complemento à metodologia de abate comparativo, pois permite a determinação da produção de metano e a da eficiência do uso da energia consumida (Silva et al., 2018).

Atender as exigências de energia para manutenção em bovinos em crescimento é fundamental para se maximizar o desempenho produtivo dos animais. É necessário estudar e determinar as exigências de energia para manutenção, com base nos alimentos e condições edafoclimáticas brasileiros. Para zebuínos leiteiros, os dados são ainda escassos, sendo que as exigências de manutenção de matrizes zebuínas ou cruzadas precisam ser melhor elucidadas.

Objetivou-se com esse trabalho estudar a partição energética e as exigências nutricionais de energia líquida para manutenção em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto em diferentes planos alimentares, e estudar as dinâmicas metabólicas da perda de peso em fêmeas Guzerá na fase de crescimento.

CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA

1.1. – PARTIÇÃO ENERGÉTICA EM RUMINANTES

1.1.1. – Energia bruta, energia digestível e energia metabolizável

A partição energética estuda a transformação da energia consumida pelos ruminantes. A energia não pode ser criada ou destruída, mas apenas transformada, e todas as formas de energia podem ser transformadas em calor, como pressupõem as 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica. Tais Leis são a base para as mensurações e cálculos utilizados na nutrição animal (Ferrel e Oltjen, 2008). A unidade mais utilizada para se expressar energia nos estudos de energética animal no Brasil é a caloria. Uma caloria equivale ao calor necessário para aumentar a temperatura de 1 grama de água de 16,5° a 17,5° C (NRC, 2000), e equivale a 4,184 joules, unidade de medida comumente utilizada em sistemas de nutrição animal europeus. A partição energética e as fontes de ineficiências ou perdas de energia na digestão e metabolismo da energia consumida estão representadas na figura 1.

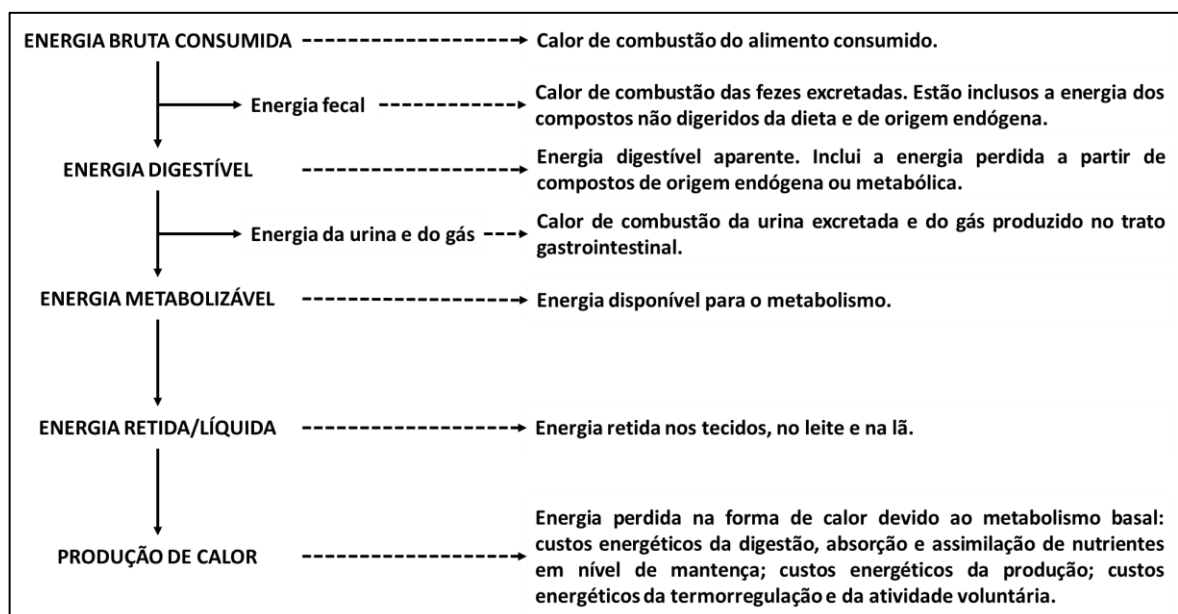


Figura 1 – Partição energética em ruminantes. Adaptado de Baldwin e Sainz (1995).

O ponto de partida do estudo de partição energética consiste na determinação da energia bruta (EB), em bomba calorimétrica adiabática, dos alimentos e/ou dietas, assim como de fezes e urina excretadas. Ao longo dos processos digestivos, não é possível recuperar completamente a energia consumida, devido a ineficiências energéticas inerentes à digestão e metabolismo no animal.

A EB da dieta depende dos valores calóricos de proteínas, de carboidratos e de lipídeos, e de suas proporções na composição nutricional da dieta. Os carboidratos, as proteínas e os lipídeos que compõem a matéria orgânica do alimento contêm cerca de 4,2, 5,4 e 9,4 kcal/g, respectivamente. Tais valores podem ser utilizados para se estimar o teor de EB da dieta, em função das concentrações desses nutrientes na dieta (NRC, 2001). Além desses compostos orgânicos, os alimentos contêm matéria mineral, a partir da qual não é possível obter energia e não possui calor de combustão, apesar de certos minerais serem essenciais para o metabolismo animal. Geralmente o teor de EB não varia muito entre as dietas e, por si só, não nos dá informações sobre as características qualitativas da dieta.

A partir da energia digestível (ED), inicia-se propriamente a qualificação das dietas, já que a ED consiste na EB consumida subtraída da EB perdida nas fezes, a principal fonte de perda da energia consumida. Dietas menos digestíveis levam à maior perda de energia nas fezes (Owens et al., 2010). A energia perdida nas fezes, em relação à EB consumida, pode representar desde 20%, para alimentos mais digestíveis, a 80%, para alimentos menos digestíveis (CSIRO, 2007). O NRC (2000) reporta que a perda de energia nas fezes pode chegar a 70% para forragens maduras, e 10% para grãos de cereais de alta qualidade. De acordo com Owens et al. (2010), a perda de matéria orgânica fecal está relacionada principalmente ao teor dos componentes fibrosos do alimento.

A energia perdida nas fezes é constituída tanto pela digesta que não foi degradada ao longo do trato gastrointestinal (TGI), quanto por secreções e substâncias endógenas do animal, como enzimas, muco e células de descamação acumulados ao longo do TGI. Por esse motivo, a ED na verdade é aparentemente digestível (CSIRO, 2007). A ED verdadeira, depois de se retirar as perdas endógenas de energia nas fezes, geralmente é maior que a obtida por digestibilidade aparente (Owens et al., 2010). A subestimativa da digestibilidade da energia, ou de um nutriente é, portanto, inerente à metodologia.

Ainda há outra limitação no uso da ED para se determinar o valor energético de dietas para ruminantes. De acordo com o NRC (2000), a ED de alimentos volumosos é superestimada,

pois parte da energia que não foi perdida nas fezes, é perdida na forma de urina e gás, principalmente o metano. No entanto, essa perda energética não é descontada na ED. As perdas na forma de metano podem variar de 5 a 12% e as perdas na forma de urina de 3 a 5% da ED (Van Soest, 1994).

Assim, após descontar as perdas de energia na forma de urina e gás da ED, obtêm-se a fração da energia que de fato está disponível para utilização pelo organismo para as diversas funções, como manutenção, crescimento e lactação. Essa fração se denomina energia metabolizável (EM), e sua concentração na dieta varia em função do tamanho de partícula dos alimentos, do nível de alimentação, de efeitos associativos entre alimentos/nutrientes e do estado fisiológico do animal (CSIRO, 2007).

A eficiência da conversão da ED em EM é um indicador muito utilizado na nutrição de ruminantes, por informar a fração da ED perdida na forma de urina e gases, principalmente em função dos processos digestivos que ocorrem no retículo-rúmen. Diversos comitês internacionais propõem valores fixos para essa relação: 0,82 (ARC, 1980); 0,81 a 0,86 (AFRC, 1993); 0,82 (NRC, 2000); 0,81 (CSIRO, 2007). O BCNRM (2016) sugere a utilização do fator 0,82, mas reconhece a necessidade de se realizar mais estudos para se determinar a relação de EM/ED, ao invés de se utilizar um fator fixo. Isso se dá, pois as perdas de energia na urina e como gases dependem da composição nutricional de alimentos e dietas, do nível de consumo, da taxa de digestão, taxa de passagem e do uso de aditivos alimentares, como ionóforos (NRC, 2000; BCNRM, 2016).

A estimativa da relação EM/ED, por modelos de predição obtidos em condições de produção ou estudo semelhantes às quais serão aplicados, podem aumentar a acurácia na descrição da qualidade de uma dieta. A regressão linear simples entre a EM e a ED, ao invés do valor constante de 0,82, foi proposta por Galyean et al. (2016), pela equação:

$$EM = -0,2999 + 0,9611 \times ED \quad (R^2 = 0,986)$$

Em que EM é a energia metabolizável e ED a energia digestível, ambas expressas em mega calorias por quilograma de matéria seca.

No sistema de nutrição de bovinos de corte brasileiro, o BR-CORTE, Borges et al. (2016) compilaram informações de produção de metano de animais zebuínos puros ou cruzados em câmara respirométrica de diversos experimentos. Os autores reportaram que todos os

valores encontrados para a relação EM/ED foram superiores a 0,82. A equação de regressão linear adotada pelo sistema foi:

$$EM = -0,3032 + 0,9455 \times ED \quad (R^2 = 0,7911)$$

Em que CEM é consumo de energia metabolizável e CED é consumo de energia digestível, ambos expressos em megacalorias por dia.

O NRC (2001) também adota uma equação de regressão linear para estimar o teor de EM da dieta:

$$EM = -0,45 + 1,01 \times ED$$

Em que EM é a energia metabolizável e ED a energia digestível, ambas expressas em megacalorias por quilograma de matéria seca.

A EM consumida poderá ser destinada para diversas funções no organismo. Parte da EM servirá para atender às exigências nutricionais de energia para manutenção (EMm), e parte será perdida na forma de calor, em decorrência da ineficiência dos processos digestivos e metabólicos. Na figura 2 está representada o modelo de partição da EM consumida, proposta por **Williams e Jenkins (2003a)**.

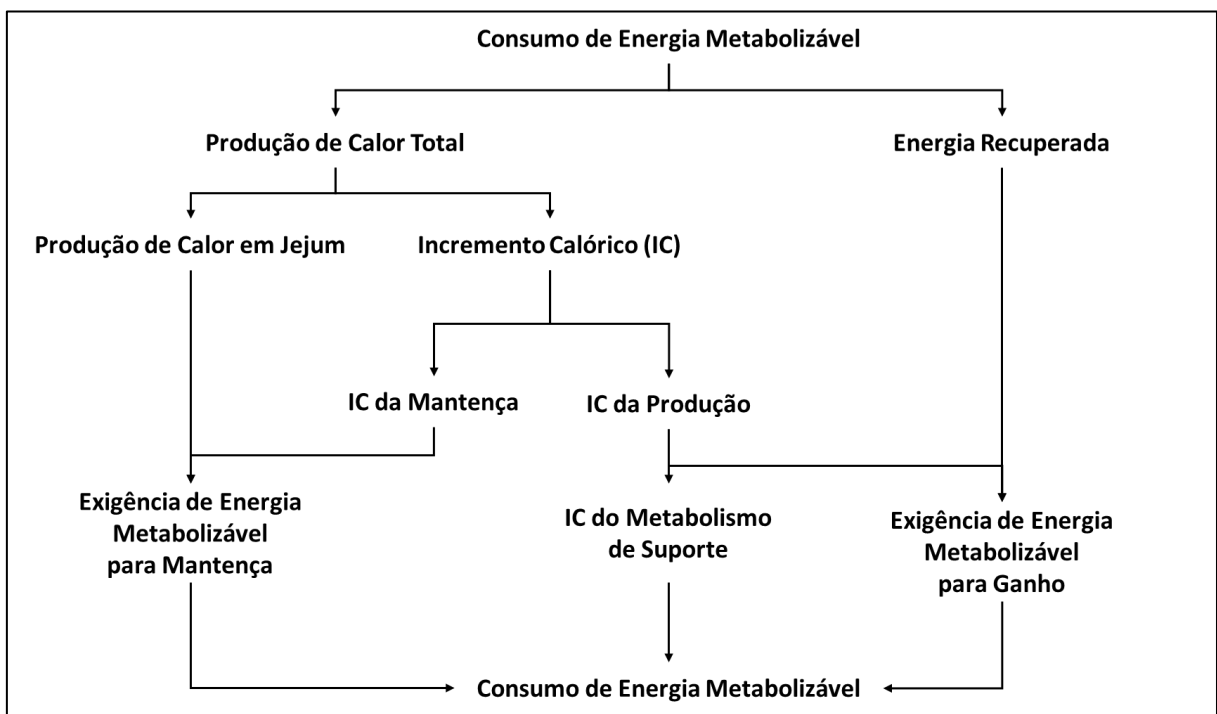


Figura 2 – Partição da energia metabolizável consumida. Adaptado de Williams e Jenkins (2003a).

A EM consumida pode ser desdobrada ainda em energia líquida (EL) e incremento calórico (IC). A EL consiste na quantidade de energia que vai ser utilizada para a manutenção dos processos vitais basais, ser depositada na forma de tecido, ser secretada como leite, ou ser depositada no conceito, entre outras funções. Em nível de manutenção, o consumo de EM (CEM) se iguala às exigências de EMm, e a retenção de energia é zero. A produção de calor oriunda do metabolismo basal consiste no calor produzido em jejum que, juntamente com o incremento calórico da manutenção, constituem a exigência metabolizável de manutenção (Williams e Jenkins, 2003a).

Em nível de produção, o CEM é superior à exigência de EMm. Parte da EM consumida é retida no organismo. Parte é perdida como calor. Na produção de calor total, além da exigência de EM para manutenção, estão acrescidos o incremento calórico dos processos metabólicos relacionados à produção, que em parte está relacionado aos processos de transformação dos precursores absorvidos no consumo em energia retida e aos processos metabólicos que não envolvem diretamente a deposição de tecidos, como por exemplo o aumento de frequência cardíaca e respiratória, aumento de fluxo sanguíneo etc. (Williams e Jenkins, 2003a). Resumidamente, a EM consumida é igual à PC mais a energia retida ou recuperada, sendo a energia retida nas formas de gordura e proteína no corpo (Johnson, 1986).

A partição da PC é complexa e controversa. A PC é constituída pela produção de calor do metabolismo basal em jejum, pelo calor da regulação térmica, pela atividade voluntária e pelo IC, que consiste no calor perdido pela fermentação e digestão da dieta, pela absorção e assimilação dos nutrientes, pelo calor perdido na excreção de urina e pelo calor da formação de produtos (NRC, 1981b).

Quando o CEM é inferior às exigências de EM para manutenção, ocorre mobilização das reservas corporais. Em nível de produção, o CEM é maior que a exigência de EMm. Parte é recuperada como ER e parte perdida como IC de produção ou ganho.

O desempenho dos animais depende de diversos fatores, dentre eles o consumo de energia (Mertens, 1994). O consumo é o principal fator determinante no valor energético dos alimentos para os ruminantes, chegando a ser responsável por 90% na variação da quantidade de energia consumida (Reid, 1961). Dessa forma, o consumo de energia, mais do que o valor energético dos alimentos em si, tem maior impacto sobre o desempenho animal.

1.1.2. – Metabolizabilidade

A metabolizabilidade consiste na eficiência da conversão da energia bruta em energia metabolizável, sendo representada pela relação EM/EB (ARC, 1980). É a fração da EB da dieta que está disponível para utilização pelo organismo para as diversas funções, como manutenção, crescimento e lactação. A metabolizabilidade é representada pela letra q.

A metabolizabilidade pode variar em função das classes de alimentos, principalmente devido às concentrações de fibra e proteína bruta das dietas. O aumento do teor de fibra e da proteína na matéria orgânica da dieta pode levar à redução da metabolizabilidade (Blaxter e Boyne, 1978). Além disso, é necessário que haja sincronia entre a disponibilidade de energia e proteína no rúmen, para que os micro-organismos ruminais capturem o nitrogênio proveniente da dieta para sintetizar sua própria proteína. Caso não haja energia suficiente disponível para os micro-organismos, pode haver aumento do gasto energético pelo animal para metabolizar a amônia não utilizada pelos micro-organismos a ureia (Clark et al., 1992).

Em meta-análise sobre a relação entre as características das dietas de ruminantes e o fluxo portal de nitrogênio, Martineau et al. (2011) observaram que o fornecimento de energia foi positivamente relacionado com o aparecimento portal de aminoácidos. Os autores também observaram que o aumento do fornecimento de energia foi negativamente relacionado ao aparecimento líquido portal de amônia, em níveis similares de consumo de nitrogênio. O acréscimo de energia no ambiente ruminal aumenta a captura de nitrogênio para síntese de proteína microbiana. O aumento do aparecimento líquido de amônia no sistema porta pode significar maior gasto de energia para metabolizar a amônia em ureia pelo animal e menor eficiência de síntese de proteína microbiana, podendo haver redução na metabolizabilidade da dieta.

A redução da metabolizabilidade pode se dar também pelo aumento da taxa de passagem da digesta e pela redução da digestão dos carboidratos da dieta (Geay, 1984). O aumento do consumo pode levar à redução do tempo de retenção da digesta no TGI, e conseqüentemente à redução do tempo de exposição da digesta à fermentação microbiana no rúmen.

A metabolizabilidade é menos influenciada pelo consumo do que a digestibilidade aparente (Williams e Jenkins, 2003b). De acordo com o ARC (1980), o aumento da perda de energia na forma de fezes com a redução da digestibilidade, pelo aumento da taxa de passagem,

é contrabalanceado pela redução nas perdas de energia nas formas de urina e metano. Por esse motivo, a metabolizabilidade, por considerar as perdas energéticas na forma de urina e gás, é um indicador de qualidade da dieta consumida muito mais preciso para o estudo da partição energética em ruminantes.

1.1.3. – Produção de metano

O rúmen é um ambiente anaeróbico, e as bactérias ruminais obtêm energia para seu crescimento principalmente por meio da fermentação anaeróbica dos carboidratos, por glicólise via Embden-Meyerhof-Parnas, o que resulta na produção de ácidos graxos voláteis e de gases CO_2 e H_2 (Morgavi et al., 2010). O aumento da pressão de H_2 no ambiente ruminal pode prejudicar a fermentação microbiana ao diminuir a disponibilidade de agentes redutores, com acúmulo da forma reduzida da nicotinamida dinucleotídeo, o NADH. Com o objetivo de reduzir a pressão de H_2 no ambiente ruminal, e maximizar o rendimento energético da fermentação anaeróbica disponibilizando NAD^+ para atuar como cofator nas enzimas gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase e piruvato desidrogenase, há a formação de metano (CH_4). Isso permite maior rendimento de ATP/mol de glicose fermentada (Church, 1988).

Os principais micro-organismos envolvidos com a produção de H_2 são as bactérias fibrolíticas e alguns protozoários, em especial os ciliados. A produção de metano se dá por um grupo de micro-organismos ruminais denominados *Archae* metanogênicas, e elas utilizam como substrato o H_2 , o CO_2 e o formato para produzir CH_4 (Morgavi et al., 2010). Por esse motivo, a quantidade de metano depende do tipo de carboidratos fermentados e do tipo de micro-organismo presente no rúmen. Em dietas ricas em alimentos volumosos, há maior produção de CH_4 por molécula de glicose fermentada, devido à maior produção de acetato, em relação às dietas ricas em concentrado (Church, 1988).

Se a fermentação ruminal fica comprometida, a produção de proteína microbiana também é prejudicada, reduzindo o seu aporte para o intestino delgado. A redução de CO_2 a CH_4 é energeticamente favorável para os micro-organismos metanogênicos (McAllister e Newbold, 2008). Por isso, do ponto de vista da ecologia microbiana, do rendimento de energia para o micro-organismo e da síntese de proteína microbiana para o ruminante, a produção de

metano se faz necessária, apesar de representar uma fonte de perda de energia, já que um litro de CH₄ equivale a 9,45 kcal (Brouwer, 1965).

O aumento da quantidade de alimento fornecido leva ao aumento da produção absoluta de metano, devido à maior disponibilidade de matéria orgânica fermentável. Porém, ao se relativizar a produção de metano por unidade de alimento consumido, observa-se a redução de sua produção com o aumento do consumo (Jentsch et al., 2007). E mesmo o aumento na produção absoluta de metano, com o aumento do nível de consumo, pode se dar em taxas decrescentes (Blaxter e Clapperton, 1965). A redução da produção de metano por quilograma de MS consumida, em função do aumento do consumo, pode se dar pela maior taxa de passagem e menor permanência da digesta no rúmen (McAllister et al., 1996; Jentsch et al., 2007).

1.1.4. – Nutrientes digestíveis totais

Os nutrientes digestíveis totais (NDT) consistem na soma das frações aparentemente digestíveis da proteína bruta, do extrato etéreo e dos carboidratos consumidos, que são obtidos em ensaios de digestibilidade. De acordo com Sniffen et al. (1992), o consumo de NDT pode ser determinado a partir da seguinte equação:

$$CNDT = (CPB - PBf) + 2,25(CEE - EEf) + (CCHOT - CHOTf)$$

Em que CNDT, CPB, CEE e CCHOT significam consumo de NDT, de proteína bruta, de extrato etéreo e de carboidratos totais em quilos por dia, respectivamente; e PBf, EEf e CHOTf a quantidade de proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos totais excretados nas fezes em quilogramas por dia. De acordo com o ARC (1980), o NDT de uma dieta pode ser estimado ao se considerar que 1 kg de NDT equivale a 4,4 Mcal de ED consumida.

O sistema NDT é largamente utilizado no Brasil. Isso ocorre pois é possível se expressar as exigências de nutrientes pelos animais em porcentagem da dieta ou em quilograma por dia. Além dessa facilidade para a prática em campo, o banco de dados de tabelas de alimentos no Brasil tem mais dados de NDT do que concentrações de ED e EM dos alimentos.

No entanto, o sistema apresenta limitações em comparação com sistemas mais modernos como os de energia metabolizável e líquida. O sistema NDT é aditivo, empírico e estático. É aditivo pois o NDT é determinado pela soma das frações digestíveis dos nutrientes.

É empírico pois o sistema não busca explicar os processos digestivos e metabólicos que levam à excreção fecal e, principalmente, às perdas urinária e gasosa. Outro fator limitante é que o NDT é determinado em consumo em nível de manutenção. Aplicar tais valores de NDT para alimentos e dietas consumidos por animais com nível de consumo acima da manutenção pode levar a estimativas menos acuradas. O sistema NDT é estático pois a determinação da concentração de NDT das dietas é feita pontualmente, no período de ensaio de consumo e digestibilidade. As coletas de fezes para se determinar a digestibilidade das proteínas, do extrato etéreo e dos carboidratos dos alimentos e das dietas são pontuais, geralmente uma ou duas vezes ao longo do período experimental (Baldwin e Sainz, 1995).

Um dos maiores problemas do sistema NDT é que o valor obtido para os nutrientes de volumosos e concentrados não é aditivo quando utilizado para ruminantes, como o sistema propõe. Diferentemente do que ocorrem em animais monogástricos, nos ruminantes o efeito associativo entre os alimentos e nutrientes pode alterar a disponibilidade dos nutrientes consumidos. Isso pode ocorrer devido a diferenças nos produtos finais da fermentação ruminal, que vai depender do tipo do alimento e das populações de micro-organismos presentes no rúmen. O aumento da concentração de PB na dieta pode levar ao aumento da digestibilidade de sua fração fibrosa e da MS (Oldham, 1984, Koster et al., 1996). Niderkorn e Baumont (2009), em sua revisão de literatura a respeito do efeito associativo entre gramíneas e leguminosas, observaram que pode haver aumento no consumo de MS e da digestão de forragens de baixa qualidade quando há substituição parcial de gramíneas por leguminosas. Ferraretto et al. (2013) observaram que o aumento da concentração de amido na dieta de vacas de leite pode acarretar a redução da digestibilidade de sua fração fibrosa.

