

Exigências de energia para bovinos de corte

Marcos Inácio Marcondes, Alex Lopes da Silva, Mateus Pies Gionbelli, Sebastião de Campos Valadares Filho

INTRODUÇÃO

A estimativa acurada das exigências de energia para bovinos em crescimento e terminação é um dos pontos-chaves de um sistema de alimentação. No Sistema BR-CORTE, tais exigências têm sido estimadas a partir de um banco de dados que tem crescido ao longo das edições não somente em número de animais, mas também em amplitude de variação de peso e grupos genéticos utilizados. Na primeira edição (Valadares Filho et al., 2006) foram utilizados dados individuais de 187 animais Zebuínos (9 estudos) criados em confinamento. Na segunda edição (Valadares Filho et al., 2010), a partir de dados individuais de 626 animais (25 estudos) foram estimadas exigências para Zebuínos e cruzamentos, e também para animais em pastejo. Na edição atual são apresentadas estimativas para exigências nutricionais de Zebuínos, Cruzados de Corte e Cruzados de Leite, para animais em pastejo e confinamento, a partir de dados individuais de 1369 animais de 38 estudos diferentes.

Utiliza-se como base para estimativa das exigências de energia para animais em crescimento e terminação no BR-CORTE, o sistema apresentado à comunidade científica por Lofgreen e Garrett (1968), intitulado “Um sistema para expressar exigências de energia líquida e valores dos alimentos para animais em crescimento e terminação”. Tal sistema ficou mais tarde conhecido como California Net Energy System (CNES) e estabeleceu a base das recomendações de exigências de energia das edições subsequentes do sistema norte americano (NRC, 1984, 1996, 2000) e BCNRM (2016). Um resumo do que foi estabelecido pelo Sistema CNES pode ser visualizado pela equação abaixo:

$$EMt = EMm + EMg = (ELm/km) + (ELg/kg)$$

Eq. 7.1

em que: EMt = exigência de energia metabolizável total, EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção, EMg = exigência de energia metabolizável para ganho, ELm = exigência de energia líquida para manutenção, km = eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção, ELg = exigência de energia líquida para ganho e kg = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho.

Cabe notar que a base das definições propostas pelo CNES e apresentadas na Eq. 7.1 teve seu entendimento estabelecido por pesquisadores anteriores, que estudaram quantitativamente os mais variados aspectos sobre o uso da energia por animais (Atwater e Bryant, 1900; Armsby, 1917; Kleiber, 1961; Blaxter, 1961; Brody, 1945; Blaxter et al., 1966; Blaxter, 1969).

Uma vez que as estimativas das exigências de energia são realizadas com base no que foi estabelecido na Eq. 7.1, faz-se necessário conhecer as frações apresentadas para que possam ser realizadas as estimativas. O Sistema BR-CORTE usa um banco de dados de experimentos de abate comparativo (Garrett et al., 1959). Nesses experimentos são mensuradas a energia metabolizável consumida (EMt) e a energia retida na forma de tecidos no corpo do animal (ELg). A energia líquida gasta com manutenção (ELm) e as ineficiências de uso da energia para manutenção (1 – km) e ganho (1 – kg) representam a energia consumida que foi transformada em calor (produção de calor) e são estimadas por diferença, com base nos princípios de conservação da energia estabelecidos na 1ª Lei da

Termodinâmica (Clausius, 1850). Uma representação equacional de tais relações é apresentada abaixo:

$$CEM = ER + PCalor \quad \text{Eq. 7.2}$$

$$CEM = EMt \quad \text{Eq. 7.3}$$

$$ER = ELg \quad \text{Eq. 7.4}$$

$$PCalor = ELM + ((1 - km) \times EMm) + ((1 - kg) \times EMg) \quad \text{Eq. 7.5}$$

em que: CEM = consumo de energia metabolizável, ER = energia retida, PCalor = produção de calor, EMt = exigência de energia metabolizável total, ELg = exigência de energia líquida para ganho, ELM = exigência de energia líquida para manutenção, km = eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção, EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção, kg = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho e EMg = exigência de energia metabolizável para ganho.

Uma vez que o valor da PCalor é obtido por diferença e três das variáveis apresentadas na Eq. 7.5 são oriundas da PCalor, usa-se modelos matemáticos para estimar os valores de ELM, km e kg, que serão apresentados nos itens posteriores.

Com base na evolução da base de dados e dos conhecimentos sobre estimativa de exigências nutricionais, os modelos utilizados para estimar as

exigências de energia para bovinos em crescimento e terminação foram discutidos, reavaliados e validados. Assim, foram geradas as recomendações para estimativa das exigências nutricionais de energia para Zebuínos de corte e seus cruzamentos, em crescimento e terminação, criados em condições tropicais, a pasto ou em confinamento.

DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS

A atualização do Sistema BR-CORTE foi realizada com base em um banco de dados composto por 38 estudos realizados em condições brasileiras (Apêndice 7.1). O banco de dados de animais criados em confinamento apresentou grande evolução, partindo de 626 animais na última edição (Valadares Filho et al., 2010) para 1369 animais na edição atual. O grupo genético com maior representatividade no banco de dados foi o de Zebuínos, com 744 animais (Tabela 7.1). O grupo de animais Cruzados de Corte foi constituído de 142 Angus × Nelore, 62 Limousin × Nelore, 12 Marchigiana × Nelore, 73 Simental × Nelore, 11 Pardo-Suíço × Nelore, 23 Brangus e 16 animais bimestiços, com a maior fração de sangue europeu vinda da raça Angus (Tabela 7.2). Já o grupo de animais Cruzados de Leite foi formado por 16 animais Holandês × Gir, 15 Holandês × Guzerá, 155 Nelore × Holandês, 21 Holandês e 79 animais cruzados de leite (Tabela 7.3). O banco de dados de animais criados em sistema de pastejo foi formado por 127 animais, sendo todos da raça Nelore (Tabela 7.4).

Tabela 7.1 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais Zebuínos mantidos em condição de confinamento

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	454	283	438	110	65,6
PCJf, kg	454	383	592	122	91,2
PCVZi, kg	454	249	358	95,2	58,6
PCVZf, kg	454	337	549	109	85,0
PCVZ ^{0,75} , kg	454	70,9	98,2	32,1	12,5
GMD, kg/dia	454	1,00	2,65	-0,14	0,45
GPCVZ, kg/dia	454	0,95	2,30	-0,13	0,43
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	454	50,9	170	-97,4	36,7
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	454	220	467	0,49	78,2
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	454	196	309	87,7	52,3
Machos castrados					
PCJi, kg	166	291	399	164	46,7
PCJf, kg	166	364	520	195	68,4
PCVZi, kg	166	255	352	150	41,7
PCVZf, kg	166	322	469	148	67,0
PCVZ ^{0,75} , kg	166	70,0	91,2	42,7	9,23
GMD, kg/dia	166	0,71	1,53	-0,22	0,42
GPCVZ, kg/dia	166	0,70	1,63	-0,21	0,38
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	166	30,8	103	0,63	23,1
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	166	212	310	114	53,8
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	166	181	232	104	40,0
Fêmeas					
PCJi, kg	124	225	347	127	53,4
PCJf, kg	124	271	437	121	72,4
PCVZi, kg	124	197	403	104	48,8
PCVZf, kg	124	243	397	108	67,7
PCVZ ^{0,75} , kg	124	57,2	89,5	33,0	10,7
GMD, kg/dia	124	0,57	1,27	-0,12	0,39
GPCVZ, kg/dia	124	0,58	1,25	-0,13	0,37
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	124	60,3	272	-6,02	52,3
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	124	217,5	338	110	80,5
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	124	157	229	92,3	51,36

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; PCVZ^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

Tabela 7.2 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais Cruzados de Corte mantidos em condição de confinamento

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	215	302	435	198	51,8
PCJf, kg	215	445	589	230	86,9
PCVZi, kg	215	256	366	173	40,2
PCVZf, kg	215	388	541	199	81,1
PCVZ ^{0,75} , kg	215	75,9	98,3	50,4	11,3
GMD, kg/dia	215	1,15	2,11	-0,07	0,43
GPCVZ, kg/dia	215	1,11	2,04	-0,05	0,42
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	215	58,7	180	-6,72	34,8
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	215	244	489	97,4	76,0
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	215	185	489	22,2	80,2
Machos castrados					
PCJi, kg	75	312	434	189	68,9
PCJf, kg	75	414	581	224	93,2
PCVZi, kg	75	274	385	166	65,3
PCVZf, kg	75	371	518	201	90,3
PCVZ ^{0,75} , kg	75	76,0	97,9	49,9	11,7
GMD, kg/dia	75	1,10	2,35	-0,36	0,67
GPCVZ, kg/dia	75	1,11	2,11	-0,09	0,61
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	75	79,9	114	9,49	32,0
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	75	265	505	90,3	105
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	75	185	359	101	69,6
Fêmeas					
PCJi, kg	49	271	331	194	33,5
PCJf, kg	49	345	494	187	88,5
PCVZi, kg	49	241	311	150	36,8
PCVZf, kg	49	304	443	176	79,8
PCVZ ^{0,75} , kg	49	67,1	85,6	45,5	9,14
GMD, kg/dia	49	0,86	1,75	-0,31	0,66
GPCVZ, kg/dia	49	0,80	1,73	-0,18	0,58
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	49	55,2	104	-7,60	33,4
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	49	238	355	112	82,8
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	49	182	268	103	53,3