Além disso, a variação na perda de calor durante a fermentação, as mudanças na digestibilidade em função do consumo, e as distintas eficiências de utilização dos produtos da fermentação levam à não aditividade no sistema NDT (Ferrel e Oltjen, 2008, Owens et al., 2010). Ademais, um mesmo valor de NDT obtido para alimentos concentrados e volumosos não tem o mesmo significado. A fermentação ruminal de alimentos volumosos produz, proporcionalmente, mais metano, importante fonte de perda de energia no processo de digestão que, no sistema NDT, é considerada como sendo disponível para o animal. A quantidade de energia realmente disponível para o ruminante só é obtida após se descontar as perdas de energia fecais, as perdas de energia urinária e gasosa, e o incremento calórico, que é resultante dos processos digestivos (Owens et al., 2010). O sistema NDT, no entanto, já apresenta um

avanço em comparação à ED, pois parte da energia perdida na urina é descontada ao se calcular o consumo de NDT (Weiss, 2019).

1.2. – RESPIROMETRIA

A respirometria é uma técnica de calorimetria indireta, na qual é possível determinar a PC dos animais a partir das trocas gasosas. Para tanto, Brouwer (1965) propôs a seguinte equação:

$$PC = 16,18 \times O_2 + 5,02 \times CO_2 - 2,17 \times CH_4 - 5,99 \times Nur$$

Em que O_2 é expresso em litros consumidos por dia, CO_2 e CH_4 em litros produzidos por dia, e Nur é a excreção de nitrogênio urinário expressa em gramas por dia. Para conversão da PC em megacalorias, divide-se o valor obtido por 4,1868.

Na respirometria em circuito aberto, o animal é acomodado dentro da câmara respirométrica. A câmara é vedada para impedir trocas de ar entre os meios interno e externo a ela, que é realizada apenas por um sistema de circulação de ar próprio, que permite a entrada de ar. Uma bomba é responsável pela renovação constante do ar dentro da câmara, que é regulado por um medidor de fluxo de massa. O fluxo de ar normalmente utilizado é de 0,5 a 1,0 L/kg de peso vivo/minuto. O medidor de fluxo de massa realiza correções do ar que é bombeado em função da temperatura, pressão e umidade do ar. O ar dentro da câmara é constantemente misturado, para que as amostras de ar analisadas tenham concentrações dos gases O_2 , CO_2 e CH_4 nas proporções equivalentes ao que é oriundo das trocas gasosas do animal (Silva et al., 2018). Na figura 3 está representado o esquema da câmara respirométrica.

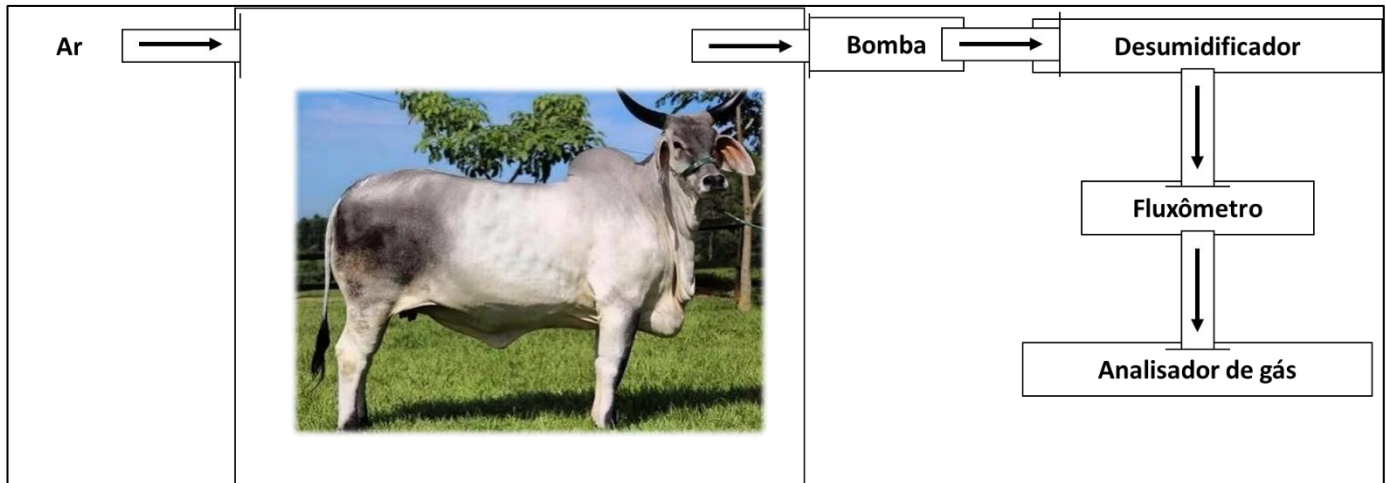


Figura 3 – Esquema da câmara respirométrica. Adaptado de Silva et al. (2018).

O ar que deixa a câmara por ação da bomba de sucção passa pelos analisadores de O_2 , CO_2 e CH_4 . A análise é realizada de cinco em cinco minutos. O consumo de O_2 e a produção de CO_2 e CH_4 pelo animal são obtidos por diferença entre a concentração desses gases no exterior e no interior da câmara.

Para se determinar a PC, os animais precisam ser adaptados à câmara respirométrica, para que o consumo de alimentos dentro da câmara seja o mais similar possível ao obtido em ensaios de consumo e digestibilidade fora da câmara. Além do mais, a adaptação evita que os animais aumentem a PC dentro da câmara em função de estresse e aumento de atividade física. De acordo com Posada-Ochoa et al. (2017), o aumento da atividade dos animais durante as mensurações em câmara respirométrica pode contribuir com o aumento da PC. Os autores ainda sugeriram registrar o tempo deitado e em estação dos animais e permitir que os animais dentro da câmara tenham contato visual com outros animais, para se reduzir o estresse.

A respirometria permite estudar o metabolismo do animal sem que seja necessário o abate do mesmo, sendo possível estudar o metabolismo em fases de desenvolvimento distintas, no estado pré e pós absorptivo, determinar a produção de metano e determinar a produção de calor em estado alimentado e em jejum. Como desvantagens, a metodologia requer equipamentos de alto custo e os erros dos ensaios de consumo e digestibilidade podem ser cumulativos (Johnson, 1986).

1.2.1. – Quociente Respiratório (QR)

O quociente respiratório (QR) é a relação entre os volumes de CO₂ produzido e de O₂ consumido, determinados em câmara respirométrica (Kleiber, 1972). O QR representa a oxidação mista dos carboidratos, das proteínas e dos lipídeos no organismo animal (Van den Borne et al., 2015). Ao serem oxidado, os carboidratos, os lipídeos e as proteínas têm os valores de QR igual a 1; 0,71 e 0,81, respectivamente (Brouwer, 1965). Na tabela 1 estão representados os valores de QR para diversos substratos utilizados para obtenção de energia pelos ruminantes.

Tabela 1 - Consumo de oxigênio e produção de gás carbônico, expressos em litros, e quociente respiratório da oxidação de carboidratos, lipídeos e ácidos graxos voláteis

Substrato	O ₂ (L) consumido/g	CO ₂ (L) produzido/g	QR
Amido	0,829	0,829	1,00
Lipídeo	2,013	1,431	0,71
Proteína	0,957	0,774	0,81
Ácidos graxos voláteis			
Ácido acético	0,750	0,750	1,00
Ácido propiônico	1,060	0,910	0,86
Ácido butírico	1,270	1,020	0,80

QR, quociente respiratório. Adaptado de Gerrits et al. (2015).

Animais que estão utilizando gordura corporal como fonte de energia apresentam QR próximo de 0,70, quando estão utilizando proteína corporal apresentam QR próximo de 0,80 e quando estão utilizando carboidratos apresentam QR próximo de 1. A oxidação da proteína é incompleta, devido à formação de compostos nitrogenados que são excretados na urina, principalmente na forma de ureia, no caso dos mamíferos (Kleiber, 1972). Em ruminantes em estado alimentado, os ácidos graxos voláteis (acetato, butirato e propionato), juntamente com a glicose (obtida principalmente por meio da gliconeogênese) são as principais fontes de energia para o organismo.

O QR oriundo da oxidação de lipídeos depende do tamanho da cadeia dos ácidos graxos e do seu grau de saturação. Quanto maior a cadeia carbônica, menor o QR. Um exemplo disso são os ácidos graxos voláteis acetato, propionato e butirato, cujos respectivos valores de QR se encontram na tabela 1. Os ácidos graxos voláteis acetato, propionato e butirato têm, respectivamente, dois, três e quatro átomos de carbono em suas moléculas. O grau de saturação

da cadeia dos lipídeos também interferem no valor do QR, sendo que, por exemplo, o ácido graxo C18:0 tem QR igual a 0,70, enquanto o ácido graxo C18:3 tem QR igual a 0,74. (Kleiber, 1972; Gerrits et al., 2015).

No metabolismo animal há uma mescla de processos anabólicos e catabólicos. O valor de QR obtido em animais submetidos à respirometria, em estado alimentado ou em jejum, representa a mescla desses processos metabólicos. Apesar de não ser possível determinar quais as vias do metabolismo intermediário são utilizadas, o QR é um índice do metabolismo geral do animal, muito útil para indicar qual tipo de substrato está sendo catabolizado para prover energia ao organismo animal (Kleiber, 1972). Por exemplo, de acordo com Van den Borne et al. (2015), parte da glicose hepática é utilizada para síntese de lipídeos. Tal processo tem um QR maior que 1. No entanto, ao mesmo tempo, ocorre oxidação de lipídeos, processo que geralmente tem QR médio de 0,71. A ocorrência simultânea desses processos, e de outros processos de síntese e oxidação, porém, não são individualizadas ao se estudar o QR, que se refere apenas à entrada de O₂ e à saída de CO₂ totais.

Em determinadas condições os valores de QR podem ficar acima de 1 (Kleiber, 1972; Van den Borne et al., 2015):

Na síntese de lipídeos a partir de carboidratos: a síntese de ácido palmítico a partir de glicose tem um QR igual a 8, enquanto a síntese de triglicerídeos a partir da glicose tem um QR igual a 6. A síntese de lipídeos a partir de carboidratos ocorre quando animais consomem dietas com grande concentração energética. Atendidas as exigências de manutenção e as exigências de produção, o organismo passa a estocar a energia consumida na forma de gordura corporal;

Na hiperventilação, em que há um aumento da depleção do *pool* de CO₂, levando à superestimativa da produção de CO₂;

Na oxidação de piruvato e ácido glucurônico, que tem QR igual a 1,2;

Na descarboxilação do 6-fosfogluconato, gerando ribulose-5-fosfato, que tem QR igual a 2,0.

O valor de QR também pode ficar abaixo de 0,71, referente à oxidação de lipídeos. Na tabela 2 estão apresentados fatores que podem levar a valores de QR inferiores a 0,71.

Tabela 2 - Fatores que podem levar a um valor de QR inferior a 0,70

Fator	Exemplo
A. Metabólico	
Gliconeogênese a partir de aminoácidos com retenção de glicose	Alanina → Glicose + Ureia; QR = 0,36
Cetose	Ácido esteárico → Acetoacetato; QR = 0
Varição no perfil de ácidos graxos oxidados	Ácido esteárico → CO ₂ + H ₂ O; QR = 69
Dessaturação de ácidos graxos	Ácido esteárico → Ácido oleico + H ₂ ; QR = 0
Conversão de gordura em carboidratos	-
Oxidação do etanol	Etanol → CO ₂ + H ₂ O; QR = 0,67
B. Desequilíbrios ventilatórios transitórios	
Retenção de CO ₂ (hipoventilação)	
C. Erros metodológicos	
Subestimativas do volume de CO ₂ e superestimativa do volume de O ₂ , ambos em 3%, pode levar à redução do QR em 6%.	

QR, quociente respiratório. Adaptado de Schutz e Ravussin (1980).

De acordo com Van den Borne et al. (2015), quando o animal está em jejum, o valor de QR pode ser inferior a 0,71, a depender do tipo de substrato oxidado para prover energia ao animal. A formação de corpos cetônicos (acetoacetato ou β-hidroxibutirato), a partir da oxidação incompleta da gordura corporal, consome O₂, mas não produz CO₂ (QR = 0), o que pode levar a um valor de QR abaixo de 0,71. Apesar da oxidação dos corpos cetônicos formados ter um QR igual a 1, sua síntese e oxidação não ocorrem de forma constantes e/ou concomitantes. Isso vale para diversos processos de síntese e degradação no organismo. Além disso, parte dos corpos cetônicos pode ser excretada na urina. Ademais, a formação de corpos cetônicos pode causar alcalose metabólica, o que aumenta a excreção de bicarbonato na urina e aumenta as perdas não pulmonares de CO₂, o que pode resultar em um valor de QR inferior a 0,71 (Schutz e Ravussin, 1980; Walsberg e Wolf, 1995; Van den Borne et al., 2015).

Quando aminoácidos são utilizados para a síntese de glicose no organismo, o QR é próximo de 0,4. Isso se dá pelo acúmulo de glicose no organismo, mas esse processo explica apenas uma pequena porção da redução do QR (Schutz e Ravussin, 1980). Geralmente a taxa da oxidação da glicose excede a taxa de sua formação a partir de aminoácidos, sendo que, ao final, as trocas gasosas obtidas na respirometria em tal condição podem indicar apenas a oxidação de glicose (Van den Borne et al., 2015).

1.3. – EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA

As exigências de energia para manutenção consistem na quantidade de energia metabolizável consumida que não resulta em perda ou ganho de energia/tecidos corporais, ou seja, o balanço energético é zero (NRC, 2000). Tal conceito pode ser representado pela relação proposta por Johnson (1986):

$$ER = EM - PC$$

Deduzindo, tem-se:

$$EM = PC + ER$$

Em que EM é a energia metabolizável consumida, ER é a energia retida, e PC é a produção de calor. De acordo com o BCNRM (2016), a EM é o ponto de partida para os sistemas baseados em energia líquida.

Cerca de 70% da energia metabolizável total requerida é destinada à manutenção para vacas de corte, 90% para touros e não menos de 40% para bovinos de corte em crescimento (NRC, 2000). Em bovinos leiteiros de baixa e média produção, como é o caso de vacas zebuínas em lactação, boa parte da energia metabolizável consumida também é destinada à manutenção. A exigência de energia para manutenção consiste na principal necessidade do animal, e seu desempenho produtivo depende do atendimento a tal exigência.

As exigências nutricionais para manutenção são expressas em função da EM e em função da EL. Em um animal com CEM cuja ER é igual a zero, a produção de calor do animal se refere à exigência de energia metabolizável para manutenção. Quando o animal está com CEM igual a zero, ou seja, em jejum, há um balanço energético negativo. O calor produzido em jejum se refere ao metabolismo basal, ou exigência líquida de energia. Existe uma diferença conceitual entre os termos metabolismo basal e manutenção. Na manutenção o animal está se alimentando, no metabolismo basal não (NRC, 1981b). Na figura 4 está representada a relação entre energia retida e consumo de energia metabolizável.

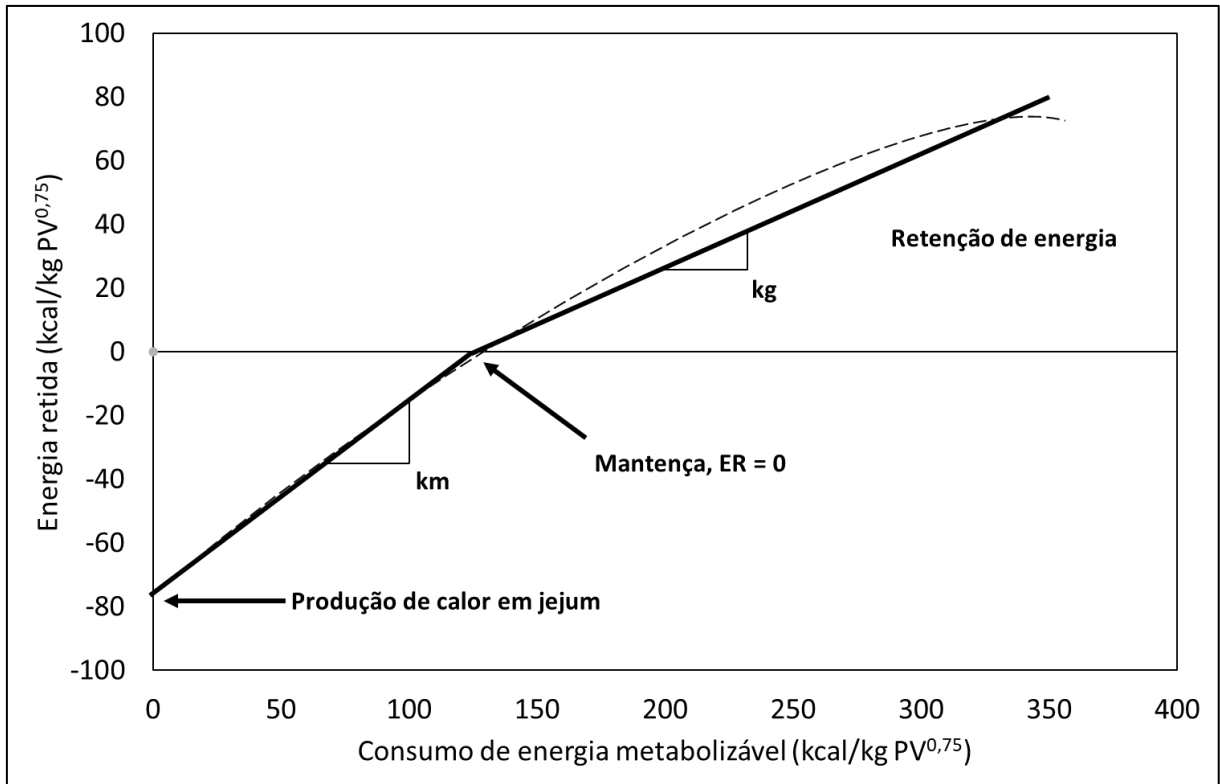


Figura 4 – Relação entre a energia retida (ER) e consumo de energia metabolizável (CEM). PV, peso vivo; km, eficiência da conversão da energia metabolizável para energia líquida para manutenção; kg, eficiência da conversão da energia metabolizável para energia líquida para ganho. Adaptado de Ferrel e Oltjen (2008).

Na figura 4 observa-se que as linhas sólidas no gráfico, abaixo e acima do nível de manutenção em que $ER = 0$, possuem inclinações diferentes. A inclinação da linha abaixo do nível de manutenção consiste na eficiência do uso da EM para a manutenção, ou o km. O km é mensurado entre o jejum e o ponto no qual a retenção de energia é zero (ARC, 1980), e pode variar de 0,65 a 0,80 (Baldwin e Sainz, 1995).

A inclinação da linha acima do nível de manutenção, a partir da qual começa a haver retenção de energia, consiste na eficiência do uso da EM para o ganho. O kg pode variar de 0,33 a 0,65 e seu valor depende da concentração de EM da dieta e da proporção entre gordura e proteína no ganho de peso corporal vazio (Baldwin e Sainz, 1995; Birkett e Lange, 2002). A eficiência de utilização da EM para deposição de gordura tecidual é cerca de 0,75, enquanto a eficiência da utilização para a deposição de proteína varia de 0,20 a 0,40. O tecido muscular tem uma taxa metabólica maior que o tecido adiposo, em função do *turnover* proteico, em que ocorre a síntese e degradação de proteínas (CSIRO, 2007). Ainda de acordo com o CSIRO (2007), há redução progressiva no ganho de energia por unidade de aumento no CEM. O ARC

(1980) atribui isso à curvilinearidade da relação entre ER e CEM acima do nível de manutenção, como pode ser observado na linha tracejada na figura 4. Há um aumento progressivo do custo energético para o ganho com o aumento do consumo, devido ao aumento das funções vitais (Turner e Taylor, 1983; William e Jenkins, 2003b).

1.3.1. – Metabolismo basal

O metabolismo basal consiste no gasto mínimo de energia necessária para manter os processos fisiológicos vitais em um animal saudável, em jejum pós absorptivo (48 a 144 horas), em repouso e em ambiente termoneutro. No metabolismo basal o animal está em jejum, e é a partir dele que se determinam as exigências de energia líquida para manutenção (ELm). Essa energia é utilizada para manter a respiração celular, a respiração e a circulação sanguínea (NRC, 1981b).

De acordo com Birkett e Lange (2002), a ELm não pode ser determinada diretamente. Segundo os autores, o que se determina em animais em jejum na câmara respirométrica é o calor do metabolismo basal, ou produção de calor em jejum (PCj) em equilíbrio energético, sem ganho ou perda. Na PCj em equilíbrio, estão contidos tanto a exigência de ELm quanto o incremento calórico referente à mobilização das reservas corporais para produção de energia para o organismo em jejum. Os autores propõem a seguinte relação para se determinar a ELm:

$$ELm = \text{Calor do metabolismo basal} \times kb$$

Em que ELm é a exigência em energia líquida, calor do metabolismo basal é a produção de calor em jejum e kb é a eficiência do uso da energia das reservas corporais para dar suporte às funções vitais basais.

Devido ao fato de kb variar pouco, a relação entre a PCj e ELm é forte. Por esse motivo, a PCj é um bom preditor das exigências de ELm quando as condições experimentais são bem controladas (Birkett e Lange, 2002). Para se estimar a ELm por meio da PCj em câmara respirométrica, os animais precisam apresentar consumo próximo ao nível de manutenção, com escore de condição corporal e peso vivo constantes e adaptados ao ambiente e procedimentos experimentais (Posada-Ochoa et al., 2017; Carvalho, 2020). De acordo com Borges et al. (2016), o metabolismo basal pode ser estudado em animais em jejum alimentar.

Outra forma de se determinar as exigências nutricionais é por meio do abate comparativo (Lofgreen e Garret, 1968). No abate comparativo, determina-se o conteúdo energético corporal de um grupo de animais controle, e submete-se outro grupo de animais com características semelhantes aos do primeiro grupo a um período de alimentação, determinando-se o CEM. Ao fim do período de alimentação, esses animais são abatidos e obtém-se, por diferença com o grupo inicial de animais abatidos, a energia que foi retida no corpo. A produção de calor é obtida ao se subtrair a energia retida do CEM. É feita uma equação de regressão, linear ou não linear, entre o logaritmo da produção de calor e o CEM. A exigência de ELM corresponde ao antilogaritmo do intercepto da equação de regressão. Diversos autores, no entanto, optam por combinar a respirometria em estado alimentado com a metodologia da análise de regressão, linear ou não linear, em adaptação à metodologia de abate comparativo proposta por Lofgreen e Garret (1968) (Dong et al., 2015; Borges et al., 2016; Posada-Ochoa et al., 2017; Carvalho, 2020).

1.3.2. – Exigências de energia líquida para manutenção em bovinos

Lofgreen e Garret (1968) determinaram que a exigência de energia líquida de manutenção para bovinos de corte em crescimento e terminação foi de 77 kcal/kg PVZ^{0,75}, em estudo utilizando abate comparativo. Esses autores desenvolveram o sistema californiano de energia líquida (ou *californian net energy system*, CNES), que foi adotado por comitês como ARC (1980) e NRC (2000). O BCNRM (2016) alterou a forma de se expressar essa exigência e passou a expressar a exigência de ELM em peso vivo em jejum metabólico, ao invés de peso vivo vazio metabólico, adotando o mesmo valor (77 kcal/kg PVj^{0,75}).

Deve-se atentar à forma com a qual o BCNRM (2016) expressa as exigências de ELM, quando forem feitas comparações com valores expressos em PVZ^{0,75}. Ao ser expresso em PVZ^{0,75}, a ELM resulta em um valor superior a 77 kcal expressa em kg PVj^{0,75}. O valor de exigência de ELM pode variar em função de algumas condições, e frequentemente são utilizados fatores de correção.

O sistema brasileiro de exigências nutricionais de bovinos de corte, o BR-CORTE (Marcondes et al., 2016), adotou o valor de 75 kcal/kg PVZ^{0,75} para a exigência de ELM para animais zebuínos e cruzados de corte e leite. Não foi observado efeito da classe sexual (machos,

machos castrados ou fêmeas), do sistema de criação (confinamento ou a pasto) e do grupo genético (zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite) sobre as exigências de ELM.

O CNES, inicialmente desenvolvido por Lofgreen e Garret (1968), utilizou dados principalmente de animais taurinos, e serviu como base para as recomendações de exigência de energia nas edições do NRC (1984, 1996, 2000) e BCNRM (2016). Devido à característica dos animais, das dietas e dos ambientes nos quais o CNES foi desenvolvido, talvez sua aplicabilidade para animais zebuínos em condições tropicais não seja tão acurada (Chizzotti et al., 2019).

O NRC (2001) reporta que vacas de leite que já atingiram a maturidade apresentam exigência de ELM de 80 kcal/kg PV^{0,75}. Carvalho (2020) determinou a exigência de ELM de vacas em lactação da raça Gir e F1 (Holandês x Gir), a partir da regressão linear entre a energia secretada no leite e o CEM, e encontrou valores de 76,48 e 89,93 kcal/kg PV^{0,75}, respectivamente. Fonseca et al. (2012), estudando as exigências nutricionais de fêmeas primíparas da raça Nelore em lactação, encontraram exigência de ELM de 90 kcal/kg PV^{0,75} para esses animais. Os estudos de exigências nutricionais de energia para bovinos de leite zebuínos e seus cruzados ainda é escasso, em relação à quantidade de dados na literatura utilizando animais zebuínos e seus cruzados para corte. Os comitês internacionais utilizam dados de bovinos de raças taurinas, principalmente da raça Holandês. Esses animais são criados em condições diferentes das brasileiras, e tanto a qualidade e composição dos ingredientes utilizados nas dietas diferem consideravelmente.

As exigências de energia para manutenção podem variar em função da raça, da classe sexual, da idade, do estado fisiológico, da atividade física, do clima e da temperatura e do plano nutricional prévio (BCNRM, 2016).

1.3.2.1. – Fatores que afetam as exigências nutricionais de energia em bovinos de corte

1.3.2.1.1. – Raça

Alguns sistemas de exigências nutricionais atribuem aos bovinos de raças zebuínas menor exigência de energia líquida para manutenção. De acordo com o NRC (2000), tal exigência

é 10% menor em comparação aos animais taurinos. Paulino et al. (1999) encontraram exigência de ELM semelhante para machos inteiros das raças Gir, Guzerá, Tabapuã e Nelore de 67,91 kcal/kg PVZ^{0,75}, valor cerca de 12% inferior ao reportado pelo NRC (2000) para bovinos de corte de raças taurinas. Borges (2000) observou que novilhas da raça Holandês tinham exigência de ELM 20% superior a novilhas da raça Guzerá (61,02 e 76,42 kcal/kg PVZ^{0,75}, respectivamente), em estudo realizado por meio de abate comparativo. Carvalho (2020), em estudo de exigências nutricionais de energia encontrou ELM para fêmeas zebuínas e fêmeas F1 (Holandês x Gir) de 65,23 e 84,29 kcal/kg PVZ^{0,75}, respectivamente.

Chizzotti et al. (2007) encontraram que o valor de exigências de ELM para animais F1 (Nelore x Red Angus) de 71,2 kcal/kg PVZ^{0,75}. Esse valor é cerca de 7,5% menor ao reportado pelo NRC (2000). De acordo com os autores, tal achado suporta a hipótese de que cruzamentos de zebuínos com taurinos podem levar a uma menor ELM, em relação aos animais de raças taurinas puras.

As diferenças observadas nas exigências de ELM entre as raças taurinas e zebuínas podem se dar em função da menor proporção de órgãos e vísceras em relação à carcaça em animais zebuínos, quando comparados aos animais taurinos. Órgãos e vísceras, principalmente o trato gastrointestinal e o fígado, são responsáveis por mais de 40% da produção de calor pelo organismo. Isso se dá em função da maior atividade metabólica proteica nesses órgãos (Webster, 1981), que podem consumir de 40 a 50% do suprimento de O₂ e ser responsáveis por cerca de 20 a 25% da síntese proteica no organismo (Huntington e Reynolds, 1987). Além disso, os animais de raças taurinas apresentam maior deposição de gordura nas vísceras, enquanto animais de raças zebuínas apresentam maior deposição de gordura na região subcutânea. A gordura visceral é metabolicamente mais ativa que a subcutânea, o que aumenta as exigências de ELM (Thompson et al., 1983).

1.3.2.1.2. – Nível de produção

As exigências de ELM aumentam em função do nível de produção (ARC, 1980). Isso se dá pois há um aumento nas funções metabólicas vitais (Williams e Jenkins, 2003b), como o aumento dos custos energéticos da circulação sanguínea, manutenção dos gradientes de concentração, tônus muscular e turnover nos tecidos (Turner e Taylor, 1983). Com o aumento

do nível de produção, o tamanho e a taxa metabólica de órgãos e vísceras aumenta. Na tabela 3 está apresentada a participação de diversos órgãos e tecidos no gasto de energia total e no débito cardíaco.

Tabela 3 - Massa, fluxo sanguíneo e gasto estimados de energia de tecidos e órgãos de ruminantes

Tecido	Massa (% do peso vivo vazio)	Débito cardíaco (%)	Gasto de energia total (%)
Tecido nervoso	2,0	10,0	12,0
Pele	6,3	8,0	2,7
Coração	0,4	4,1	10,0
Rins	0,3	13,4	5,0
Trato digestivo	4,0	23,0	15,0
Fígado	1,5	27,0	20,5
Músculo	41,0	18,0	23,0
Tecido adiposo	15,0	9,6	7,0
Outros (esqueleto)	29,5	9,9	4,8

Adaptado de Smith (1970) citado por Church (1988).

Observa-se a importância do tecido nervoso, coração, rins, trato digestivo e fígado no gasto total de energia. Interessante notar a menor massa relativa desses órgãos e tecidos em relação aos músculos, tecido adiposo e esqueleto e a sua elevada exigência de energia.

1.3.2.1.3. – Classe sexual

O BCNRM (2016) sugere correção para as exigências de ELM em função da classe sexual, sendo que machos inteiros requerem 15% mais energia em relação a fêmeas e a machos castrados. Machos inteiros tem maior proporção de proteína no seu peso vivo vazio, em comparação com fêmeas e machos castrados, devido à maior massa muscular (BCNRM, 2016). O tecido muscular tem maior gasto de energia que o tecido adiposo (tabela 3), o que é explicado pela maior taxa metabólica do tecido muscular, em função do *turnover* proteico (CSIRO, 2007). Chizzotti et al. (2007), no entanto, em estudo de exigências nutricionais de novilhos, novilhas e touros F1 (Nelore x Red Angus), observaram que as exigências de ELM foram semelhantes entre as três classes sexuais (71,2 kcal/kg PVZ^{0,75}). Marcondes et al. (2016) também não observaram diferenças na exigência de ELM em função da classe sexual (75 kcal/kg PVZ^{0,75}).

1.3.2.1.4. – Idade

A idade também é um fator que pode influenciar nas exigências de ELM. O CSIRO (2007) reporta que, aos seis anos de idade, o animal possui 84% da exigência inicial para a manutenção. Com o avançar da idade a proporção proteína e gordura no peso vivo vazio reduz (Borges, 2000). O BCNRM (2016), no entanto, não recomenda nenhum ajuste na exigência de ELM em função da idade.

1.3.2.1.5. – Atividade física

O aumento da atividade física pode levar ao aumento das exigências para manutenção. O BCNRM (2016) recomenda a seguinte equação para se estimar a exigência de EL para atividade:

$$ELma = [0,006 \times CMS \times (0,9 - DMS) + 0,05T / (DF + 3)] \times PV / 4,184$$

Em que ELma é a exigência de EL para atividade em megacalorias por dia, CMS é o consumo de matéria seca em quilogramas por dia, DMS é a digestibilidade da matéria seca expressa em decimal, T é o fator relativo ao terreno (nivelado = 1,0; ondulado = 1,5; montanhoso = 2,0), DF é a disponibilidade de forragem verde em 1000 quilogramas por hectare e PV é o peso vivo em quilogramas. Tanto o tipo de terreno quanto a qualidade da dieta vão influenciar na exigência de energia para manutenção. O CSIRO (2007) reporta que a estação (em relação ao decúbito), a movimentação, a declividade, a apreensão, a mastigação e a ruminação de alimentos aumentam os custos energéticos dos animais. O comitê assume que animais em pastejo têm maior gasto de EM do que os em confinamento.

Marcondes et al. (2016) não observaram diferenças nas exigências de ELM em função do tipo de sistema de produção no Brasil (confinamento x pasto). Em relação às exigências de EMm, no entanto, os animais em pastejo apresentaram exigência 8,5% maior que animais em confinamento.

1.3.2.1.6. – Temperatura

Em condições de termoneutralidade, o calor oriundo da fermentação ruminal é capaz de manter a temperatura corporal dos ruminantes. Nessa situação, a produção de calor é independente da temperatura, e é determinada pelo consumo de alimentos e pela eficiência de sua utilização (NRC, 2000). Entretanto, quando os animais são submetidos a temperaturas fora dos limites superior e inferior à zona termoneutra, passam a dispende energia para manter a temperatura corporal. Para animais zebuínos a zona de termoneutralidade está entre 10 e 27° C, com limites críticos mínimo e máximo de 0 e 35° C (Pereira, 2005), respectivamente. De acordo com o NRC (1981a), a zona termoneutra para bovinos de corte se encontra entre 15 e 25°C. Quando a temperatura ambiente efetiva fica abaixo ou acima do limite crítico, ocorre estresse térmico pelo frio e pelo calor, respectivamente.

No estresse térmico pelo frio, os animais mobilizam reservas de energia corporal para manter a temperatura corporal em função da produção de calor da oxidação de reservas corporais de energia. Em estresse térmico pelo calor, os animais reduzem o consumo de alimentos, o que reduz a produção de calor pela fermentação, e aumentam as frequências cardíaca e respiratória. As principais formas de perda de calor são pela evaporação cutânea e pela ventilação respiratória. Caso a umidade relativa do ar esteja elevada, esses mecanismos se tornarão menos eficientes (NRC, 1981b; Pereira, 2005; CSIRO, 2007; BCNRM, 2016). Em ambos os casos, os gastos energéticos podem aumentar.

Em estudo realizado por McManus et al. (2009), em que avaliaram a tolerância ao estresse calórico em raças bovinas, observaram que os animais de raças zebuínas se apresentaram melhor adaptados que animais da raça Holandês. O'Brien et al. (2010) observaram redução do CMS e do ganho médio diário em bovinos machos de corte da raça Holandês em crescimento.

1.3.2.1.7. – Plano nutricional prévio

De acordo com o ARC (1980), o metabolismo em jejum não é independente do plano nutricional prévio ao qual o animal foi submetido. Por esse motivo, o metabolismo em jejum deve ser determinado após um período de alimentação em nível de manutenção. De acordo com

Turner e Taylor (1983) e Williams e Jenkins (2003b), após a redução do nível de consumo existe um retardo na adaptação do organismo em relação à produção de calor atribuído ao metabolismo que dá suporte às funções relacionadas a produção. Em outras palavras, o organismo leva tempo para reduzir as taxas metabólicas dos tecidos e órgãos (TGI, fígado, coração, rins etc.), quando o animal sai de um nível de alimentação maior para um menor. Assim, o consumo dos animais deve ser padronizado para o nível de manutenção pelo menos 21 dias antes da mensuração do metabolismo em jejum na câmara respirométrica (CSIRO, 2007).

O mesmo raciocínio vale para animais que estão em ganho compensatório. Animais que saem de um nível de alimentação restrito para um nível de alimentação que satisfaça suas exigências de manutenção e permita ganho de peso, apresentam menor exigência de ELM. A resposta do animal vai variar em relação à duração, natureza, da severidade da restrição, do plano nutricional e do intervalo da realimentação (BCNRM, 2016). O mesmo comitê reporta que, de forma geral, a restrição alimentar pode ter uma redução de 20% na exigência de manutenção. Isso é um dos motivos pelos quais pode haver maior eficiência da utilização da EM consumida no período de ganho compensatório.

1.3.3. – Mobilização de reservas corporais de energia para suprir as exigências de manutenção

Quando o fornecimento de EM não é suficiente para suprir as exigências de energia para manutenção, ocorre mobilização das reservas corporais para prover energia ao organismo, para sustentar as funções vitais básicas. O animal entra em balanço energético negativo. O valor energético em uma unidade de peso vazio perdido em animais que atingiram a maturidade é semelhante à concentração de uma unidade de peso vazio ganho, e seu valor energético depende da proporção relativa entre gordura e proteína mobilizados (NRC, 2001).

A perda de peso vivo, obtida por pesagem em balança, não indica perda de energia corporal pela mobilização de reservas corporais. De acordo com Moe et al. (1971), além do efeito do peso do conteúdo do TGI, pode haver substituição de parte da gordura mobilizada por água nos animais em perda de peso. O ganho ou perda de energia pelos animais pode ser estimado visualmente por meio do escore de condição corporal (ECC), que é correlacionado com o conteúdo de gordura corporal e reservas energéticas (NRC, 2001). Na tabela 4 está

apresentada a composição do corpo vazio em diferentes escores de condição corporal relativos à energia líquida fornecida pela perda de peso vivo em vacas de corte.

Tabela 4 - Composição do corpo vazio em diferentes escores de condição corporal relativos à energia líquida fornecida pela perda de peso vivo em vacas de corte

ECC	% do Peso vazio		EL da perda de peso (Mcal/kg PV perdido)
	Gordura	Proteína	
1	3,77	19,42	3,69
2	7,54	18,75	4,22
3	11,30	18,09	4,76
4	15,07	17,42	5,30
5	18,84	16,75	5,84
6	22,61	16,08	6,38
7	26,38	15,42	6,91
8	30,15	14,75	7,45
9	33,91	14,08	7,99

ECC, escore de condição corporal; EL, energia líquida; PV, peso vivo. Adaptado do BCNRM (2016)

Vale ressaltar que os dados presentes na tabela 4 são de animais que já atingiram a maturidade. Borges (2000) encontrou, para fêmeas das raças Guzerá com ECC igual a 2 (em escala de 1 a 5), conteúdo de energia no peso vivo vazio (PVZ) de 2,27, 2,622 e 2,951 Mcal/kg PVZ e teor de gordura no PVZ de 12,84, 17,12 e 21,69%, para animais pesando 200, 250 e 300 kg, respectivamente. Como esses animais estavam na fase de crescimento, observa-se aumento da concentração energética do PVZ com o mesmo ECC.

Trabalhos na literatura que reportam o uso de reservas energéticas corporais geralmente o fazem para vacas à maturidade e/ou em lactação, especialmente no terço inicial (Moe et al., 1971; NRC, 2001; Tedeschi et al., 2006; BCNRM, 2016). Faltam dados referentes ao uso de reservas energéticas para manutenção em bovinos de corte em crescimento. Tal processo não possui eficiência de 100%. O NRC (2000) reporta que cerca de 80% da energia mobilizada é utilizada para atender à manutenção. O restante é perdido na forma de calor, ou incremento calórico da mobilização de reservas corporais de energia.

1.4. – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os bovinos de criados no Brasil, majoritariamente zebuínos e seus cruzados, possuem características e exigências nutricionais frequentemente distintas do que é reportado por comitês internacionais de nutrição animal. Por esse motivo, é necessário continuar estudando as exigências de zebuínos em condições brasileiras, para enriquecer ainda mais o sistema brasileiro de exigências nutricionais.

O estudo das exigências nutricionais de bovinos passa, inevitavelmente, por diversos temas relacionados à nutrição de ruminantes, tais como as características dos animais, as características dos alimentos, o consumo dos alimentos, a microbiologia ruminal, as condições edafoclimáticas, as trocas gasosas, a fisiologia digestiva, o tipo de produção ao qual os animais são destinados e assim por diante. Em resumo, é a parametrização de processos biológicos, químicos e físicos extremamente complexos, mas que fornecem informações importantes para se conhecer as exigências nutricionais dos animais.

A respirometria é uma ferramenta útil e confiável para se determinarem as exigências nutricionais de bovinos de corte. Grande parte dos trabalhos reportados na literatura utilizam abate comparativo. No entanto, tendo em vista a preocupação com o bem-estar animal, a sustentabilidade no uso de recursos animais e financeiros, e a possibilidade de se conhecer o metabolismo do mesmo animal em diversas fases de crescimento, a respirometria se torna uma técnica de eleição para o estudo da energética animal.

1.5. – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCZ. *Associação Brasileira dos Criadores de Zebu*. Estatística geral 1939 a 2020. ABCZ, 2020. Disponível em: <http://abcz.org.br/Home/Conteudo/22889-Estatisticas>. Acesso em 25/05/2021.

AFRC. *Agricultural and food research council. Energy and requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International, 1993. 159p.

ARC. *Agricultural research council. The nutrient requirements of ruminant livestock*. London: The Gresham Press, 1980. 351p.

BALDWIN, R.L.; SAINZ, R.D. Energy partitioning and modeling in animal nutrition. 1995. *Annual Reviews Nutrition*, v. 15, p. 191-211.

BCNRM. *Beef cattle nutrient requirements model*. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 8th ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 2016. 475 p.

BIRKETT, S.; LANGE, K. Limitations of conventional models and a conceptual framework for a nutrient flow representation of energy utilization by animals. 2002. *British J. of Nutrition*, v. 86, p. 647-659.

BLAXTER, K. L.; BOYNE, A. W. The estimation of the nutritive value of feeds as energy sources for ruminants and the derivation of feeding systems. 1978. *J. Agric. Sci.* v. 90: p. 47–68.

BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. 1965. *British Journal of Nutrition*, v.19, n.1, p. 511-522.

BORGES, A. L. C. C. *Exigências nutricionais de proteína e energia de novilhas das raças Guzará e Holandesa*. 2000. 90p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

BORGES, A.L.C.C.; SILVA, R.R. FERREIRA, A.L.; LAGE, H.F.; VIVENZA, P.A.D.; CARVALHO, P.H.A.; FONSECA, M.P.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M. Respirometry and nutritional requirements of Zebu and dairy crossbred cattle at diferente levels of feeding and physiological state. In: VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, L. F. C.; GIONBELLI, M. P.; ROTTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L., PRADOS, L. F. *BR-CORTE: nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle*. 3rd ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda., 2016. 314 p.

BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. 1965. *Proc 3rd Symp. On Energy Metabolism, EAAP Publ.* n. 11, p. 441 – 443.

CARVALHO, P. H. A. *Exigências nutricionais de energia líquida para manutenção de animais zebuínos e cruzados leiteiros entre o desmame e a idade adulta e comparação de metodologias para determinação das exigências nutricionais de energia para manutenção utilizando-se a respirometria*. 2020. 113p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CHIZZOTTI, M. L.; VALADARES FILHO, S. C.; TEDESCHI, L. O.; CHIZZOTTI, F. H. M.; CARSTENS, G. E. Energy and protein requirements for growth and maintenance of F1 Nelore Red Angus bulls, steers and heifers. 2007. *J. Anim. Sci.*, v. 85, p. 1971-1981.

CHIZZOTTI, M.; FILHO, S. C. V.; BENEDETI, P. D. B.; SILVA, F. A. S. California net energy system for *Bos taurus indicus*. Transl. 2019. *Anim. Sci.*, v. 3, p. 991-998.

CHURCH, D. C. *The ruminant animal - Digestive physiology and nutrition*. Englewood: Prentice Hall, 1988, 564p.

CLARK, J. H.; KLUSMEYER, T. H.; CAMERON, M. R. Microbial Protein Synthesis and Flows of Nitrogen Fractions to the Duodenum of Dairy Cows. 1992. *J. Dairy Sci.*, v. 75, n. 8, 2304-2323.

CSIRO. *Commonwealth scientific and industrial research organization*. Nutrient requirements of domesticated ruminants. Victoria: Australia Agricultural Council, CSIRO publications, 2007. 266p.

DONG, L. F.; FERRIS, C. P.; MCDOWELL, D. A.; YAN, T. Effects of diet forage proportion on maintenance energy requirement and the efficiency of metabolizable energy use for lactation by lactating dairy cows. 2015. *J. Dairy. Sci.*, v. 98, p. 8846-8855.

FERRARETTO, L. F.; CRUMO, P. M.; SHAVER, R. D. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. 2013. *J. Dairy. Sci.*, v. 96, n. 1, p. 533-550.

FERREL, C.F.; OLTJEN, J. W. ASAS Centennial Paper: Net energy systems for beef cattle - Concepts, application, and future models. 2008. *J. Anim. Sci.*, v. 86, n. 10, p. 2779 – 2794.

FONSECA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; HENRIQUES, L. T.; PAULINO, P. V. R.; DETMANN, E.; BENEDETI, P. D. B.; SILVA, L. D.; AMARAL, P. M. Exigências nutricionais de vacas nelores primíparas lactantes. 2012. *R. Bras. Zootec.*, v. 41, n. 5, p. 1222-1230.

GALYEAN, M. L.; COLE, N. A.; TEDESCHI, L.O.; BRANINE, M. E. Efficiency of converting digestible energy to metabolizable energy and reevaluation of the California Net Energy System maintenance requirements and equations for predicting dietary net energy values for beef cattle. 2016. *J. Anim. Sci.*, v. 94, p. 1329-1341.

GEAY, Y. Energy and protein utilization in growing cattle. 1984. *J. Anim. Sci.*, v.58, n.3, p.766-778.

GERRITS, W. J. J.; VAN DEN BORNE, J. J. G. C.; LABUSSIÈRE, E. Deriving heat production from gaseous exchange: validity of the approach. In: *Indirect calorimetry, techniques, computations and applications*. GERRITS, W. J. J.; LABUSSIÈRE, E. Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2015. 293 p.

HUNTINGTON, G.B.; REYNOLDS, C.K. Oxygen consumption and metabolite flux of bovine portal-drained viscera and liver. 1987. *The Journal of Nutrition*, v. 117, p. 1167 – 1173.

INRA. Institut National de la Recherche Agronomique. *Feeding system for ruminants*. Wageningen, NLD: Wageningen Academic Publishers, 2018, 639 p.

JENTSCH, W.; SCHWEIGEL, M.; FRIEDRICH WEISSBACH, F.; SCHOLZE, H.; PITROFF, W.; DERNO, M. Methane production in cattle calculated by the nutrient composition of the diet. 2007. *Archives of Animal Nutrition*, v. 61, n. 1, p. 10-19.

JOHNSON, D. E. Fundamentals of whole animal calorimetry: use in monitoring body tissue deposition. 1986. *J. Anim. Sci.*, v. 63, p. 111-114.

KLEIBER, M. *Bioenergetica Animal: El fuego de la vida*. 1 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, 1972. 428 p.

KÖSTER, H. H.; COCHRAN, R. C; TITGEMEYER, E. C.; VANZANT, E. S.; ABDELGADIR, I., ST-JEAN, G. Effect of increasing degradable intake protein on intake and digestion of low-quality, tallgrass-prairie forage by beef cows. 1996. *J. Anim. Sci.*, v. 74, n. 10, p. 2473-2481

LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. 1968. *J. Anim. Sci.*, v. 27; p. 793-806.

MARCONDES, M.I.; SILVA, A.L.; GIONBELLI, M.P.; FILHO, S.C V. Energy requirements for beef cattle. In: VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, L. F. C; GIONBELLI, M. P.; ROTTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L., PRADOS, L. F. *BR-CORTE: nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle*. 3rd ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda., 2016. 314 p.