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; PCVZ^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

Tabela 7.3 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais Cruzados de Leite mantidos em condição de confinamento

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	85	407	495	317	50,5
PCJf, kg	85	451	661	191	110
PCVZi, kg	85	341	415	266	40,2
PCVZf, kg	85	394	600	167	106
PCVZ ^{0,75} , kg	85	83,9	107	56,4	14,4
GMD, kg/dia	85	1,68	2,64	0,45	0,60
GPCVZ, kg/dia	85	1,52	2,54	0,45	0,65
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	85	92,5	167	18,5	36,1
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	85	273	348	154	60,5
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	85	181	264	11,9	56,3
Machos castrados					
PCJi, kg	88	279	455	104	90,1
PCJf, kg	88	358	575	159	95,9
PCVZi, kg	88	231	363	94,9	66,0
PCVZf, kg	88	312	510	146	86,5
PCVZ ^{0,75} , kg	88	66,9	95,5	36,4	12,8
GMD, kg/dia	88	0,97	2,05	0,15	0,43
GPCVZ, kg/dia	88	0,95	2,00	0,14	0,48
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	88	47,8	112	-93,0	40,2
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	88	258	372	95,7	83,5
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	88	210	343	80,9	67,3
Fêmeas					
PCJi, kg	113	247	399	150	57,6
PCJf, kg	113	309	399	230	55,7
PCVZi, kg	113	161	230	115	31,3
PCVZf, kg	113	274	375	192	57,6
PCVZ ^{0,75} , kg	113	56,6	72,5	43,6	9,19
GMD, kg/dia	113	1,00	1,37	0,29	0,30
GPCVZ, kg/dia	113	0,88	1,30	0,30	0,37
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	113	72,1	115	36,7	23,5
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	113	416	548	348	59,1
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	113	344	475	285	57,9

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; PCVZ^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

Tabela 7.4 - Estatística descritiva dos dados utilizados para a obtenção das exigências nutricionais de energia de animais Zebuínos mantidos em condição de pastagem

Itens	N	Média	Máximo	Mínimo	DP
Machos não castrados					
PCJi, kg	99	278	404	138	50,6
PCJf, kg	99	391	661	138	68,6
PCVZi, kg	99	242	363	106	41,4
PCVZf, kg	99	343	600	118	58,9
PCVZ ^{0,75} , kg	99	70,7	103	34,5	9,28
GMD, kg/dia	99	0,42	1,13	-0,54	0,38
GPCVZ, kg/dia	99	0,34	0,81	-0,55	0,36
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	99	24,3	105	-52,3	29,1
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	99	199	307	83,4	54,5
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	99	175	340	12,7	59,7
Machos castrados					
PCJi, kg	28	294	455	104	59,8
PCJf, kg	28	370	581	150	91,7
PCVZi, kg	28	253	385	94,9	49,3
PCVZf, kg	28	325	518	125	76,9
PCVZ ^{0,75} , kg	28	70,2	97,9	33,9	9,66
GMD, kg/dia	28	0,57	0,95	-0,15	0,33
GPCVZ, kg/dia	28	0,47	0,90	-0,10	0,29
ER, kcal/PCVZ ^{0,75}	28	16,3	36,9	-12,4	15,5
CEM, kcal/PCVZ ^{0,75}	28	210	306	120	54,7
PCalor, kcal/PCVZ ^{0,75}	28	193	278	129	41,3

N= número de observações; DP = desvio-padrão; PCJi = peso corporal em jejum inicial; PCJf = peso corporal em jejum final; PCVZi = peso de corpo vazio inicial; PCVZf = peso de corpo vazio final; PCVZ^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico médio; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; ER = energia retida; CEM = consumo de energia metabolizável; PCalor = produção de calor.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA MANTENÇA

Exigências de energia líquida para manutenção

A exigência de energia líquida para manutenção (ELm) pode ser entendida como toda a produção de calor do animal no estado de jejum absoluto e está correlacionada com o atendimento de funções basais, como a manutenção da homeotermia, circulação, respiração, manutenção de sistemas enzimáticos e síntese de tecidos; e o atendimento de atividades voluntárias, como ruminar e caminhar (Garrett et al., 1959).