MARTINEAU, R.; SAUVANT, D.; OUELLET, D. R.; CÔRTEZ, C.; VERNET, J.; ORTIGUES-MARTY, I.; LAPIERRE, H. Relation of net portal flux of nitrogen compounds

- with dietary characteristics in ruminants: A meta-analysis approach. 2011. *J. Dairy Sci.*, v. 94, p. 2986-3001.
- MCALLISTER, T. A.; NEWBOLD, C. J. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. 2008. *Animal Production Science*, v. 48, n. 2, p.7-13.
- MCALLISTER, T. A.; OKINE, E. K.; MATHISON, G. W.; CHENG, K. J. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. 1996. *Canadian J. of Anim. Sci.*, v. 76, n. 2, p. 231-243.
- MCMANUS, C.; PRESCOTT, E.; PALUDO, G. R.; BIANCHINI, E.; LOUVANDINI, H.; MARIANTE, A. S. Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. 2009. *Livestock Science*, v. 120, p. 256-264.
- MERTENS, D. R. Regulation of forage intake. In: FAHEY, Jr. (Ed.). *Forage quality, evaluation and utilization*. Madison: American Society of Agronomy, 1994, p.450-493.
- MOE, P. W.; TYRREL, H. F.; FLATT, W. P. Energetics of body tissue mobilization. 1971. *J. Dairy Sci.*, v. 54, n. 4, p. 548-553.
- MORGAVI, D. P.; FORANO, E.; MARTIN, C.; NEWBOLD, C. J. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. 2010. *Animal*, v. 4, n. 7, p. 1024-1036.
- NIDERKORN, V.; BAUMONT, R. Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants. 2009. *Animal*, v. 3, n. 7, p. 951-960.
- NRC. National Research Council. *Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals*. Washington, D.C.: National Academic Press, 1981a. 152p.
- NRC. National Research Council. *Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms*. 2.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 1981b. 54p.
- NRC. National Research Council. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2000. 242p.
- NRC. National Research Council. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 2001. 381p.
- O'BRIEN, M. D.; RHOADS, R. P.; SANDERS, S. R, DUFF, G. C., BAUMGARD, L. H. Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle. 2010. *Domestic Animal Endocrinology*, v. 38, p. 86-94.

- OLDHAM, J. D. Protein-energy interrelationships in dairy cows. 1984. *J. Dairy Sci.*, v. 67, p. 1090-1114.
- OWENS, F. N., SAPIENZA, D. A.; HASSEN, A. T. Effect of nutrient composition of feeds on digestibility of organic matter by cattle: A review. 2010. *J. Anim. Sci.*, v. 88, p. 151-169.
- PAULINO, M. F.; FONTES, C. A. A.; JORGE, A. M. et al. Composição corporal e exigências de energia e proteína para ganho de peso de bovinos de quatro raças zebuínas. 1999. *R. Bras. Zootec.*, v. 28, n. 3, p. 627-633.
- PEREIRA, J. C. C. *Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal*. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005, 195p.
- POSADA-OCHOA, S. L.; NOGUERA, R. R.; BORGES, A. L. C. C.; SILVA, R. R. Indirect calorimetry to estimate energy requirements for growing and finishing Nellore bulls. 2017. *J. of Integrative Agriculture.*, v. 15, n. 1, p. 151-161.
- REID, J.T. 1961. Problems of feed evaluation related to feeding dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v. 11, p. 2122-2133.
- SCHUTZ, Y.; RAVUSSIN, E. Respiratory quotients lower than 0.70 in ketogenic diets. 1980. *The American Journal of Clinical Nutrition*, p. 1317-1319.
- SILVA, R. R. E.; BORGES, A. L. C. C.; CARVALHO, P. H. A.; SOUZA, A. S.; VIVENZA, P. A. D.; SILVA, J. S.; LAGE, H. F.; LIMA, A. F.; GONÇALVES, L. C.; SALIBA, E. O. S., I; CAMPOS, W. E.; RODRIGUEZ, N. M. Respirometry and Animal Nutrition In: *Animal Husbandry*. 1 ed. IntecOpen: Croácia, 2018., p. 1-19.
- SNIFFEN, C. J., O'CONNOR, J. D., VAN SOEST, P. J., FOX, D. G., & RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. 1992. *J. Anim. Sci.*, v. 70, n. 11, p. 3562-3577.
- TEDESCHI, L. O.; SEO, S.; FOX, D. G.; RUIZ, R. Accounting for energy and protein reserve changes in predicting diet-allowable milk production in cattle. 2006. *J. Dairy Sci.*, v. 89, p. 4795-4807.
- THOMPSON, W. R.; MEISKE, J. C.; GOODRICH, R. D., RUST, J. R.; BYERS, F. M. Influence of body composition on energy requirements of beef cows during winter. 1983. *J. Anim. Sci.*, v. 56, n. 5, p. 1241-1252.

TURNER, H. G.; TAYLOR, C. S. Dynamic factors in models of energy utilization with particular reference to maintenance requirement of cattle. 1983. *Wld. Rev. Nutr. Diet.*, v. 42, p. 135-190.

VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, L.F.C.; GIONBELLI, M.P.; ROTTA, P.P.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L.; PRADOS, L. F. *BR-CORTE: Nutrient requirements of Zebu and crossbred*. 3rd ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda., 2016. 314 p.

VAN DEN BORNE, J. J. G. C.; HEETKAMP, M. J. W.; ALFERINK, S. J. J.; GERRITS, W. J. J. Moving from a complete energy balance towards substrate oxidation: use of stable isotopes. In: *Indirect calorimetry, techniques, computations and applications*. GERRITS, W. J. J.; LABUSSIÈRE, E. Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2015. 293 p.

VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2.ed. IthacCornell University Press. 476p. 1994.

WALSBERG, G. E., WOLF B. Variation in the respiratory quotient of birds and implications for indirect calorimetry using measurements of carbon dioxide production. 1995. *The Journal of Experimental Biology*, v. 198, p. 213–219.

WEBSTER, A. J.F. The energetic efficiency of metabolism. 1981. *Proc. Nutr. Soc.*, v. 40, p. 121-128.

WEISS, W. Estimating digestible and metabolizable energy concentrations of ruminant diets. In: *Energy and protein metabolism and nutrition 6th EAAP international Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition*. Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2019. n. 138, 504 p.

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. 2003a. *J. Anim. Sci.*, v. 81, p. 1371-1381.

WILLIAMS, C. B.; JENKINS, T. G. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. III. Model evaluation. 2003b. *J. Anim. Sci.*, v. 81, p. 1390-1398.

CAPÍTULO II – METABOLISMO ENERGÉTICO DA PERDA DE PESO, PARTIÇÃO ENERGÉTICA E EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA LÍQUIDA PARA MANTENÇA DE FÊMEAS DA RAÇA GUZERÁ, UTILIZANDO-SE A RESPIROMETRIA

2.1. – INTRODUÇÃO

Os estudos de exigências nutricionais de energia em bovinos buscam compreender a complexa rede de interrelações entre a dieta, o animal e o ambiente. Tais fatores podem se desdobrar em diversos outros, tais como o peso corporal, a raça, a classe sexual, a idade, o estado fisiológico, a atividade física, o clima, o plano nutricional prévio, a qualidade do alimento e a sua utilização pelo animal (CSIRO, 2007; BCNRM, 2016).

Grande parte da energia metabolizável consumida é utilizada para manutenção (ELm) em bovinos em crescimento (NRC, 2000), sendo de grande importância o conhecimento das exigências nutricionais para essa função, assim como os efeitos do plano alimentar sobre a mesma. Alguns autores obtiveram exigência de ELm para animais zebuínos inferior à de animais de raças taurinas (Lofgreen e Garret, 1968; Paulino et al., 1999; Borges, 2000; Chizzotti et al., 2007; BCNRM, 2016; BR-CORTE, 2016; Carvalho, 2020).

Existem diversos comitês internacionais de sistemas de exigências nutricionais de bovinos, tais como o ARC (1980), o AFRC (1993), o NRC (2000, 2001), o CSIRO (2007), o BCNRM (2016) e, mais recentemente, o INRA (2018). No entanto, esses sistemas foram desenvolvidos em condições de produção distintas das brasileiras e, por esse motivo, podem ter sua aplicabilidade limitada em condições tropicais.

Os animais da raça Guzerá são bem adaptados às condições de produção brasileiras, são rústicos e podem ser criados para a produção de carne e leite. Além disso, constituem uma parcela significativa do rebanho de corte brasileiro, ocupando o quarto lugar entre as raças zebuínas registradas na Associação Brasileira dos Criadores de Zebu (ABCZ, 2020).

A adoção de recomendações nutricionais e utilização de modelos de predição de consumo e desempenho devem ser satisfatoriamente aplicáveis às condições de criação

brasileiras. Para que isso aconteça, é necessário gerar e abastecer um banco de dados de exigências nutricionais de bovinos produzidos em condições nacionais. Tal esforço já vem sendo realizado no Brasil pelo INCT Ciência Animal-CNPq, culminando na elaboração de três edições do BR-CORTE, que trazem tabelas de exigências nutricionais de bovinos de corte zebuínos e cruzados de corte e leite, sendo a versão mais recente publicada em 2016. No entanto, ainda são escassos os dados de fêmeas zebuínas disponíveis na literatura para serem incorporados ao sistema de exigências nutricionais brasileiras, e mais escassos ainda são os dados de fêmeas da raça Guzerá. Grande parte do banco de dados é composta por machos inteiros ou castrados (Borges et al., 2016; Marcondes et al., 2016).

Objetivou-se com o presente trabalho estudar o efeito do nível de consumo sobre a digestibilidade das dietas e a partição energética em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto, bem como determinar as exigências nutricionais de energia líquida para manutenção em diferentes planos alimentares e estudar as dinâmicas metabólicas da perda de peso em fêmeas Guzerá na fase de crescimento.

2.2. – MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. – Animais e dietas experimentais

Foram avaliados dados de 34 fêmeas da raça Guzerá da desmama ao peso adulto em dois experimentos. Em ambos os experimentos objetivou-se determinar o consumo, a digestibilidade aparente e a partição energética, em diferentes planos nutricionais. Os estudos foram realizados no Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil e tiveram duração de três anos. O experimento 1 foi aprovado pelo comitê de ética em experimentação animal da UFMG (CETEA-UFMG), cujo número de protocolo é 220/11. O experimento 2 foi aprovado pela comissão de ética no uso de animais da UFMG (CEUA-UFMG), cujo número de protocolo é 129/2015.

No experimento 1, os animais (n = 12, peso vivo médio 300,13 kg, variando de 211,5 a 395,25 kg) foram submetidos a dois planos alimentares: um a nível de manutenção (n = 6), inicialmente, em que a dieta foi fornecida em quantidades previstas para se permitir ganhos de 0,100 kg/d, e, posteriormente, esses mesmos animais foram submetidos ao plano alimentar *ad libitum* (n = 6), em quantidades previstas para se permitir ganhos de 1,00 kg/d. A dieta no plano alimentar em nível de manutenção teve proporção volumoso:concentrado (V:C) de 66:34 e, no plano alimentar *ad libitum* 68:32, com base na matéria seca (MS). As dietas foram compostas por silagem de milho, fubá de milho, farelo de soja, núcleo mineral, óxido de magnésio, flor de enxofre e ureia. Os animais em plano alimentar em nível de manutenção foram submetidos ao ensaio de consumo e digestibilidade. No experimento 2, realizando em sequência ao primeiro, os animais (n = 22, peso vivo médio 534,11 kg, variando de 441,5 a 628,5 kg) foram submetidos a três planos alimentares: um a nível de manutenção (n = 6), permitindo-se ganhos de 0,100 kg/d, um controlado (n = 6), permitindo-se ganhos de 0,500 kg/d, e, posteriormente, 5 animais de cada um dos grupos foram submetidos ao plano alimentar *ad libitum* (n = 10), permitindo-se ganhos de 1,0 kg/d. A proporção V:C foi igual nos três planos alimentares, 69:31 com base na MS. As dietas foram compostas por silagem de milho, fubá de milho, farelo de soja, núcleo mineral e ureia.

Em ambos os experimentos, as dietas foram inicialmente formuladas de acordo com o NRC (2000) e os animais tiveram acesso livre à água e ao sal mineral. Os animais foram submetidos a um sistema de confinamento do tipo *tie stall*. As dietas foram fornecidas duas vezes ao dia, em partes iguais. No período de alimentação *ad libitum* a dieta foi fornecida em quantidades que permitissem sobras de 10 a 15% da dieta na matéria natural. Os animais foram pesados a cada 15 dias, de forma a garantir o ganho de peso dos animais do grupo de acordo com o plano alimentar. O controle do desempenho dos animais era feito por meio do ajuste da quantidade da dieta fornecida. No conjunto total de dados (n = 34), os animais apresentaram peso vivo inicial médio de 411,21 kg, variando de 205 a 556 kg, peso vivo médio final de 491,85 kg, variando de 218 a 715 kg, e peso vivo médio (PV) de 451,53 kg, variando de 211,50 a 628,50 kg. O ganho médio diário (GMD) foi 0,754 kg/d, variando de 0,08 a 1,52 kg.

2.2.2. – Consumo e digestibilidade

Após a estabilização de ganho de peso dos animais, determinou-se o consumo de matéria seca (CMS) individual dos animais por meio da pesagem da quantidade de alimentos fornecida, subtraindo-se da quantidade de sobras deixadas pelos animais nos cochos individuais. Foram determinadas as concentrações de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), carboidratos não fibrosos (CNF), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), fibra em detergente ácido (FDA) das dietas, das sobras e das fezes, para o cálculo do consumo de MS e dos nutrientes.

Realizaram-se ensaios de digestibilidade em cada um dos planos de alimentação, por meio de coleta total de fezes. No primeiro experimento, realizou-se coleta total de fezes por três dias consecutivos no plano de alimentação a nível de manutenção, e por cinco dias consecutivos no plano de alimentação *ad libitum*. No segundo experimento, a coleta total de fezes foi realizada em três dias consecutivos nos três planos alimentares (Ferreira et al., 2009). Realizou-se coleta de amostra *spot* de urina ao fim de cada ensaio de consumo e digestibilidade, a fim de se estimar o volume de urina excretada e a quantidade de nitrogênio urinário em gramas por dia, de acordo com metodologia proposta por Valadares et al. (1999).

O consumo e o teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) das dietas foram determinados a partir da digestibilidade aparente dos nutrientes, utilizando-se a equação proposta por Sniffen et al. (1992):

$$CNDT = (CPB - PBf) + 2,25(CEE - EEf) + (CCHOT - CHOTf)$$

Em que CNDT, CPB, CEE e CCHOT significam consumo de NDT, de proteína bruta, de extrato etéreo e de carboidratos totais em quilos por dia, respectivamente; e PBf, EEf e CHOTf a quantidade de proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos totais excretados nas fezes em quilogramas por dia. Além disso, estimou-se o teor de NDT a partir da relação proposta pelo ARC (1980), em que 1kg de NDT equivale a 4,4 Mcal de ED, a fim de comparar os valores determinado e estimado.

Na tabela 1 está apresentada a estatística descritiva das dietas experimentais utilizadas.

Tabela 1 - Estatística descritiva das dietas experimentais

Variáveis	N	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	Erro Padrão	CV%
MS (%)	34	44,53	1,63	41,59	45,96	0,28	3,67
MO (%MS)	34	93,61	1,50	90,71	95,04	0,26	1,61
PB (%MS)	34	13,60	2,92	11,34	19,45	0,50	21,45
EE (%MS)	34	3,33	0,30	2,85	3,79	0,05	8,95
CNF (%MS)	34	41,10	3,97	37,34	48,77	0,68	9,66
FDN (%MS)	34	41,13	2,79	37,11	45,87	0,48	6,78
FDNcp (%MS)	34	38,53	2,06	35,37	41,75	0,35	5,34
FDA (%MS)	34	23,97	1,46	21,77	25,88	0,25	6,09
NDT (%)	34	74,97	5,07	65,34	82,46	0,87	6,76

MS, matéria seca; MO, matéria orgânica; PB, proteína bruta; EE, extrato etéreo; CNF, carboidratos não fibrosos; FDN, fibra em detergente neutro; FDNcp, fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; FDA, fibra em detergente ácido; NDT, nutrientes digestíveis totais.

2.2.3. – Partição energética, respirometria e exigências nutricionais de energia para manutenção

A concentração da EB da dieta oferecida, das sobras, das fezes e da urina foi determinada em bomba calorimétrica adiabática. Calculou-se o consumo e a concentração da ED da dieta, subtraindo-se da EB da dieta a EB das fezes. O consumo e a concentração da EM foram obtidos subtraindo-se da ED a EB perdida na forma de urina e metano. O valor calórico do metano foi obtido atribuindo-se o equivalente calórico de 9,45 kcal/L de metano, de acordo com Brouwer (1965). O consumo e a concentração de energia líquida da dieta foram obtidos a partir da subtração entre o consumo de energia metabolizável (CEM em Mcal/d) pelo IC (Mcal/d). As concentrações energéticas da dieta foram expressas em Mcal/kg MS.

Após cada ensaio de digestibilidade aparente, os animais foram submetidos à respirometria em circuito aberto, conforme descrito por Silva et al. (2018), para determinação da produção de calor em jejum e em estado alimentado.

Com o objetivo de se estudar o metabolismo da perda de peso nos animais em crescimento (experimento 1), em que os animais estavam em plano alimentar em nível de manutenção, foi imposto um período de restrição alimentar (plano alimentar restrito) em que se forneceu a dieta em quantidades que permitiram discreta perda de peso (0,11 kg/d). Os animais foram adaptados a essa dieta, em que foram mantidas as proporções V:C e a composição de nutrientes, mas ofertada em menor quantidade. Tal mensuração foi realizada cerca de um mês

após o ensaio de digestibilidade aparente, após o período de adaptação. No período de alimentação *ad libitum* os animais também foram submetidos ao ensaio de consumo e digestibilidade aparente e à respirometria em ganho de peso, como previsto, para se determinar as exigências nutricionais de energia para manutenção. No experimento 2, os animais foram submetidos ao ensaio de consumo e digestibilidade aparente e à respirometria nos planos alimentares manutenção, controlado e *ad libitum*, para se determinar as exigências nutricionais de energia. Os animais ao serem submetidos à respirometria em estado alimentado, receberam a mesma dieta ofertada no ensaio de consumo e digestibilidade. Posteriormente, os animais foram submetidos a um jejum de alimentos sólidos por 48 horas e, então, foram submetidos à respirometria para se determinar a produção de calor em jejum. Determinou-se o volume de O₂ consumido (L/d) e o volume de CO₂ (L/d) e CH₄ (L/d) produzidos em 24 horas. A produção de calor (MJ/d) foi obtida a partir da seguinte equação proposta por Brouwer (1965):

$$PC = 16,18 \times O_2 + 5,02 \times CO_2 - 2,17 \times CH_4 - 5,99 \times Nur$$

Em que O₂ é expresso em litros consumidos por dia, CO₂ e CH₄ em litros produzidos por dia, e Nur é a excreção de nitrogênio urinário expressa em gramas por dia.

Para conversão da PC de joules em megacalorias, dividiu-se o valor obtido por 4,1868. O incremento calórico (IC) foi obtido subtraindo-se a produção de calor em jejum (PC_j) da produção de calor em estado alimentado (PC_a).

Para a determinação da PC_j estimou-se o peso vivo em jejum (PV_j) a partir do peso vivo (PV) por meio da equação proposta por Gionbelli et al. (2016):

$$PV_j = 0,88 \times PV^{1,0175}$$

As exigências nutricionais de energia líquida para manutenção foram determinadas por duas metodologias. A primeira metodologia utilizada foi a PC_j em câmara respirométrica, em nível de manutenção (Silva et al., 2018). A segunda metodologia foi realizada por meio de modelo de regressão linear entre o logaritmo da produção de calor em estado alimentado (Y), obtido por meio da respirometria, e o consumo de energia metabolizável (X), expresso em quilocalorias por quilograma de peso vivo vazio metabólico, adaptando-se a metodologia utilizada no abate comparativo descrita por Lofgreen e Garret (1968):

$$\text{Log } PC_a = a + b \times CEM$$

Em que Log PCa é o logaritmo da produção de calor em estado alimentado, a é o intercepto da regressão linear, b é o parâmetro que representa o efeito do CEM sobre o Log PCa, ou a taxa de variação do Log PCa em função do CEM. A energia líquida de manutenção (ELm) correspondeu ao antilogaritmo do intercepto (a) em que o CEM se igualou a zero.

A estimativa do peso vivo vazio (PVZ) foi obtida a partir do PV por meio de equação proposta por Borges (2000) para fêmeas da raça Guzerá:

$$PVZ = 6,1612546 + 0,86863 \times PV$$

A exigência de energia metabolizável de manutenção (EMm) foi obtida por iteração a partir da equação de regressão linear entre o logaritmo da PCa e o CEM, em que a energia retida se igualou a zero. A eficiência da utilização da energia metabolizável para a manutenção (km) dos animais foi obtida de acordo com a relação proposta pelo ARC (1980):

$$km = ELm/EMm$$

Em que ELm é a exigência de energia líquida para manutenção e EMm é a exigência de energia metabolizável para manutenção, ambas expressas em quilocalorias por quilograma de peso vivo vazio metabólico.

2.2.3.1 – Exigências nutricionais em animais em discreta perda de peso

As correções para se determinar as exigências de energia líquida de manutenção dos animais em perda de peso no período restrito (n = 6) foram obtidas a partir do valor de ELm obtido por Carvalho (2020), que determinou a exigência de ELm de fêmeas zebuínas em crescimento, em experimento em que os animais foram submetidos a planos em nível de manutenção e *ad libitum*. Os valores obtidos por este autor foram 65,26 kcal/kg PVZ^{0,75} de ELm e 0,64 de km. Dividindo-se a ELm pelo km, obteve-se a EMm de 101,92 kcal/kg PVZ^{0,75}. O calor excedente devido à mobilização de reservas corporais foi obtido subtraindo-se a PCa determinada em câmara respirométrica pelo valor de EMm:

$$PCmob = PCa \text{ câmara} - EMm$$

Em que PCmob é a produção de calor referente à mobilização de reservas corporais de energia, PCa câmara a PCa determinada na respirometria e EMm a exigência de energia

metabolizável de manutenção. Todos os valores foram expressos em quilocalorias por quilograma de peso vivo vazio metabólico.

De acordo com o CSIRO (2007), a eficiência de utilização da energia mobilizada das reservas corporais é de 80%. Dessa forma, o valor de PCmob representou a ineficiência de 20% desse processo. A partir dessa relação, calculou-se o total de energia líquida mobilizada pelos animais:

$$Emobt_{tot} = (PC_{mob} \times 100)/20$$

Em que $Emobt_{tot}$ é a energia da mobilização das reservas corporais total, expressa em quilocalorias por quilograma de peso vivo vazio metabólico.

A correção para PCj foi realizada subtraindo-se o valor de PCj obtido em câmara respirométrica por PCmob, ambos expressos em quilocalorias por quilograma de peso vivo vazio metabólico:

$$PCj_{corrigida} = PCj_{câmara} - PC_{mob}$$

Para se estimar a perda de peso vivo vazio (PPVZE), em quilograma, considerou-se o teor de energia em um quilograma de peso vivo vazio (E_{kgPVZ}) sendo 2,27 Mcal, como determinado por Borges (2000) para fêmeas da raça Guzerá em crescimento de peso vivo médio de 200kg.

$$PPVZE = Emobt_{tot}/E_{kgPVZ}$$

Em que $Emobt_{tot}$ é a energia da mobilização das reservas corporais total, expressa em quilocalorias por quilograma de peso vivo vazio metabólico.

Na tabela 2 estão apresentados os parâmetros e equações utilizados para se obter as exigências nutricionais de energia líquida para manutenção em novilhas da raça Guzerá em crescimento.

Tabela 2 - Equações e parâmetros utilizados para obtenção das exigências nutricionais de energia líquida de manutenção em novilhas Guzerá em crescimento

Item	Equação	Fonte
PVj	$PVj = 0,88 \times PV^{1,0175}$	Gionbelli et al. (2016)
PVZ	$PVZ = 6,1612546 + 0,86863 \times PV$	Borges (2000)
NDT (%)	$NDT = ED/4,4$	ARC (1980)
Log PCa	$Log PCa = a + b \times CEM$	Lofgreen e Garret (1968)
Elm (kcal/kgPVZ ^{0,75})	$Elm = 65,23 \text{ kcal/kg PVZ}^{0,75}$	Carvalho (2020)
Km	$km = 0,64$	Carvalho (2020)
EMm (kcal/kgPVZ ^{0,75})	$EMm = 101,92 \text{ kcal/kgPVZ}^{0,75}$	Carvalho (2020)
Kmob	$kmob = 0,80$	CSIRO (2007)
EkgPVZ (Mcal)	$EkgPVZ = 2,27 \text{ Mcal}$	Borges (2000)
PCmob (kcal/kg PVZ ^{0,75})	$PCmob = PCa \text{ câmara} - Emm$	-
Emobtot (kcal/kg PVZ ^{0,75})	$Emobtot = (PCmob \times 100)/20$	CSIRO (2007)
Emobut (kcal/kg PVZ ^{0,75})	$Emobut = Emobtot \times 0,8$	CSIRO (2007)
PCa corrigida (kcal/kg PVZ ^{0,75})	$PCa \text{ corrigida} = PCa \text{ câmara} - PCmob$	-
PCj corrigida (kcal/kg PVZ ^{0,75})	$PCj \text{ corrigida} = PCj \text{ câmara} - PCmob$	-
Perda de peso vivo vazio estimada (kg)	$PPVZE = Emobtot/EkgPVZ$	-

PVj, peso vivo em jejum estimado; PVZ, peso vivo vazio; PV, peso vivo; NDT, nutrientes digestíveis totais; ED, energia digestível; Log PCa, logaritmo da produção de calor em estado alimentado; CEM, consumo de energia metabolizável; Elm, exigência de energia líquida para manutenção; km, eficiência da utilização da energia metabolizável para manutenção; EMm, exigência de energia metabolizável para manutenção; kmob, eficiência da utilização da energia mobilizada das reservas corporais para manutenção; EkgPVZ, energia contida em 1kg de peso vivo vazio mobilizado; PCmob, produção de calo referente à mobilização de reservas corporais; PCa câmara, produção de calor em estado alimentado determinada em câmara respirométrica; Emobtot, energia total referente à mobilização de reservas corporais; Emobut, fração da energia total mobilizada utilizada para manutenção; PCa corrigida, produção de calor em estado alimentado corrigida para produção de calor da mobilização de reservas corporais; PCj corrigida, produção de calor em jejum corrigida para produção de calor da mobilização de reservas corporais; PCj câmara, produção de calor em jejum determinada em câmara respirométrica; PPVZE, perda de peso vivo vazio estimada.

2.2.4. – Análises estatísticas

Realizou-se análise estatística descritiva das variáveis em que se determinou a média, valores mínimos e máximos, desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP) e coeficiente de variação (CV).

Foram feitas análises de regressão linear para estudar a associação entre as variáveis relacionadas ao consumo, à digestibilidade, à partição energética e à produção de metano.

Realizou-se a comparação de médias dos valores de teor e consumo de NDT determinados por meio de ensaio de digestibilidade aparente e por meio da relação proposta pelo ARC (1980) utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software R Studio versão 3.6.3. Para se realizar a estatística descritiva utilizou-se o pacote *Psych*, para se realizar as análises de comparação de média e análises de regressão utilizou-se o pacote *Agricolae* a 5% de probabilidade.

2.3. – RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. – Consumo e digestibilidade

A estatística descritiva do consumo e da digestibilidade aparente da matéria seca, da matéria orgânica e dos nutrientes está apresentada na tabela 3.

Tabela 3 - Estatística descritiva do consumo e da digestibilidade aparente da matéria seca, da matéria orgânica e dos nutrientes

Variáveis	N	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	Erro Padrão	CV%
CMS (kg/d)	34	6,76	2,59	2,06	10,49	0,44	38,32
CMS (%PV)	34	1,46	0,43	0,91	2,45	0,07	29,68
CMS (kg/PVZ ^{0,75})	34	73,95	22,72	39,13	117,52	3,90	30,72
CMO (kg/d)	34	6,36	2,47	1,87	9,95	0,42	38,84
CPB (kg/d)	34	0,87	0,30	0,40	1,34	0,05	34,57
CEE (kg/d)	34	0,22	0,07	0,07	0,31	0,01	33,94
CCNF (kg/d)	34	2,85	1,24	0,78	4,49	0,21	43,47
CFDN (kg/d)	34	2,72	0,94	0,94	3,99	0,16	34,75
CFDNcp (kg/d)	34	2,56	0,90	0,86	3,82	0,15	35,23
CFDA (kg/d)	34	1,59	0,55	0,52	2,32	0,09	34,75
CNDT (kg/d)	34	4,99	1,83	1,65	8,15	0,31	36,58
DMS (%)	34	69,36	5,71	56,48	78,63	0,98	8,24
DMO (%)	34	72,20	5,38	60,30	80,55	0,92	7,45
DPB (%)	34	68,55	7,98	54,23	82,51	1,37	11,64
DFDN (%)	34	60,34	5,31	49,63	70,38	0,91	8,81
DFDNcp (%)	34	62,67	6,72	46,18	71,26	1,15	10,72
DFDA (%)	34	60,33	6,24	47,48	71,42	1,07	10,34

CMS, consumo de matéria seca; PV, peso vivo; PVZ^{0,75}, peso vivo vazio metabólico; CMO, consumo de matéria orgânica; CPB, consumo de proteína bruta; CEE, consumo de extrato etéreo; CCNF, consumo de carboidratos não fibrosos; CFDN, consumo de fibra em detergente neutro; CFDNcp, consumo de fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; CFDA, consumo de fibra em detergente ácido; CNDT, consumo de nutrientes digestíveis totais; DMS, digestibilidade da matéria seca; DMO, digestibilidade da matéria orgânica; DPB, digestibilidade da proteína bruta; DFDN, digestibilidade da fibra em detergente neutro; DFDNcp, digestibilidade da fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; DFDA, digestibilidade da fibra em detergente ácido.

A resposta da DMS em função do CMS, utilizando-se todo o banco de dados (n = 34), apresentou R² igual a 0,3233 para a equação $DMS = 77,834 - 1,2534 \times CMS$ ($P = 0,0045$). Ao

se realizar a mesma análise separando-se o banco de dados dos experimentos 1 e 2, observou-se que os dados do experimento 1 produziram a equação $DMS = 73,703 - 0,7501 \times CMS$ com R^2 igual a 0,6813 ($P < 0,001$) (figura 1). A equação de regressão resultante da análise dos dados do experimento 2, $DMS = 91,191 - 2,9084 \times CMS$, apresentou R^2 igual a 0,5291 ($P < 0,001$).

Na figura 1 está apresentada a relação entre a digestibilidade da MS em função do consumo de MS no experimento 1.

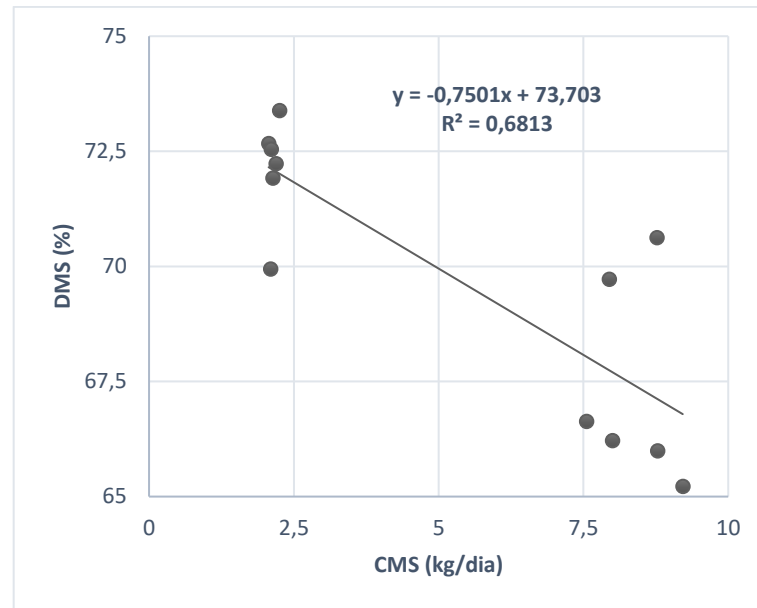


Figura 1 – Relação entre a digestibilidade da matéria seca (DMS) em função do consumo de matéria seca (CMS) em fêmeas da raça Guzerá em crescimento ($R^2 = 0,6813$, $P < 0,001$) (experimento 1, $n = 12$).

Na figura 1 observa-se redução da DMS em 0,7501% para cada aumento em uma unidade no CMS. A digestibilidade dos alimentos depende de sua composição nutricional, especialmente da proporção e da qualidade dos carboidratos fibrosos, e do nível de consumo. Molina (2017) estudou a taxa de passagem e o tempo de retenção da digesta no TGI nos animais do experimento 1, nos planos alimentares manutenção e *ad libitum*. A autora observou que o aumento no nível de consumo aumentou a taxa de passagem média da digesta no retículo rúmen em 21,45% (de 2,16 para 2,75%/hora), reduziu o tempo de retenção médio da digesta no rúmen em 27,1% (de 51,14 para 37,28 horas) e reduziu o tempo de retenção médio total da digesta no TGI em 29,4% (de 73,58 para 51,96 horas).

A redução da DMS em função do aumento do consumo se deve, principalmente, pela redução do tempo de retenção da digesta no trato gastrointestinal (TGI). A redução do tempo

de retenção da digesta no TGI se dá em função do aumento da taxa de passagem (Grover e Williams, 1973), de tal forma que a exposição do alimento à ação dos micro-organismos ruminais é reduzida.

De acordo com o AFRC (1993), animais alimentados em nível de manutenção têm a taxa de passagem da digesta no rúmen de 2,0%/h. A taxa de passagem pode variar de 2,0 a 8,0% em função da proporção entre volumoso e concentrado, da qualidade da dieta e do nível de consumo. A taxa de passagem afeta a digestão dos nutrientes (Van Soest, 1994), de forma quantitativa (digestibilidade) e qualitativa (fermentação ruminal vs. digestão intestinal, por exemplo).

Em relação à digestibilidade da matéria orgânica (DMO), também se observou redução dessa variável em função do aumento do CMS. A análise de regressão com os dados de ambos os experimentos em conjunto forneceu a equação $DMO = 81,614 - 1,392 \times CMS$ ($R^2 = 0,4499$, $P < 0,0001$). Ao se realizar essa análise com os dados do experimento 2, obteve-se a equação $DMO = 91,386 - 2,588 \times CMS$ ($R^2 = 0,5263$; $P < 0,001$). A análise de regressão com os dados do experimento 1 resultou em uma equação com maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8362$, $P < 0,001$). Na figura 2 está apresentada a relação entre a digestibilidade da MO em função do consumo de MS do experimento 1.

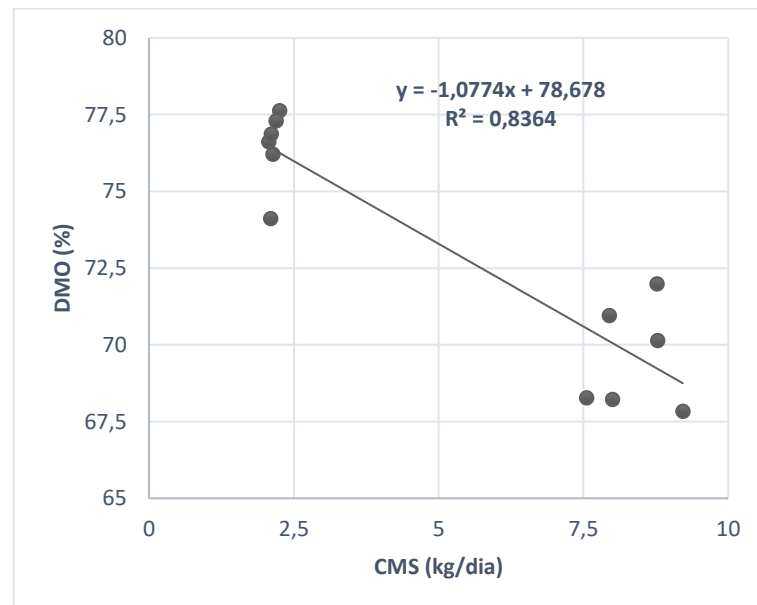


Figura 2 – Relação entre a digestibilidade da matéria orgânica (DMO) em função do consumo de matéria seca (CMS) em novilhas da raça Guzará em crescimento ($R^2 = 0,8362$, $P < 0,0001$) (experimento 1, $n = 12$).

Na figura 2 observa-se que o aumento em uma unidade do CMS resultou em redução da DMO em 1,0774%. A mesma lógica que se aplica à DMS, aplica-se à DMO, já que apresentam associação forte ($R^2 = 0,9632$, $P < 0,0001$) (figura 3). Em média, 93,61% da MS foi composta por MO (tabela 1).

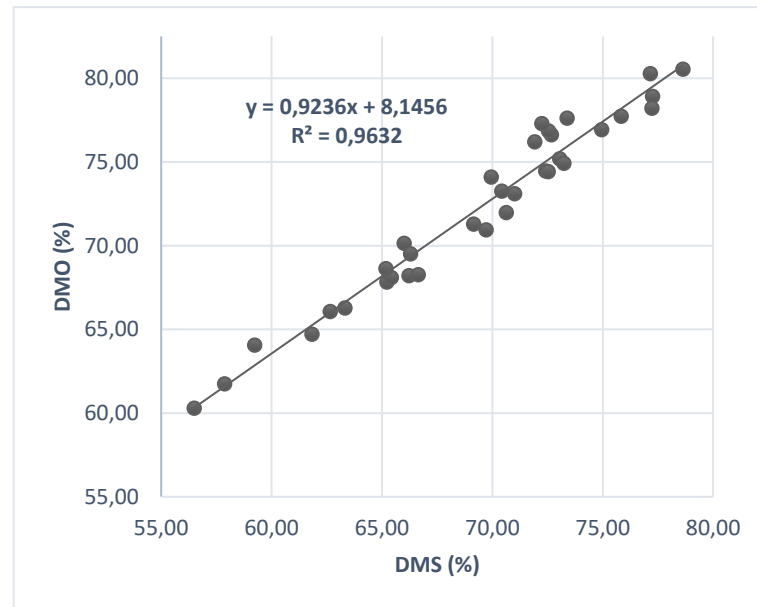


Figura 3 – Relação entre a digestibilidade da matéria orgânica (DMO) em função da digestibilidade da matéria seca (DMS) em fêmeas Guzerá da desmama à idade adulta ($R^2 = 0,9632$, $P < 0,0001$) ($n = 34$).

As dietas experimentais foram bastante homogêneas em sua composição nutricional, fato que pode ser confirmado pelos coeficientes de variação (CV) dos teores médios de MO, CNF, FDNcp e FDA das dietas, que foram 1,61, 9,66, 5,34 e 6,09%, respectivamente. Buscou-se manter a proporção V:C similar das dietas entre os planos alimentares para se evitar o efeito associativo da partição da digestão. O nutriente que apresentou maior CV foi a PB (cujo teor nas dietas variou de 11,34 a 19,45%), devido ao fato de as exigências nutricionais de proteína variarem mais, em função do estágio fisiológico de desenvolvimento (Geay, 1984). Além disso, foi necessário ajustar o teor de PB da dieta em função do CMS, especialmente no grupo manutenção. A exigência nutricional de proteína no animal decresce com o avançar da idade e com o aumento no ganho diário (Rotta et al., 2016; BCNRM, 2016). Animais em crescimento apresentam maior deposição de proteína no ganho de peso vazio e, com o avançar da idade, há um decréscimo da participação de proteína no peso de corpo vazio, com aumento da proporção de gordura corporal (Borges, 2000).

O R^2 , ou coeficiente de determinação, informa o quanto a mudança na variável dependente Y ocorre em função da mudança na variável independente X . Quanto maior o R^2 , mais confiáveis serão as estimativas obtidas pelo modelo. O valor baixo de R^2 pode se dar em função da característica da própria relação estudada, cuja explicação depende da inclusão de mais de uma variável independente no modelo, devido a efeitos aditivos ou associativos. No entanto, o objetivo da realização das análises de regressão foi apenas observar a relação entre duas variáveis, e não elaborar modelos de predição.

2.3.2. – Consumo de nutrientes digestíveis totais

Na tabela 4 estão apresentadas a concentração e o consumo de NDT obtidos por meio do ensaio de digestibilidade aparente e pela relação proposta pelo ARC (1980), em que 1,0 kg de NDT equivale a 4,4 Mcal de ED consumida.

Tabela 4 – Consumo de nutrientes digestíveis totais por fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto

	Consumo de NDT (kg/d)	Desvio Padrão	EP	Teor de NDT (%)	Desvio Padrão	EP
NDT determinado ¹	4,99 a	1,83	0,31	74,97 a	0,05	0,01
NDT estimado ²	5,07 a	2,05	0,35	74,94 a	0,05	0,01

NDT, nutrientes digestíveis totais; EP, erro padrão da média; ¹ - de acordo Sniffen et al. (1992); ² - NDT (%) = ED/4,4, de acordo com ARC (1980); letras distintas na mesma coluna indicam diferença estatística ao Teste de Tukey ($P < 0,05$).

O teor médio de nutrientes digestíveis totais (NDT) da dieta foi 74,97% (CV = 6,76%). Os animais consumiram, em média, 4,99kg de NDT. A concentração e o consumo do NDT estimados a partir da relação proposta pelo ARC (1980) apresentaram-se semelhantes aos encontrados por meio do ensaio de digestibilidade aparente ($P > 0,05$).

O sistema NDT ainda é muito utilizado para a formulação de dietas e para se expressar as exigências nutricionais de ruminantes. Entretanto, o uso do NDT apresenta limitações em relação aos sistemas mais modernos que utilizam energia metabolizável e energia líquida. Um determinado valor de NDT pode não ter o mesmo significado para alimentos concentrados e

volumosos. Para se conhecer a real disponibilidade de energia para o metabolismo animal é necessário descontar, além das perdas de energia fecais, as perdas de energia urinária e gasosa, resultante da fermentação ruminal (Owens et al., 2010). Vale ressaltar que, em comparação com a ED, o sistema NDT reduz parte do erro sistemático, ao se descontar parte da energia perdida na urina (Weiss, 2019).

A fermentação entérica, especialmente a ruminal, de alimentos volumosos leva à produção de metano, uma importante fonte de perda de energia no processo de digestão. De acordo com Baldwin e Sainz (1995), o sistema de energia metabolizável se encarrega de corrigir esse erro sistemático, ao considerar as perdas de energia do metano. No sistema NDT, a energia perdida na forma de metano é considerada como disponível para o animal, quando na prática o valor real de NDT pode ser inferior ao obtido pelo ensaio de digestibilidade aparente.

De acordo com Ferrel e Oltjen (2008), o maior problema do sistema NDT é que o valor obtido para volumosos e concentrados não é aditivo quando utilizado para ruminantes, como o sistema propõe. Ainda segundo os autores, a variação na perda de calor durante a fermentação, as mudanças na digestibilidade em função do consumo, e as diferenças nos produtos de fermentação e suas distintas eficiências de utilização, levam à não aditividade no sistema NDT. Além disso, o teor de NDT de uma dieta pode ser superestimado quando não se realiza a correção de matéria mineral e da proteína indigestível da fração fibrosa, já que a matéria mineral não fornece energia e a proteína ligada à fração lignificada se encontra indisponível para o animal.

O sistema NDT é, além de aditivo ou fatorial, empírico e estático. É empírico pois o sistema não busca explicar o que ocorre entre o consumo e a excreção fecal, urinária e gasosa. Além disso, o NDT é determinado em consumo em nível de manutenção, o que pode levar à menor acurácia quando empregado para situações em que os animais se alimentam em nível maior que a manutenção. É estático pois as estimativas são pontuais, já que as coletas de fezes são feitas uma ou duas vezes ao longo do período experimental, por três a cinco dias consecutivos (Baldwin e Sainz, 1995, Ferreira et al., 2009).

Na figura 4 está apresentada a relação entre o teor de NDT da dieta em função da digestibilidade da MO.

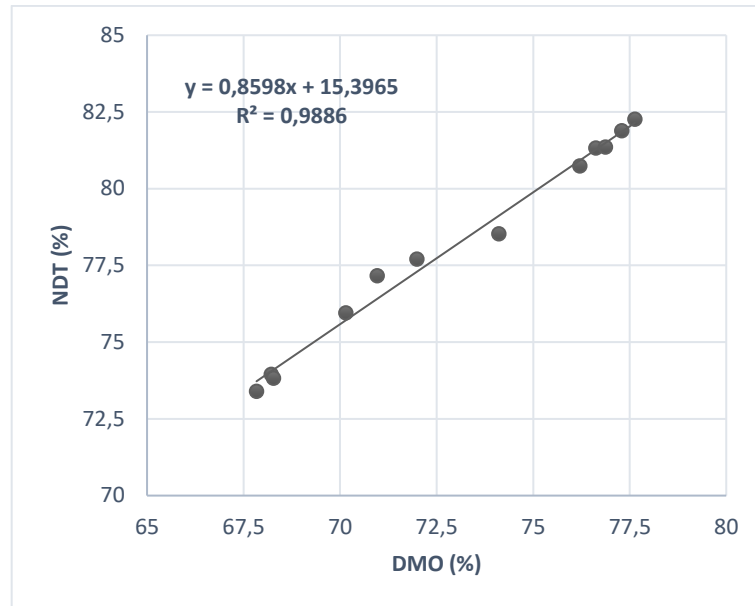


Figura 4 – Relação entre o teor de nutrientes digestíveis totais da dieta (NDT) em função da digestibilidade da matéria orgânica (DMO) em fêmeas da raça Guzerá em crescimento ($R^2 = 0,9886$, $P < 0,0001$) (experimento 1, $n = 12$).

O cálculo do teor de NDT de uma dieta leva em conta a digestibilidade aparente de suas proteínas, carboidratos e lipídeos, então é de se esperar um elevado valor de R^2 ao estudar a variação no NDT em função da DMO. Utilizando-se os dados de ambos os experimentos, ou apenas do experimento 2, obteve-se um valor de R^2 de 0,5173 ($P < 0,0001$) e 0,503 ($P < 0,001$), respectivamente. Os dados do experimento 1 apresentaram um melhor ajuste ($R^2 = 0,9886$, $P < 0,0001$).

Apesar das limitações, no entanto, o sistema de NDT ainda é largamente utilizado devido à possibilidade de se expressar as exigências de nutrientes pelos animais em porcentagem da dieta ou mesmo em quilograma por dia. É uma ferramenta de fácil uso em situações práticas de campo, para formulação de rações. Além disso, o banco de dados de NDT presente nas tabelas de composição de alimentos no Brasil é muito maior do que os valores de ED e EM.

2.3.3. – Partição energética

A estatística descritiva referente à partição de energia encontra-se na tabela 5.

Tabela 5 - Partição energética em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto e a concentração energética das dietas

Variáveis	N	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	Erro Padrão	CV%
CEB (Mcal/d)	34	29,90	11,62	8,85	46,78	1,99	38,85
CED (Mcal/d)	34	22,31	9,00	6,79	39,21	1,54	40,33
CEM (Mcal/d)	22	17,61	8,54	5,47	35,06	1,82	48,50
CEL (Mcal/d) ¹	12	8,05	5,29	2,61	15,11	1,53	65,74
EB (Mcal/kg de MS)	34	4,40	0,08	4,29	4,53	0,01	1,82
ED (Mcal/kg de MS)	34	3,30	0,24	2,85	3,74	0,04	7,43
EM (Mcal/kg de MS)	22	2,76	0,27	2,39	3,34	0,06	9,74
EL (Mcal/kg de MS)	12	1,50	0,17	1,24	1,73	0,05	11,19
ED/EB	34	0,75	0,05	0,66	0,84	0,01	6,54
EM/ED	22	0,85	0,03	0,78	0,90	0,01	3,93
EL/EB	12	0,35	0,04	0,29	0,40	0,01	11,07
q (EM/EB)	22	0,63	0,05	0,55	0,75	0,01	8,30
CH ₄ (L/d)	22	181,97	63,86	75,36	252,33	13,61	35,09
EB CH ₄ (Mcal/d)	22	1,73	0,59	0,75	2,39	0,13	34,40
N urinário (g/d)	34	54,67	12,75	26,39	75,16	2,19	23,33

CEB, consumo de energia bruta; CED, consumo de energia digestível; CEM, consumo de energia metabolizável; CEL, consumo de energia líquida; EB, concentração de energia bruta da dieta; ED, concentração de energia digestível da dieta; EM, concentração da energia metabolizável da dieta; EL, concentração de energia líquida da dieta; ED/EB, relação da concentração entre energia digestível e energia bruta consumidas; EM/ED, relação entre energia metabolizável e energia digestível consumidas; EL/EB, relação entre energia líquida e energia bruta consumidas; q, metabolizabilidade, relação entre energia metabolizável e energia bruta consumidas; EB CH₄, energia bruta do metano produzido; N urinário, nitrogênio excretado na urina.

O CEB foi, em média, 29,90 Mcal/d (variando de 8,85 a 46,78). O CEB serve de ponto de partida para que se faça a partição energética da dieta, já que isoladamente não nos fornece informações sobre o valor nutricional. A concentração de EB variou muito pouco entre as dietas, como era esperado, uma vez que não foram adicionadas fontes de lipídeos às mesmas.

O consumo de energia digestível (CED) é um indicador de qualidade da dieta, obtido ao se subtrair do CEB a energia perdida nas fezes. Porém, à semelhança do NDT, a ED não leva

em conta as perdas de energia na forma de metano, podendo-se superestimar o seu valor, especialmente para alimentos volumosos.

A relação CED/CEB foi, em média, 0,75 (tabela 5). Isso significa que 25% da energia bruta consumida foi perdida nas fezes. De acordo com o CSIRO (2007), a energia fecal pode variar de 20 a 80% da EB consumida, sendo que valores abaixo de 20% são encontrados para alimentos de alta qualidade. De acordo com NRC (2000), a ED varia de 30% para forragens maduras a 90% para grãos de cereais de alta qualidade, em relação à EB.

Dietas menos digestíveis resultam em maior perda de energia nas fezes, devido à maior proporção de material não degradado ao longo do trato gastrointestinal (Owens et al., 2010). Além disso, a taxa de passagem, que está diretamente relacionada com o nível de alimentação, também pode levar a um aumento da perda de energia excretada nas fezes. Espera-se, com o aumento do consumo, o aumento da produção fecal e, conseqüentemente, o aumento na perda de energia aparente nas fezes.

As concentrações médias de EB e ED da dieta, em Mcal/kg de MS, foram 4,40 (variando de 4,29 a 4,53) e 3,30 (variando de 2,85 a 3,74), respectivamente. O consumo médio de ED foi 22,31 Mcal/d (variando de 6,79 a 39,21). Na figura 5 está representada a relação do consumo de ED em função do consumo de EB.

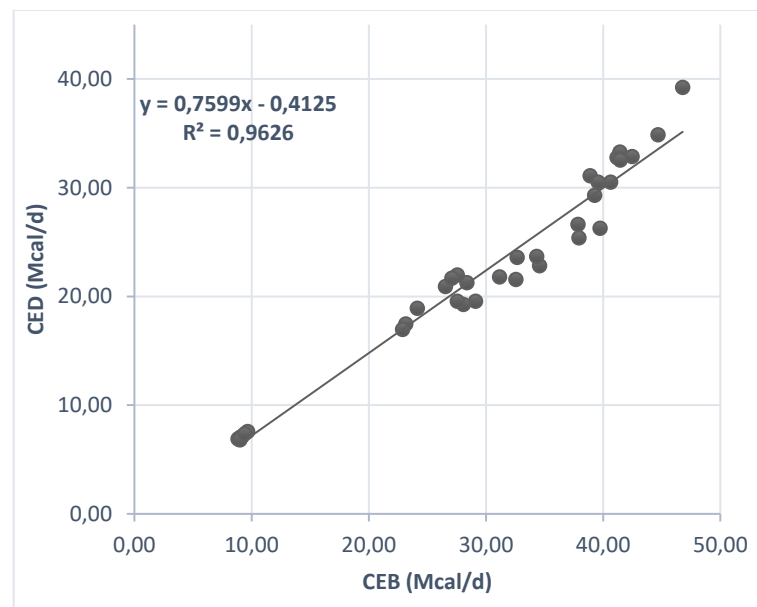


Figura 5 – Relação entre o consumo de energia digestível (CED) em função do consumo de energia bruta (CEB) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,9626$, $P < 0,0001$) ($n = 34$).

A maior variação dos consumos de EB e ED se deu em função dos planos de alimentação distintos impostos aos animais (manutenção, controlado e *ad libitum*), ou seja, do nível de consumo de MS. Chizzotti et al. (2007), em estudo de exigências nutricionais de novilhos, novilhas e touros F1 (Nelore x Red Angus), observaram que os animais em nível de manutenção tiveram menor consumo e maior concentração de ED na dieta que os animais consumindo concentrado em níveis de 0,75 e 1,5% do PV. Possivelmente a maior concentração de ED na dieta se deu em função da menor taxa de passagem.

A concentração média de EM nas dietas foi 2,76 Mcal/kg de MS e apresentou variação de 2,39 a 3,34 Mcal/kg de MS. O CEM médio foi de 17,61 Mcal/d (variando de 5,47 a 35,06 Mcal/d). As variações ocorreram em função dos planos alimentares impostos aos animais, já que as dietas foram muito homogêneas.

A relação entre as concentrações de EM em função da ED das dietas está representada na figura 6. Na figura 7 está apresentada a relação entre o consumo de EM em função do CED.

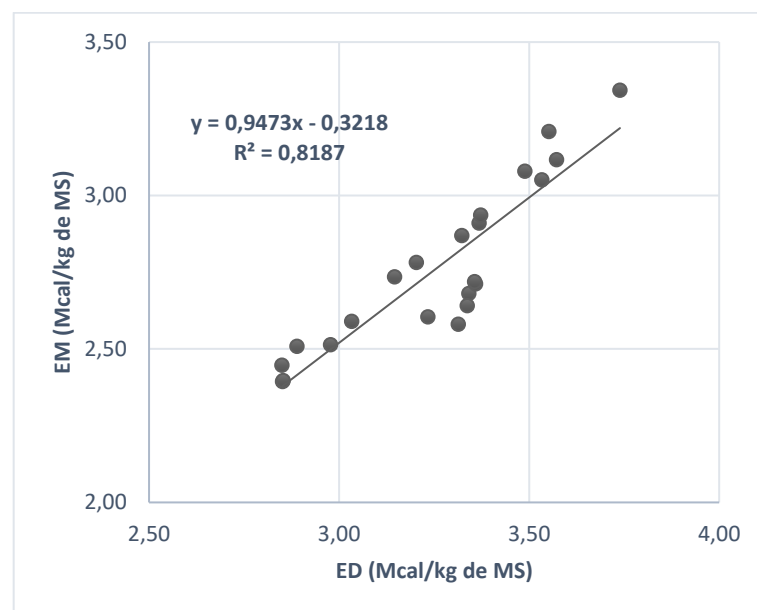


Figura 6 – Relação entre a concentração de energia metabolizável (EM) em função da energia digestível (ED) em dietas de fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto

($R^2 = 0,8187$, $P < 0,0001$) ($n = 22$).

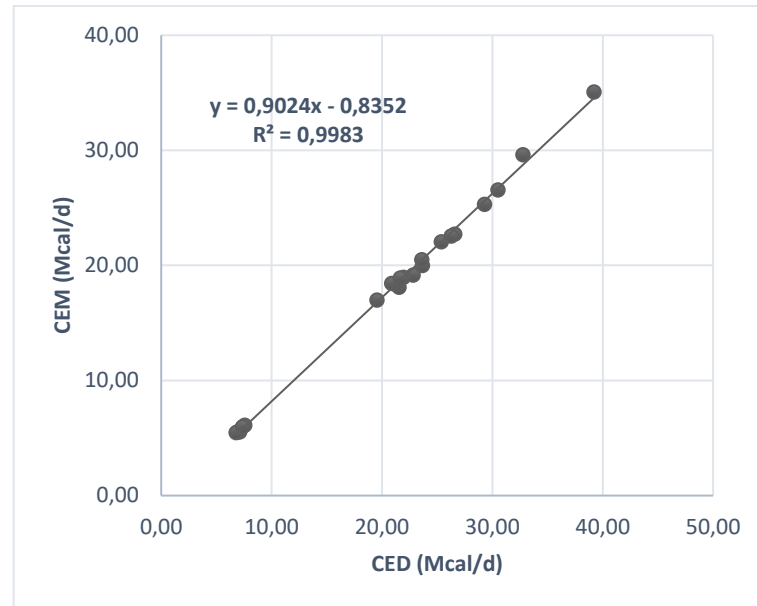


Figura 7 – Relação entre o consumo de energia metabolizável (CEM) em função do consumo de energia digestível (CED) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,9983$, $P < 0,0001$) ($n = 22$).

A energia metabolizável consiste na energia disponível para a utilização pelo organismo animal para as diversas funções metabólicas. Ela é obtida após descontar as perdas de energia na forma de metano e urina da energia digestível. De acordo com Van Soest (1994), as perdas na forma de metano podem variar de 5 a 12% e as perdas na forma de urina de 3 a 5% da ED. No presente estudo, as perdas de metano e urina, em relação à ED, foram em média 9,24 e 5,58%, respectivamente.

Em comparação à relação ED/EB, a variação na eficiência da conversão de ED em EM foi menor (tabela 5). De acordo com o ARC (1980) e o CSIRO (2007), apesar de haver redução da digestibilidade com o aumento do consumo, ocorre uma compensação energética devido à redução na perda de energia na forma de urina e metano. Isso se deve pelo aumento da taxa de passagem em decorrência do aumento do consumo e, conseqüentemente, redução do tempo de retenção da digesta no rúmen e da ação microbiana (Grovm e Williams, 1973).

No presente estudo, a relação EM/ED foi de 0,85, variando de 0,78 a 0,90 (figura 6 e tabela 5). Comitês internacionais de nutrição de ruminantes propuseram os seguintes valores para a relação EM/ED: 0,82 (ARC, 1980); 0,81 a 0,86 (AFRC, 1993); 0,82 (NRC, 2000); 0,81 (CSIRO, 2007). O BCNRM (2016) sugeriu a utilização do fator 0,82, mas reconhece a

necessidade de se realizar mais estudos para se determinar a relação de EM/ED, ao invés de se utilizar um fator fixo universal.

Galyean et al. (2016) recomendaram a utilização de regressão linear simples entre a EM e a ED para se determinar a eficiência dessa conversão, ao invés da utilização do valor constante de 0,82. Os autores encontraram a seguinte equação:

$$EM = -0,2999 + 0,9611 \times ED \quad (R^2 = 0,986)$$

Em que EM é a energia metabolizável e ED a energia digestível, ambas expressas em megacalorias por quilograma de matéria seca.

O NRC (2001) também adota uma equação de regressão linear para estimar o teor de EM da dieta:

$$EM = -0,45 + 1,01 \times ED$$

Em que EM é a energia metabolizável e ED a energia digestível, ambas expressas em megacalorias por quilograma de matéria seca.

Borges et al. (2016), utilizando dados de animais zebuínos puros ou cruzados cuja produção de metano foi determinada em câmara respirométrica, reportaram que todos os valores encontrados, no banco de dados utilizados, para a relação EM/ED foram superiores a 0,82. A equação de regressão linear adotada pelo sistema foi:

$$EM = -0,3032 + 0,9455 \times ED \quad (R^2 = 0,7911)$$

Em que CEM é consumo de energia metabolizável e CED é consumo de energia digestível, ambos expressos em megacalorias por dia.

Na figura 8 estão representadas as equações de regressão para determinar a concentração de EM a partir da ED da dieta propostas pelo NRC (2001), por Borges et al. (2016), por Galyean et al. (2016) e a equação obtida no presente estudo (figura 6).

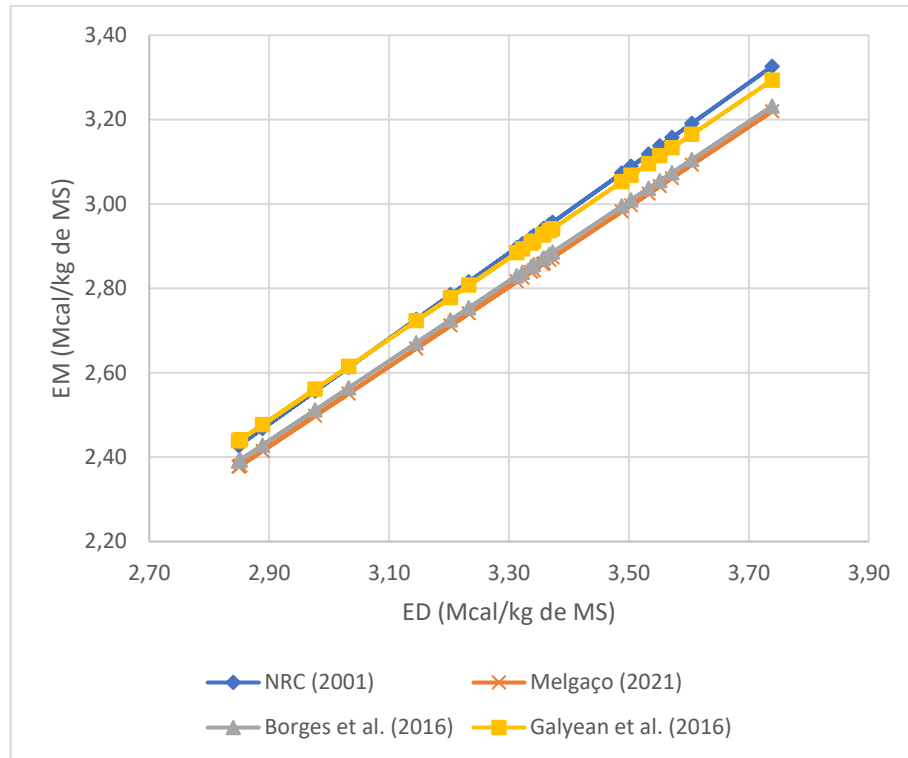


Figura 8 – Equações de regressão propostas pelo NRC (2001), Borges et al. (2016), Galyean et al. (2016), e a equação obtida no presente estudo para se determinar a concentração de energia metabolizável (Mcal/kg de MS) a partir a concentração de energia digestível (Mcal/kg de MS) da dieta em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto (n = 22).

As equações do NRC (2001) e Galyean et al. (2016) apresentaram eficiência na conversão de ED em EM de 0,87, enquanto a equação proposta por Borges et al. (2016) e a obtida nesse estudo, apresentaram eficiência de 0,85. Vale ressaltar que, em muitas situações, os alimentos concentrados e volumosos utilizados no Brasil possuem uma menor concentração de energia e digestibilidade que os alimentos utilizados nos bancos de dados de comitês internacionais. Isso pode ser atestado ao se compararem dados de tabelas de composição de alimentos para bovinos de corte do Brasil e dos EUA, em publicações como o BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2016) e o BCNRM (2016), respectivamente.

A eficiência de conversão de ED em EM pode aumentar em função da maior concentração de lipídeos e amido na dieta. Em relação aos lipídeos, isso pode se dar pelo fato de não serem fermentados no rúmen. Além disso, o aumento da inclusão de lipídeos na dieta pode reduzir a produção de metano no rúmen (Jentsch et al., 2007). Isso pode se dar devido à ação tóxica de ácidos graxos insaturados sobre os micro-organismos fibrolíticos, que aumentam a fase *lag* da colonização microbiana da digesta, danifica e rompe as membranas celulares

microbianas (Jenkins, 1992; Maia et al., 2010). No entanto, no presente estudo as concentrações dietéticas de lipídeos e amido, expresso como CNF, foram pouco variáveis (tabela 1).

O aumento do teor de PB da dieta pode levar à redução da eficiência da conversão de ED em EM (Galyean et al., 2016). Isso pode se dar pelo aumento das perdas de energia na forma de urina, especialmente quando não há uma sincronia na disponibilidade de nitrogênio e energia no rúmen, necessária para maximizar a síntese de proteína microbiana (Clark et al., 1992).

Outro fator importante é o uso de ionóforos, prática comum em dietas de crescimento e terminação de bovinos de corte (BCNRM, 2016). Sabe-se que a administração de ionóforos aos animais pode levar ao aumento da relação EM/ED. A ação de ionóforos sobre os microorganismos ruminais Gram-positivos pode reduzir a produção de metano, aumentar a produção de propionato, bem como reduzir a concentração de nitrogênio no líquido ruminal e aumentar a síntese de proteína microbiana (Schelling 1984; Russel e Strobel, 1989). De acordo com o BCNRM (2016), a concentração de EM da dieta aumenta em 2,3% e 1,5% ao se utilizar monensina e lasalocida, respectivamente. Os animais utilizados no presente estudo não receberam ionóforos ou quaisquer tipos de substância além das mencionadas na descrição das dietas experimentais. A utilização desse aditivo nem sempre é descrita em trabalhos que utilizam banco de dados compilados da literatura. Dessa forma, ao se comparar dados de diferentes trabalhos da literatura deve-se ter cautela, pois a administração desse aditivo pode ser mais um fator de variação na relação EM/ED.

Hales et al. (2013), avaliando o efeito do aumento da inclusão de feno de alfafa em dieta de bovinos de corte em terminação em consumo *ad libitum*, encontraram relação EM/ED variando de 0,89 a 0,92. Os autores reportaram que a diferença nas relações EM/ED encontradas, comparadas com dados mais antigos na literatura, pode se dar pelas metodologias diferentes utilizadas para coleta de dados (respirometria vs. abate comparativo), melhoramento genético dos animais e maior teor de EE nas dietas experimentais utilizadas, em comparação com o teor de EE das dietas reportadas pelo NRC (2000).

Essas considerações evidenciam que a relação EM/ED é influenciada por diversos fatores. Utilizar um valor fixo universal de EM/ED, geralmente, pode levar a subestimativas do valor energético dos alimentos, especialmente em alimentos concentrados.

Nos animais em consumo em nível de manutenção, observou-se valor de EM/ED médio de 0,80, enquanto nos animais em consumo controlado ou *ad libitum* esse valor foi de 0,86. Animais em consumo em nível de manutenção apresentam maior tempo de retenção da digesta no TGI, especialmente no rúmen (Molina, 2017). A ação microbiana mais prolongada sobre a digesta no rúmen pode levar a maiores perdas de energia na forma de metano. Como as dietas experimentais utilizadas no presente estudo foram muito homogêneas (tabela 1), acredita-se que o efeito do nível do consumo teve maior importância sobre a eficiência da conversão de ED em EM (Galyean et al., 2016).

2.3.3.1. – Produção de metano e perdas energéticas na forma de metano e urina

A produção média de metano pelos animais, em L/d, foi de 181,97 (variando de 75,36 a 252,33 L/d) (tabela 5). Na figura 9 está representada a relação entre a produção de CH₄ (L/d) em função do CMS (kg/d).

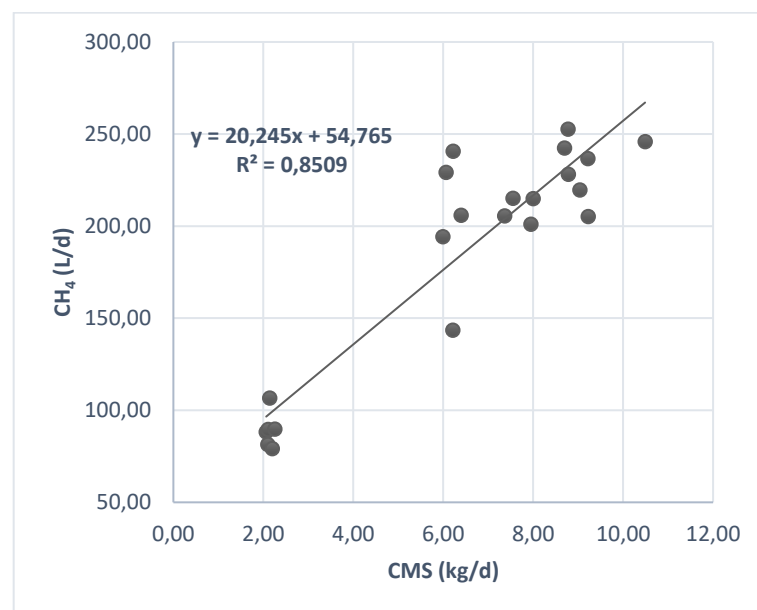


Figura 9 – Relação entre a produção diária de metano (CH₄) em função do consumo de matéria seca (CMS) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,8509$, $P < 0,0001$) ($n = 22$).

O aumento em uma unidade do CMS levou ao aumento na produção de metano em 20,245 L ($R^2 = 0,8509$). Borges et al. (2016) encontraram um aumento de 19,3276 L de metano para cada aumento em uma unidade no CMS, e Carvalho (2020) encontrou 20,737 L ($R^2 = 0,6844$). O aumento da produção de metano se dá pela maior disponibilidade de matéria orgânica fermentável no rúmen, especialmente em dietas mais ricas em volumosos. Borges et al. (2016) recomendaram a predição da produção de metano por bovinos em crescimento por meio da regressão linear entre a produção de CH_4 (L/d) e o CMS (kg/d). Os autores justificaram essa recomendação devido à facilidade em se determinar o CMS e à maior disponibilidade de dados dessa variável na literatura.

Na tabela 6 encontram-se equações de regressão linear entre a EB CH_4 e o CMS, o CEB e o CED. Na figura 10 está apresentada a relação entre a produção de metano por kg de MS consumida em função do consumo de MS.

Tabela 6 - Relação entre a energia bruta perdida na forma de metano e os consumos de matéria seca, de energia bruta, digestível e metabolizável (n = 22)

Relação	Equação de regressão linear	R^2	P
EB CH_4 (Mcal/d) x CMS (kg/d)	EB $CH_4 = 0,5194 + 0,1912 \times CMS$ (1)	0,8512	< 0,0001
EB CH_4 (Mcal/kg $MS_{consumida}$) x CMS (kg/d)	EB $CH_4 = 0,4426 - 0,0225 \times CMS$ (2)	0,7671	< 0,0001
EB CH_4 (Mcal/d) x CEB (Mcal/d)	EB $CH_4 = 0,5333 + 0,0430 \times CEB$ (3)	0,8501	< 0,0001
EB CH_4 (Mcal/d) x CED (Mcal/d)	EB $CH_4 = 0,5685 + 0,0566 \times CED$ (4)	0,8133	< 0,0001

CH_4 , produção de metano; EB CH_4 , energia bruta perdida na forma de metano; MS, matéria seca, CMS, consumo de matéria seca; CEB, consumo de energia bruta; CED, consumo de energia digestível; CEM, consumo de energia metabolizável.

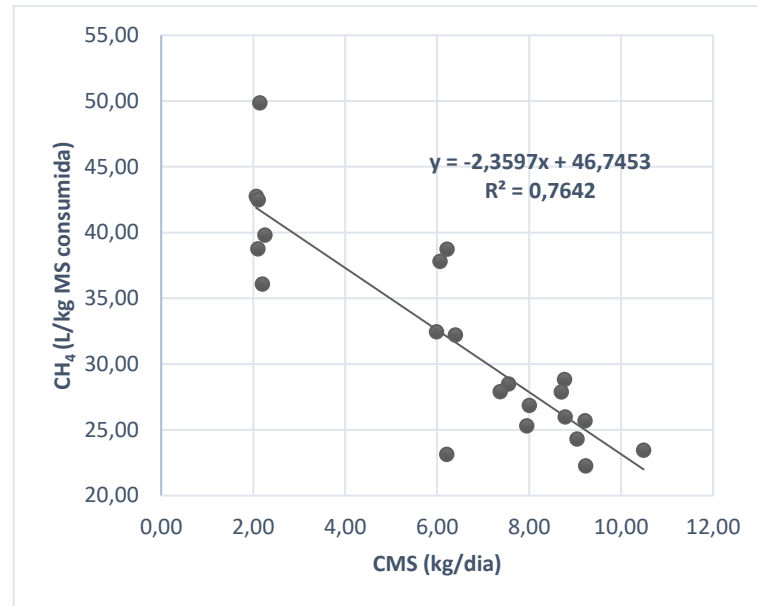


Figura 10 – Relação entre a produção diária de metano (CH₄) por quilograma de matéria seca consumida (MS) em função do consumo de matéria seca (CMS) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,7642$, $P < 0,0001$) ($n = 22$).

A energia perdida na forma de metano também aumentou com o CMS (tabela 7, equação 1). No entanto, ao se relativizar a produção de metano por quilograma de MS ingerida, observa-se que o aumento do consumo levou à redução na produção de metano (figura 10). O mesmo se observa na relação entre a perda de energia na forma de metano, em megacalorias por quilograma de MS ingerida, e o CMS, em quilograma por dia (tabela 7, equação 2).

Blaxter e Clapperton (1965), em seu estudo de predição de produção de metano em bovinos e ovinos, observaram que o aumento da quantidade de alimento fornecido levou ao aumento da produção absoluta de metano pelos animais. A relação entre a produção de metano por unidade de alimento consumido e o nível de alimentação, no entanto, foi negativa, de forma semelhante ao encontrado no presente estudo (figura 10). Ainda de acordo com os autores, o aumento na produção absoluta de metano, com o aumento do nível de consumo, ocorreu em taxas decrescentes.

A produção de metano (L/d) tende a aumentar em função do aumento do consumo e da fermentação ruminal do alimento. Entretanto, o aumento da quantidade de alimento fornecida pode levar à redução da produção de metano por quilograma de MS consumida, em função da maior taxa de passagem e menor permanência da digesta no rúmen (Jentsch et al., 2007). Em dietas de baixa digestibilidade aparente, no entanto, o aumento no consumo pode ter pouco

efeito na produção de metano, quando expressa por unidade de alimento consumido (Blaxter e Clapperton, 1965), o que não foi o caso das dietas utilizadas no presente estudo.

Na figura 11 está apresentada a relação entre a produção de metano e perda de energia na forma de metano em função do consumo de FDNcp.

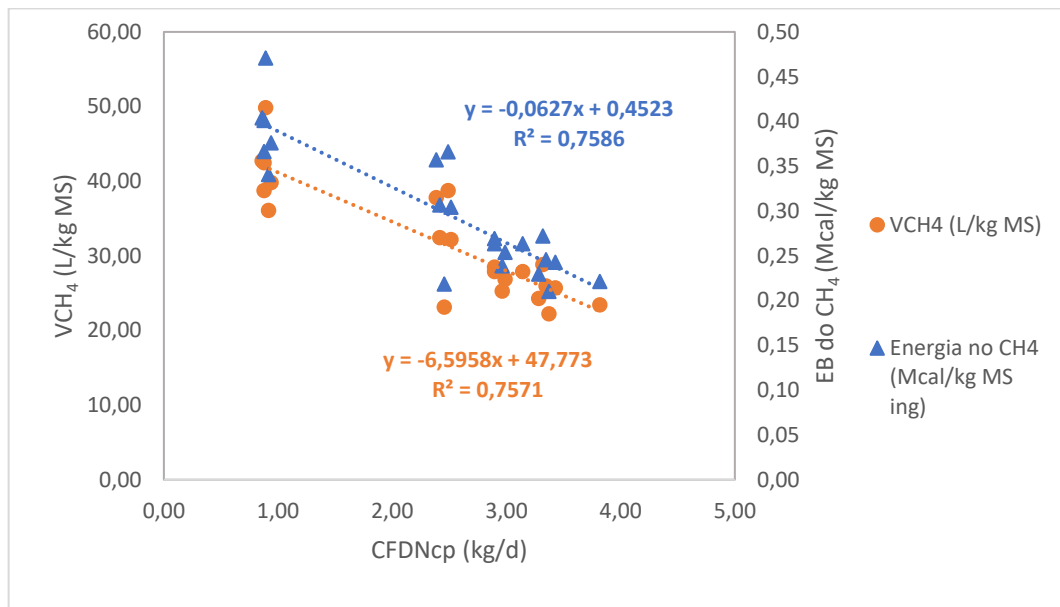


Figura 11 – Relação entre a produção de metano (L/kg de MS ingerida) ($R^2 = 0,7571$, $P < 0,0001$) e da perda de energia na forma de metano (Mcal/kg de MS ingerida) ($R^2 = 0,7586$, $P < 0,0001$) em função do consumo de FDNcp (kg/d).

Hales et al. (2013) observaram aumento linear na perda de energia na forma de metano com o aumento do teor de FDN na dieta pelo aumento de inclusão de feno de alfafa. Os autores observaram que a energia perdida na forma de metano variou de 1,07 a 1,36, sendo o valor médio 1,21 Mcal/d. No presente estudo, também se observou aumento da energia perdida na forma de metano com o aumento do teor de FDN da dieta, que variou de 0,75 a 2,39, e o valor médio foi 1,73 Mcal/d. A equação de regressão encontrada para a relação entre energia perdida na forma de metano em função do consumo de FDNcp foi:

$$EB\ CH_4 = -0,9061 + 0,0309 \times FDNcp \quad (R^2 = 0,7295, P < 0,0001)$$

Em que $EB\ CH_4$ é a energia perdida na forma de metano em megacalorias por quilograma de matéria seca ingerida e $FDNcp$ é o teor de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína, expressa em porcentagem da matéria seca.

No presente estudo também se observou aumento da produção de metano em função do consumo de FDNcp:

$$CH_4 = 43,585 + 57,567 \times CFDNcp \quad (R^2 = 0,8725, P < 0,0001)$$

Em que CH_4 é a produção de metano diária em litros e $CFDNcp$ é o consumo de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína em quilograma por dia.

No entanto, houve redução da produção de metano por quilograma de MS consumida e da perda de energia na forma de metano com o aumento do consumo de FDNcp (figura 11).

De forma semelhante com o que ocorreu com o metano (tabela 7, equação 1), em termos absolutos (L/d), a perda diária de energia na forma de urina aumentou com o aumento do CMS:

$$EB \text{ urina} = 0,1985 + 0,1436 \times CMS \quad (R^2 = 0,7283, P < 0,0001)$$

Em que $EB \text{ urina}$ é a energia bruta da urina em mega calorias por dia e CMS é o consumo de matéria seca em quilograma por dia.

Ao se relativizar a perda de energia bruta na forma de urina por quilograma de matéria seca consumida, à semelhança do metano, observou-se redução na perda de energia na forma de urina com o aumento do CMS, como está apresentado na figura 12.

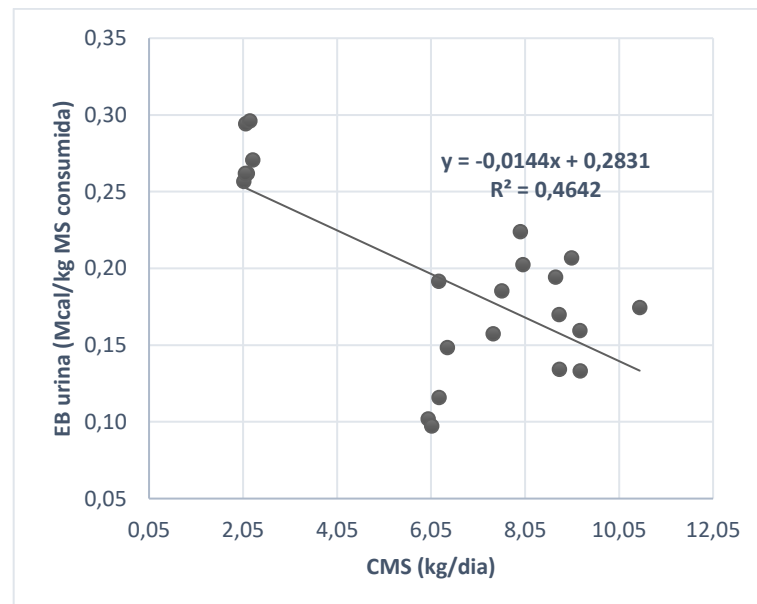


Figura 12 – Relação entre a perda de energia bruta (EB) na urina por quilograma de matéria seca consumida (MS) em função do consumo de matéria seca (CMS) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto ($R^2 = 0,4642, P < 0,001$) ($n = 22$).

Esses resultados representam formas diferentes de se constatar o mesmo fenômeno: o efeito do aumento do consumo, e conseqüentemente da taxa de passagem, sobre a redução das perdas de energia na forma de metano e urina. Esse fato pode implicar em maior eficiência de utilização da energia consumida para os processos metabólicos pelo animal. Observa-se que a forma de se expressar a produção de metano em um animal pode conduzir a erro de interpretação. O aumento da produção de metano em L/d com o aumento do consumo pode levar a uma interpretação diferente quando se considera a produção de metano por kg de MS consumida. Dessa forma, é necessário estudar os valores sob diferentes abordagens.

2.3.3.2. – Metabolizabilidade

A metabolizabilidade média das dietas foi 0,63 (variando de 0,55 a 0,75), o que significa que as perdas de energia por meio das fezes, do metano e da urina somaram, em média, 37% da EB consumida. A metabolizabilidade consiste na eficiência da conversão da energia bruta em energia metabolizável, sendo representada pela relação EM/EB (ARC, 1980). É a fração da EB da dieta que está disponível para utilização pelo organismo para as diversas funções, como manutenção, crescimento e lactação.

Blaxter e Boyne (1978), avaliando dados de 80 experimentos com bovinos e ovinos, observaram que o valor de q médio foi 0,58. Observaram-se diferenças em função das classes de alimentos, principalmente devido às concentrações de fibra e proteína bruta das dietas. O valor de q não é normalmente relatado em pesquisas realizadas com animais zebuínos e seus cruzados e, quando relatado, é pouco discutido. Posada-Ochoa et al. (2017), estudando as exigências de manutenção e ganho de machos Nelore inteiros consumindo dieta à base de feno de tifton 85 (*Cynodon* spp.) e farelo de soja, encontraram valor médio de q de 0,60. Carvalho (2020), em estudo avaliando 181 observações provenientes de 13 experimentos de exigências nutricionais utilizando-se a respirometria e o abate comparativo, encontrou valor médio de q de 0,57. Lage et al. (2021), estudando o metabolismo de fêmeas prenhes F1 (Holandês x Gir) e Gir, consumindo dieta a base de silagem de milho e farelo de soja, encontraram valor médio de q de 0,60.

De acordo com Williams e Jenkins (2003), a metabolizabilidade é menos afetada com o aumento de consumo do que a digestibilidade aparente. O aumento proporcional da perda de

energia nas fezes pode ser contrabalanceado pela redução das perdas de energia na forma de metano e urina, quando há redução da digestibilidade da dieta (ARC, 1980). Na figura 13 estão representadas as relações entre a energia perdida nas fezes, urina e metano em função do CMS em porcentagem do PV.

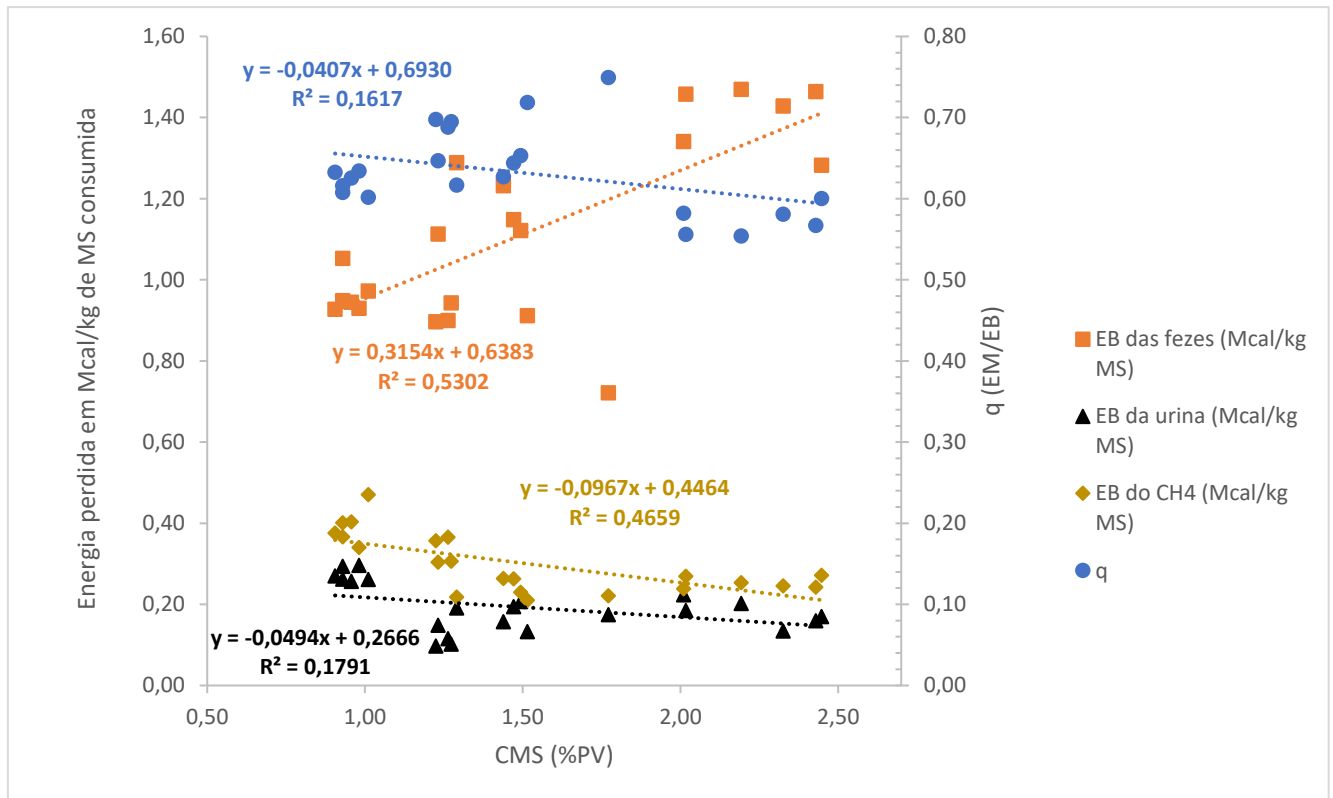


Figura 13 – Relação entre a energia bruta perdida nas fezes, na urina e no metano por quilograma de matéria seca consumida e a metabolizabilidade (q) em função do consumo de matéria seca (%PV) em fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto (n = 22).

A metabolizabilidade apresentou uma tendência de declínio com o aumento do CMS (%PV) ($R^2 = 0,1617$, $P = 0,066$). A perda de energia nas fezes aumentou com o aumento do consumo ($R^2 = 0,5302$, $P < 0,001$). A perda de energia na forma de metano reduziu com o aumento do consumo ($R^2 = 0,4659$, $P = 0,0005$). A perda de energia na urina apresentou um declínio ($R^2 = 0,1791$, $P = 0,0497$) com o aumento do consumo.

A figura 14 demonstra o efeito da redução da perda de energia na urina e na forma de metano com o aumento do consumo, possivelmente em função da maior taxa de passagem (Molina, 2017). No entanto, a redução dessas perdas não foram suficientes para impedir a redução da metabolizabilidade em função do aumento do consumo. De acordo com Geay (1984), em sua revisão de literatura sobre o uso de energia em bovinos em crescimento, a

redução da metabolizabilidade pode se dar pelo aumento da taxa de passagem da digesta e redução da digestão dos carboidratos da dieta.

2.3.4. – Respirometria

Os resultados da produção de calor na câmara respirométrica obtidos no experimento 2 apresentaram-se muito elevados e, por esse motivo, não foi possível determinar a exigência de energia líquida para as fêmeas Guzerá nesse experimento. Foram utilizados os dados apenas do experimento 1, dos animais em fase de crescimento.

As estimativas de peso vivo em jejum e peso vivo vazio, os resultados de consumo de oxigênio, de produção de gás carbônico e metano, e o quociente respiratório (QR), em jejum e em estado alimentado, de fêmeas Guzerá em fase de crescimento estão na tabela 7.

Tabela 7 - Consumo de oxigênio, produção de gás carbônico, quociente respiratório médios, produção de calor e incremento calórico, em estado alimentado e em jejum, de novilhas Guzerá em crescimento¹

Variáveis	N	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	Erro Padrão	CV%
PVj (kg)	12	292,00	78,19	204,40	386,19	22,57	26,78
PVZ (kg)	12	266,86	68,66	189,88	349,49	19,82	25,73
O _{2j} (L/d)	12	1701,91	498,99	1152,72	2375,39	144,05	29,32
CO _{2j} (L/d)	12	961,11	195,44	707,05	1208,07	56,42	20,33
QRj	12	0,58	0,07	0,46	0,65	0,02	12,47
O _{2a} (L/d)	12	2690,56	994,31	1602,87	3819,02	287,03	36,96
CO _{2a} (L/d)	12	2212,87	851,24	1302,95	3228,58	245,73	38,47
QRa	12	0,82	0,02	0,77	0,87	0,01	2,87
PCa (Mcal/d) ²	12	12,90	4,80	7,69	18,24	1,39	37,22
PCj (Mcal/d) ²	12	7,72	2,14	5,30	10,61	0,62	27,69
IC (Mcal/d) ²	12	5,18	2,82	2,05	9,41	0,81	54,41

PVj, peso vivo em jejum estimado; O_{2j}, volume de oxigênio consumido em jejum; CO_{2j}, volume de gás carbônico produzido em jejum; QRj, quociente respiratório em jejum; O_{2a}, volume de oxigênio consumido em estado alimentado; CO_{2a}, volume de gás carbônico produzido em estado alimentado; ¹ - Souza (2016); ² - dados obtidos em câmara respirométrica.

O QR é a relação entre os volumes de CO₂ produzido e O₂ consumido, determinados em câmara respirométrica (Kleiber, 1972). O QR representa a oxidação mista dos carboidratos, das proteínas e dos lipídeos no organismo animal (Van den Borne et al., 2015). Ao serem oxidados de forma purificada, os carboidratos, os lipídeos e as proteínas têm os valores de QR igual a 1; 0,71 e 0,81, respectivamente (Brouwer, 1965). No caso das proteínas, a oxidação é

incompleta devido à formação de compostos nitrogenados que são excretados na urina, principalmente na forma de ureia, no caso dos mamíferos. Animais que estão utilizando gordura corporal como fonte de energia apresentam QR próximo de 0,70, quando estão utilizando proteína corporal como fonte de energia apresentam QR próximo de 0,80 e quando estão utilizando carboidratos como fonte de energia apresentam QR próximo de 1 (Kleiber, 1972). Valores de QR acima de 1 indicam síntese de lipídeos a partir de carboidratos, e valores de QR inferiores a 0,70 podem ser causados pela ocorrência de jejum (Van den Borne et al., 2015). Os processos de síntese e oxidação dos substratos no organismo ocorrem simultaneamente, e o valor de QR representa a mescla desses processos, não sendo possível determinar quais vias do metabolismo intermediário são utilizadas. Entretanto, o QR pode dar um panorama geral do metabolismo no organismo, indicando quais tipos de reservas corporais estão sendo catabolizadas para prover energia ao animal.

Os animais em consumo restrito, quando foram submetidos à câmara respirométrica em jejum, apresentaram um QR médio de 0,58, variando de 0,46 a 0,65. Tais valores são inferiores ao da oxidação de lipídeos (QR = 0,71) em estado de jejum (Kleiber, 1972). Isso é resultante da condição de catabolismo das reservas energéticas corporais. De acordo com Walsberg e Wolf (1995), a ocorrência de valores de QR inferiores a 0,71 pode indicar que, além do catabolismo de lipídeos, estão ocorrendo outros processos metabólicos em que pode haver perdas extrapulmonares de CO₂, ou retenção de CO₂ no organismo em detrimento do consumo de O₂.

A formação de corpos cetônicos a partir da gordura corporal consome O₂, mas não produz CO₂ (QR = 0), o que pode levar a um valor de QR abaixo de 0,71. Apesar de a oxidação de corpos cetônicos formados ter um QR igual a 1, sua síntese e oxidação não ocorrem de forma constantes e/ou concomitantes. Além disso, parte dos corpos cetônicos pode ser excretada na urina. Ademais, a formação de corpos cetônicos pode causar uma alcalose metabólica, o que aumenta a excreção de bicarbonato na urina, aumenta as perdas não pulmonares de CO₂, o que resulta em um valor de QR inferior a 0,71 (Schutz e Ravussin, 1980; Walsberg e Wolf, 1995; Van den Borne et al., 2015). A gliconeogênese a partir de aminoácidos, em menor escala, também pode levar a um baixo valor do QR, pois ocorre acúmulo de glicose no organismo (Schutz e Ravussin, 1980). A possível ocorrência desses processos pode ser responsável pelos baixos valores de QR observado nos animais em jejum, no presente estudo.

Em estado alimentando o QR médio foi 0,82, variando de 0,77 a 0,87. Esse valor indica que houve uma mescla entre a oxidação de carboidratos e de lipídeos. Em condições normais

de alimentação isso é esperado. Quanto mais próximo de 1 é o valor de QR, maior a participação de carboidratos na mescla de substratos oxidados (Kleiber, 1972).

2.3.5. – Exigências nutricionais de energia líquida para manutenção

Na tabela 8 estão apresentados os valores calóricos referentes à mobilização de reservas corporais e à produção de calor em jejum corrigida para calor de mobilização nos animais na fase de restrição. Os cálculos levaram em conta o conteúdo energético do ganho de peso vivo de 2,27 Mcal/kg PVZ, encontrado por Borges (2000) em fêmeas da raça Guzerá em crescimento, com peso vivo médio de 200 kg.

Tabela 8 – Estimativa da produção de calor referente à mobilização de reservas corporais, fracionamento da energia mobilizada, produção de calor em jejum corrigido para produção de calor da mobilização de reservas corporais, perda de peso vazio estimada e perda de peso vivo real em novilhas Guzerá em crescimento, com perda de peso

	Média	N	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	Erro Padrão	CV%
PV (kg)	225,38	6	13,03	211,50	249,00	5,32	5,78
PCmob (kcal/kg PVZ ^{0,75})	51,85	6	13,56	38,20	69,44	5,54	26,30
Emobtot (kcal/kg PVZ ^{0,75})	259,25	6	67,81	190,98	347,18	27,69	26,16
Emobut (kcal/kg PVZ ^{0,75})	207,4	6	54,25	152,78	277,74	22,15	26,16
PCjc (kcal/kg PVZ ^{0,75})	54,43	6	6,94	47,05	63,86	2,83	12,75

PCmob, produção de calor resultante da mobilização de reservas corporais; PCa câmara, produção de calor em estado alimentado determinada em câmara respirométrica; Emobtot, energia total mobilizada; Emobut, fração da energia total mobilizada utilizada para manutenção; PCjc, produção de calor em jejum corrigida para produção de calor da mobilização de reservas corporais; ¹ - Carvalho (2020).

Os animais no presente estudo, à semelhança do observado por Borges (2000), apresentaram, em média, escore de condição corporal (ECC) igual a 2 (em escala de 1 a 5). Devido ao fato de o conteúdo energético do ganho e da perda de peso serem similares (BCNRM, 2016), os animais pertencerem à mesma raça, e estarem em faixa de peso e fase de crescimento semelhantes, adotou-se o valor do conteúdo energético em um quilo de PVZ ganho, reportado por Borges (2000), para perda de um quilo de PVZ.

A perda de PVZ estimada (PPVZE) nos animais submetidos à restrição alimentar (n = 6) foi, em média, 0,11 kg/d, variando de 0,08 a 0,15 kg/d. A perda de peso vivo, somente, não indica perda de energia corporal pela mobilização de reservas corporais. De acordo com Moe et al. (1971), além do efeito do peso do conteúdo do TGI, pode haver substituição de parte da gordura mobilizada por água nos animais em perda de peso. De acordo com os autores, a melhor forma de se estimar a perda de reservas corporais é por meio de observação visual, com base nas alterações no ECC dos animais. De acordo com o NRC (2000) e NRC (2001), o conteúdo energético no PVZ aumenta com o aumento da ECC. Isso se dá pelo aumento da proporção da relação gordura:proteína na composição do PVZ (Borges, 2000; NRC, 2000; NRC, 2001).

Na tabela 9 estão os valores de PCj no período de alimentação restrita e *ad libitum*, e do antilogaritmo do intercepto da regressão linear entre o logaritmo da produção de calor em estado alimentado em função do consumo de energia metabolizável, em adaptação da técnica de abate comparativo de Lofgreen e Garret (1968), que corresponde à ELM.

Tabela 9 - Produção de calor em jejum em plano alimentar restrito, *ad libitum* e exigência de energia líquida para manutenção obtida por regressão linear, em peso vivo vazio metabólico, de novilhas Guzerá em crescimento

Método	kcal/kg PVZ ^{0,75}
PCj restrito ¹	54,43
PCj <i>ad libitum</i> ¹	111,5
Regressão linear ² (ELM)	68,44

ELM, energia líquida de manutença; PCj, produção de calor em jejum; ¹ Silva et al. (2018); ² Log PCa = 1,8353 + 0,0017 x CEM (R² = 0,9222, P < 0,0001); Log PCa, logaritmo da produção de calor em estado alimentado; CEM, consumo de energia metabolizável em kcal/kg de peso vivo vazio metabólico.

No presente estudo, os valores de PCj obtidos a partir da respirometria foram 54,43 e 111,50 kcal/kg PVZ^{0,75}, em plano alimentar restrito e *ad libitum*, respectivamente. O valor de ELM obtido por regressão linear entre o logaritmo da PCa e o CEM foi 68,44 kcal/kg PVZ^{0,75}. Os dois primeiros valores foram obtidos com os animais em estado de jejum, enquanto o terceiro foi obtido com os animais em estado alimentado.

Quando submetidos à respirometria no período de alimentação restrito, os animais tiveram um consumo ligeiramente abaixo da manutença. Verificou-se que a produção de calor dos animais em plano alimentar restrito em jejum foi elevada, 108,89 kcal/kg PVZ^{0,75}. Conhecendo-se a ELM de fêmeas zebuínas em crescimento em nível de manutença (Carvalho,

2020) e a PCj em perda de peso dos animais no presente estudo, estimou-se quanto do calor de jejum era proveniente da mobilização de tecidos corporais, que foi 51,85 kcal/kg PVZ^{0,75}. Considerando que a eficiência da utilização da energia mobilizada das reservas corporais é de 80% (CSIRO, 2007), estimou-se a energia total mobilizada líquida (259,25 kcal/kg PVZ^{0,75}) e a energia mobilizada utilizada para a manutenção dos processos do metabolismo animal (225,38 kcal/kg PVZ^{0,75}) (tabela 9).

Os animais em plano alimentar restrito no presente estudo reduziram a ELM em 20,5% como forma de ajuste ao metabolismo durante a fase de restrição nutricional, conforme pode ser visto na tabela 10 (54,43 vs. 68,44 kcal/kg PVZ^{0,75}). Essa redução nas exigências de ELM está de acordo com o valor reportado pelo BCNRM (2016), que é cerca de 20%.

De acordo com o ARC (1980), a exigência de energia para manutenção aumenta com o aumento do nível de produção. Isso se dá pois há um aumento nas funções metabólicas vitais (Williams e Jenkins, 2003). No presente estudo, no plano alimentar *ad libitum*, a maior PCj (111,50 kcal/kg PVZ^{0,75}) pode ter ocorrido devido ao aumento dos custos energéticos da circulação sanguínea, manutenção dos gradientes de concentração, tônus muscular e turnover nos tecidos (Turner e Taylor, 1983), além de aumento de órgãos como fígado, rins e coração, bem como do TGI.

O valor de exigência de ELM adotado foi 68,44 kcal/kg PVZ^{0,75} para fêmeas da raça Guzerá em crescimento (tabela 10), obtido pela seguinte equação de regressão:

$$\text{Log PCa} = 1,8353 + 0,0017 \times \text{CEM} \quad (R^2 = 0,9222, P < 0,0001)$$

Em que Log PCa é o logaritmo da produção de calor em estado alimentado, e CEM é o consumo de energia metabolizável, ambos expressos em quilocalorias por quilograma de peso vivo vazio metabólico.

A exigência de energia metabolizável de manutenção (EMm), obtida por iteração da equação de regressão linear entre o logaritmo da PCa e o CEM, em que a energia retida se igualou a zero, foi 102,0 kcal/kg PVZ^{0,75}. A eficiência da conversão da EMm para ELM, o km, foi 0,67.

Lofgreen e Garret (1968) reportaram que a exigência de ELM para bovinos de corte em crescimento e terminação foi 77 kcal/kg PVZ^{0,75}. Esse valor foi adotado por comitês como ARC (1980) e NRC (2000). O BCNRM (2016), no entanto, alterou a forma de se expressar essa exigência. O comitê passou a expressar a exigência de ELM em peso vivo em jejum metabólico,

ao invés de peso vivo vazio metabólico, adotando o mesmo valor (77 kcal/kg PVj^{0,75}). Deve-se atentar à forma com a qual esse comitê expressou as exigências de ELM, quando forem feitas comparações com valores expressos em PVZ^{0,75}. Ao ser expresso em PVZ^{0,75}, a ELM resulta em um valor superior a 77 kcal expressa em kg PVj^{0,75}.

Na tabela 10 estão apresentadas as exigências de NDT (kg/d), EM e EL (kcal/kg PVZ^{0,75}) em nível de manutenção para fêmeas da raça Guzerá em crescimento.

Tabela 10 - Exigências nutricionais de nutrientes digestíveis totais, energia metabolizável e energia líquida de manutenção por dia para fêmeas da raça Guzerá em crescimento

PV (kg)	200,00	250,00	300,00	350,00	400,00
PVZ (kg)	179,89	223,32	266,75	310,18	353,61
PVZ ^{0,75} (kg)	49,12	57,77	66,01	73,91	81,54
NDT (kg/d) ¹	1,58	1,86	2,12	2,37	2,62
EMm (Mcal/d) ²	5,01	5,89	6,73	7,54	8,32
ELm (Mcal/d) ³	3,36	3,95	4,52	5,06	5,58

PV, peso vivo; PVZ, peso vivo vazio (Borges, 2000); PVZ^{0,75}, peso vivo vazio metabólico; CMS, consumo de matéria seca; NDT, nutrientes digestíveis totais; EMm, energia metabolizável para manutenção; ELm, energia líquida de manutenção; ¹CNDT (g/kg PVZ^{0,75}) = 32,1278 + 0,7033 x ER (kcal/ kg PVZ^{0,75}) (R² = 0,9275, P < 0,0001); ER, energia retida; ²EMm = 102,0 kcal/ kg PVZ^{0,75}; ³ELm = 68,44 kcal/ kg PVZ^{0,75}.

As exigências de energia para manutenção podem variar em função do peso, da raça, da classe sexual, da idade, do estado fisiológico, da atividade física, do clima e da temperatura e do plano nutricional prévio (BCNRM, 2016). O mesmo comitê ainda reportou que animais zebuínos têm exigência de manutenção cerca de 10% menor que animais taurinos. A ELM obtida no presente estudo foi 11% menor ao reportado por Lofgreen e Garret (1968), o que está próximo do reportado pelo NRC (2000) para animais zebuínos. Um dos fatores que pode levar a isso é a menor proporção de órgãos e vísceras em relação à carcaça em animais zebuínos quando comparado aos animais taurinos. De acordo com Webster (1981), as vísceras, em especial o fígado e o TGI, são responsáveis por mais de 40% da produção de calor pelo organismo, e isso se dá em função da maior atividade metabólica proteica nesses órgãos. O TGI e o fígado podem consumir de 40 a 50% do suprimento de O₂ e são responsáveis por cerca de 20 a 25% da síntese proteica no organismo (Huntington e Reynolds, 1987). Além disso, animais de raças taurinas apresentam maior deposição de gordura nas vísceras, enquanto animais de raças zebuínas apresentam maior deposição de gordura na região subcutânea. A gordura visceral é metabolicamente mais ativa que a subcutânea, aumentando as exigências de ELM (Thompson et al., 1983).

Paulino et al. (1999), em estudo de exigências nutricionais por meio de abate comparativo de machos inteiros das raças Gir, Guzerá, Tabapuã e Nelore, não observaram diferença na exigência líquida de manutenção entre as raças, sendo o valor médio encontrado de 67,91 kcal/kg PVZ^{0,75}, valor muito semelhante ao encontrado no presente estudo para fêmeas da raça Guzerá. Borges (2000) encontrou valores de ELM de 61,02 e 76,42 kcal/kg PVZ^{0,75} para novilhas das raças Guzerá e Holandês, em estudo realizado por meio de abate comparativo. A valor de exigência de ELM obtida no presente estudo foi 10,8% superior e 10,4% inferior em relação aos valores para fêmeas Guzerá e Holandês reportados pela autora. Marcondes et al. (2016) não observaram diferenças nas exigências nutricionais de energia para manutenção dos animais em função da classe sexual, do sistema de produção (a pasto vs. confinamento) ou do grupo genético (zebuínos, cruzados de corte e cruzados de leite) em sistemas de criação no Brasil, adotando o valor de 75 kcal/kg PVZ^{0,75}, valor 8,75% superior ao encontrado no presente estudo. Carvalho (2020), em estudo de exigências nutricionais de energia encontrou ELM para fêmeas zebuínas e fêmeas F1 (Holandês x Gir) de 65,23 e 84,29 kcal/kg PVZ^{0,75}, respectivamente. O valor de ELM das fêmeas F1 foi 18,8% superior ao encontrado para fêmeas da raça Guzerá no presente estudo.

Nota-se que certas generalizações de exigências nutricionais de energia para bovinos de corte, propostas por comitês de nutrição internacionais, não se aplicaram ao que foi encontrado no presente trabalho, ou ao que é reportado pelo BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2016). As recomendações adotadas por sistemas de nutrição internacionais são feitas baseadas em banco de dados de animais principalmente de raças taurinas, criados em condições de clima temperado e alimentados com dietas compostas por alimentos de composição nutricional frequentemente diferente dos alimentos utilizados no Brasil. Isso é evidenciado ao se comparar o sistema norte americano (BCNRM, 2016) com o brasileiro, BR-CORTE (Marcondes et al., 2016), principalmente em função de classe sexual e de grupo genético, como destacado por Chizzotti et al. (2019). Devido ao fato de o sistema de energia líquida ser empírico e estático, os fatores de ajustes propostos podem ser inadequados quando aplicados a situações diferentes daquelas nas quais foram determinados (Ferrel e Oltjen, 2008).

Os estudos de exigências nutricionais de bovinos em condições de criação brasileiras têm sido muito importantes para conhecer as características dos rebanhos nacionais e a alimentar o sistema brasileiro de exigências nutricionais, o BR-CORTE. Utilizando-se um banco de dados nacional, a acurácia das predições de exigências por sistemas empíricos e estáticos pode ser aumentada. O banco de dados que compuseram o BR-CORTE (Valadares

Filho et al., 2016) é constituído principalmente por animais da raça Nelore, principalmente machos. Tal observação reforça a necessidade de se continuar estudando as exigências nutricionais das raças zebuínas para corte no Brasil.

2.4. – CONCLUSÕES

O aumento do nível de consumo leva à redução da digestibilidade da MS e da MO, à maior perda de energia nas de fezes e à menor perda de energia na urina e na forma de gases, quando expressos em quilograma de MS ingerida, em fêmeas da raça Guzerá da desmama ao peso adulto.

Os valores do teor de NDT na dieta e do seu consumo, pelas fêmeas Guzerá da desmama ao peso adulto, determinados por meio de ensaio de digestibilidade aparente (4,99 kg/d e 74,97%) são semelhantes ($P > 0,05$) aos valores estimados por meio da relação proposta pelo ARC (1980) (5,07 kg/d e 74,94%).

Fêmeas da raça Guzerá em crescimento têm exigência de ELM de 68,44 kcal/kg PVZ^{0,75}, exigência de EMm de 102,0 kcal/kg PVZ^{0,75}. A eficiência do uso da EMm para ELM (km) é 0,67.

Animais em perda de peso têm um acréscimo na produção de calor, decorrente da mobilização de reservas energéticas corporais. Esse evento foi confirmado pelos valores de PCj nos animais na fase de crescimento em discreta perda de peso, que tiveram redução em 20,5% de sua exigência de manutenção (54,43 kcal/kg PVZ^{0,75}) em função da restrição alimentar.

Sistemas empíricos e estáticos de exigências nutricionais de energia precisam ser abastecidos com dados de animais obtidos em condições de criação nas quais será aplicado. Dessa forma, parte das limitações desse tipo de modelo será contornada.

2.5. – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCZ. Associação Brasileira dos Criadores de Zebu. Estatística geral 1939 a 2020. ABCZ, 2020. Disponível em: <http://abcz.org.br/Home/Conteudo/22889-Estatisticas>. Acesso em 25/05/2021.

AFRC. Agricultural and food research council. *Energy and requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International, 1993. 159p.

ARC. Agricultural research council. *The nutrient requirements of ruminant livestock*. London: The Gresham Press, 1980. 351p.

BALDWIN, R.L.; SAINZ, R.D. Energy partitioning and modeling in animal nutrition. 1995. *Annual Reviews Nutrition*, v. 15, p. 191-211.

BCNRM. Beef cattle nutrient requirements model. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 8th ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 2016. 475 p.

BLAXTER, K. L.; BOYNE, A. W. The estimation of the nutritive value of feeds as energy sources for ruminants and the derivation of feeding systems. 1978. *J. Agric. Sci.*, v. 90: p. 47–68.

BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. 1965. *British Journal of Nutrition*, v.19, n.1, p. 511-522.

BORGES, A. L. C. C. *Exigências nutricionais de proteína e energia de novilhas das raças Guzera e Holandesa*. 2000. 90p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

BORGES, A.L.C.C.; SILVA, R.R. FERREIRA, A.L.; LAGE, H.F.; VIVENZA, P.A.D.; CARVALHO, P.H.A.; FONSECA, M.P.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M. Respirometry and nutritional requirements of Zebu and dairy crossbred cattle at different levels of feeding and physiological state. In: VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, L. F. C.; GIONBELLI, M. P.; ROTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L., PRADOS, L. F. *BR-CORTE: nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle*. 3rd ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda., 2016. 314 p.

BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. 1965. *Proc 3rd Symp. On Energy Metabolism, EAAP Publ.*, n. 11, p. 441 – 443.

CARVALHO, P. H. A. *Exigências nutricionais de energia líquida para manutenção de animais zebuínos e cruzados leiteiros entre o desmame e a idade adulta e comparação de metodologias para determinação das exigências nutricionais de energia para manutenção utilizando-se a respirometria*. 2020. 113p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CHIZZOTTI, M. L.; VALADARES FILHO, S. C.; TEDESCHI, L. O.; CHIZZOTTI, F. H. M.; CARSTENS, G. E. Energy and protein requirements for growth and maintenance of F1 Nellore Red Angus bulls, steers and heifers. 2007. *J. Anim. Sci.*, v. 85, p. 1971-1981.

CHIZZOTTI, M.; FILHO, S. C. V.; BENEDETI, P. D. B.; SILVA, F. A. S. California net energy system for *Bos taurus indicus*. Transl. 2019. *Anim. Sci.*, v. 3, p. 991-998.

CLARK, J. H.; KLUSMEYER, T. H.; CAMERON, M. R. Microbial Protein Synthesis and Flows of Nitrogen Fractions to the Duodenum of Dairy Cows. 1992. *J. Dairy Sci.*, v. 75, n. 8, 2304-2323.

CSIRO. Commonwealth scientific and industrial research organization. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council, CSIRO publications, 2007. 266p.

FERREIRA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; MARCONDES, M. I.; PAIXÃO, M. L.; PAULINO, M. F.; VALADARES, R. F. D. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: digestibilidade. 2009. *R. Bras. Zootec.*, v. 38, n. 8, p. 1568-1573.

FERREL, C.F.; OLTJEN, J. W. ASAS Centennial Paper: Net energy systems for beef cattle - Concepts, application, and future models. 2008. *J. Anim. Sci.*, v. 86, n. 10, p. 2779 – 2794.

GALYEAN, M. L.; COLE, N. A.; TEDESCHI, L.O.; BRANINE, M. E. Efficiency of converting digestible energy to metabolizable energy and reevaluation of the California Net Energy System maintenance requirements and equations for predicting dietary net energy values for beef cattle. 2016. *J. Anim. Sci.*, v. 94, p. 1329-1341.

GEAY, Y. Energy and protein utilization in growing cattle. 1984. *J. Anim. Sci.*, v.58, n.3, p.766-778.

GIONBELLI, M. P.; FILHO, S. C. V.; DETMANN, E. Adjusting cattle body weight to physiological and feeding conditions. In: VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, L. F. C.; GIONBELLI, M. P.; ROTTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L., PRADOS, L. F. *BR-CORTE: nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle*. 3rd ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda., 2016. 314 p.

GROVUM, W. L.; WILLIAMS, V. J. Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. 1973. *Brit. J. Nutr.*, v. 30, n. 3, p. 313-329.

HALES, K. E.; BROWN-BRANDL, T. M.; FREETLY, H. C. Effects of decreased dietary roughage concentration on energy metabolism and nutrient balance in finishing beef cattle. 2013. *J. Anim. Sci.*, v. 92, p. 264-271.

HUNTINGTON, G.B.; REYNOLDS, C.K. Oxygen consumption and metabolite flux of bovine portal-drained viscera and liver. 1987. *The Journal of Nutrition*, v. 117, p. 1167 – 1173.

INRA. Institut National de la Recherche Agronomique. *Feeding system for ruminants*. Wageningen, NLD: Wageningen Academic Publishers, 2018, 639 p.

JENKINS, T. C. Lipid metabolism in the rumen. 1992. *J. Dairy Sci.*, v. 76, n. 12, p. 3851-3863.

JENTSCH, W.; SCHWEIGEL, M.; FRIEDRICH WEISSBACH, F.; SCHOLZE, H.; PITROFF, W.; DERNÓ, M. Methane production in cattle calculated by the nutrient composition of the diet. 2007. *Archives of Animal Nutrition*, v. 61, n. 1, p. 10-19.

KLEIBER, M. *Bioenergetica Animal: El fuego de la vida*. 1 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, 1972. 428 p.

LAGE, H. F.; BORGES, A. L. C. C.; SILVA, R. R.; BORGES, A. M.; RUAS, J. R. M.; CARVALHO, P. H. A.; FONSECA, M. P.; VIVENZA, P. A. D.; GONÇALVES, L. C.; SOUZA, A. S.; CARVALHO, A. U.; FILHO, E. J. F.; SILVA, E. A.; GLÓRIA, J. R.; FERREIRA, A. L.; MENESES, R. M.; SALIBA, E. O. S. Energy metabolism of pregnant zebu and crossbred zebu dairy cattle. 2021. *PLoS ONE*, v. 16, n. 2, 13 p.

LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. 1968. *J. Anim. Sci.*, v. 27; p. 793-806.

MAIA, M. R. G.; CHAUDHARY, L. C.; BESTWICK, C. S.; RICHARDSON, A. J.; MCKAIN, N.; LARSON, T. R.; GRAHAM, I. A.; WALLACE, R. J. Toxicity of unsaturated fatty acids to

the biohydrogenating ruminal bacterium, *Butyrivibrio fibrisolvens*. 2010. *BCM Microbiology*. v. 10, n. 52, 10 p.

MARCONDES, M.I.; SILVA, A.L.; GIONBELLI, M.P.; FILHO, S.C V. Energy requirements for beef cattle. In: VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, L. F. C; GIONBELLI, M. P.; ROTTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L., PRADOS, L. F. *BR-CORTE: nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle*. 3rd ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda., 2016. 314 p.

MOE, P. W.; TYRREL, H. F.; FLATT, W. P. Energetics of body tissue mobilization. 1971. *J. Dairy Sci.*, v. 54, n. 4, p. 548-553.

MOLINA, P. C. *Avaliação de indicadores de metabolismo e comportamento ingestivo em novilhas Nelore e Guzerá, submetidas a dois planos alimentares*. 2017. 105p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

NRC. National Research Council. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 2001. 381p.

NRC. National Research Council. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2000. 242p.

OWENS, F. N., SAPIENZA, D. A.; HASSEN, A. T. Effect of nutrient composition of feeds on digestibility of organic matter by cattle: A review. 2010. *J. Anim. Sci.*, v. 88, p. 151-169.

PAULINO, M. F.; FONTES, C. A. A.; JORGE, A. M. et al. Composição corporal e exigências de energia e proteína para ganho de peso de bovinos de quatro raças zebuínas. 1999. *R. Bras. Zootec.*, v. 28, n. 3, p. 627-633.

POSADA-OCHOA, S. L.; NOGUERA, R. R.; BORGES, A. L. C. C.; SILVA, R. R. Indirect calorimetry to estimate energy requirements for growing and finishing Nelore bulls. 2017. *J. of Integrative Agriculture*, v. 15, n. 1, 151-161.

ROTTA, P. P.; MENEZES, A. C. B.; SILVA, L. F. C.; FILHO, S. C. V.; PRADOS, L. F.; MARCONDES, M. I. Protein requirements for beef cattle. In: VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, L. F. C; GIONBELLI, M. P.; ROTTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L., PRADOS, L. F. *BR-CORTE: nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle*. 3rd ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda., 2016. 314 p.

- RUSSELL, J.B.; STROBEL, H.J. 1989. Mini-review: the effect of ionophores on ruminal fermentation. 1989. *Appl. Environ. Microbiol.*, v. 55, n. 1, 6 p.
- SCHELLING, G.T. 1984. Monensin mode of action in the rumen. 1984. *J. Anim. Sci.*, v. 58, n. 6, p. 1518-1527.
- SCHUTZ, Y.; RAVUSSIN, E. Respiratory quotients lower than 0.70 in ketogenic diets. 1980. *The American Journal of Clinical Nutrition*, p. 1317-1319.
- SILVA, R. R. E.; BORGES, A. L. C. C.; CARVALHO, P. H. A.; SOUZA, A. S.; VIVENZA, P. A. D.; SILVA, J. S.; LAGE, H. F.; LIMA, A. F.; GONÇALVES, L. C.; SALIBA, E. O. S., I; CAMPOS, W. E.; RODRIGUEZ, N. M. Respirometry and Animal Nutrition In: *Animal Husbandry*. 1 ed. IntecOpen: Croácia, 2018., p. 1-19.
- SNIFFEN, C. J., O'CONNOR, J. D., VAN SOEST, P. J., FOX, D. G., & RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. 1992. *J. Anim. Sci.*, v. 70, n. 11, p. 3562–3577.
- THOMPSON, W. R.; MEISKE, J. C.; GOODRICH, R. D., RUST, J. R.; BYERS, F. M. Influence of body composition on energy requirements of beef cows during winter. 1983. *J. Anim. Sci.*, v. 56, n. 5, p. 1241-1252.
- TURNER, H. G.; TAYLOR, C. S. Dynamic factors in models of energy utilization with particular reference to maintenance requirement of cattle. 1983. *Wld. Rev. Nutr. Diet.*, v. 42, p. 135-190.
- VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, L.F.C.; GIONBELLI, M.P.; ROTTA, P.P.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L.; PRADOS, L. F. *BR-CORTE*: Nutrient requirements of Zebu and crossbred. 3rd ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda., 2016. 314 p.
- VALADARES, R.F.D., BRODERICK, G.A., VALADARES FILHO, S.C.; CLAYTON, M. K. Effect of replacing alfalfa with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. 1999. *J. Dairy Sci.*, v. 8, p. 2686-2696.
- VAN DEN BORNE, J. J. G. C; HEETKAMP, M. J. W.; ALFERINK, S. J. J.; GERRITS, W. J. J. Moving from a complete energy balance towards substrate oxidation: use of stable isotopes. In: *Indirect calorimetry, techniques, computations and applications*. GERRITS, W. J. J.; LABUSSIÈRE, E. Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2015. 293 p.

VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2.ed. Ithaca Cornell University Press. 476p. 1994.

WALSBERG, G. E., WOLF B. Variation in the respiratory quotient of birds and implications for indirect calorimetry using measurements of carbon dioxide production. 1995. *The Journal of Experimental Biology*, v. 198, p. 213–219.

WEBSTER, A. J.F. The energetic efficiency of metabolism. 1981. *Proc. Nutr. Soc.*, v. 40, p. 121-128.

WEISS, W. Estimating digestible and metabolizable energy concentrations of ruminant diets. In: *Energy and protein metabolism and nutrition 6th EAAP international Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition*. Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2019. n. 138, 504 p.

WILLIAMS, C. B.; JENKINS, T. G. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. III. Model evaluation. 2003. *J. Anim. Sci.*, v. 81, p. 1390-1398.