Primariamente, as exigências de energia para manutenção foram calculadas através de ensaios de alimentação de longa duração, onde foram mantidos níveis de consumo constantes até que os animais atingissem um equilíbrio em seu peso corporal por um período de tempo (Taylor e Young, 1968). Posteriormente, era realizada uma regressão do consumo de energia em função do ganho de peso dos animais, sendo o ponto onde o ganho de peso é igual a zero, encontrado por extrapolação, considerado como a exigência de energia para manutenção dos animais (Jenkins e Ferrell, 1983). No entanto, esta técnica estimava apenas a

exigência de energia metabolizável para manutenção (EM_m), sendo que a ELM, bem como as exigências de ganho, deveriam ser estimadas através de outros métodos, o que contribuiu para que essa técnica fosse preterida em relação a outras.

A ELM pode ser obtida através da utilização de técnicas respirométricas, onde o animal, em jejum absoluto, é mantido no interior de uma câmara e tem toda a sua produção de gás carbônico e metano, bem como seu consumo de oxigênio mensurados (Ferrell e Oltjen, 2008). Partindo-se do princípio que todo o calor produzido é oriundo da oxidação metabólica dos compostos orgânicos, onde é necessário o consumo de oxigênio para produzir gás carbônico, torna-se possível estimar a ELM (ARC, 1965).

A ELM também pode ser estimada de forma indireta, quando se utiliza o método do abate comparativo, que é o caso dos trabalhos adotados para estimar ELM apresentada no

BR-CORTE. Para utilizar este método é necessário que os animais sejam alimentados com diferentes níveis de energia metabolizável, o que resultará em variação na energia retida no corpo e na produção de calor (Lofgreen e Garrett, 1968). A ELM tem sido calculada (tanto para câmaras respirométricas, quanto para abates comparativos) através do uso de uma regressão não-linear exponencial da produção de calor (PCalor) em função do consumo de energia metabolizável (CEM). Nesse ponto, a ELM é admitida como sendo o intercepto (β_0) do modelo (Ferrell e Jenkins, 1998; Figura 7.1).

$$PCalor = \beta_0 \times e^{(\beta_1 \times CEM)}$$

Eq. 7.6

em que: PCalor = produção de calor (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia); CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia) e β_0 e β_1 = parâmetros do modelo.

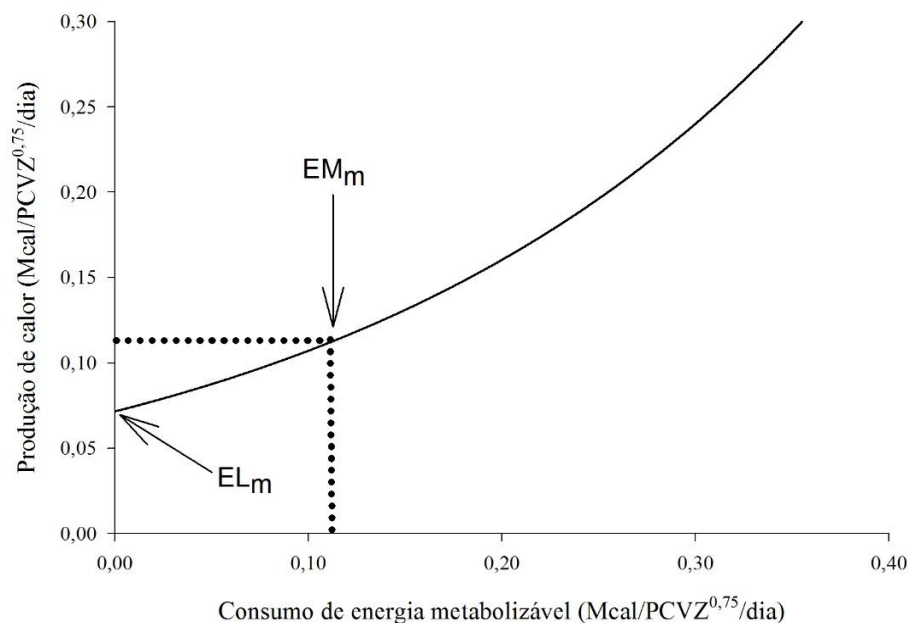


Figura 7.1 - Relação exponencial entre a produção de calor e o consumo de energia metabolizável.

As exigências de ELM foram estimadas com base no modelo acima e testados os efeitos de classe sexual, grupo genético e sistema de criação sobre os parâmetros do modelo. Como o banco de

dados de animais criados à pasto não foi modificado em relação à edição anterior, foram mantidas as mesmas recomendações da edição anterior (Valadares Filho et al., 2010).

a) Animais em Confinamento

Quando o modelo da Eq. 7.6 foi ajustado aos dados de animais em confinamento, não foi observado efeito de classe sexual sobre os parâmetros do modelo ($P > 0,05$). Da mesma forma, não houve efeito de grupo genético sobre o parâmetro β_0 do modelo ($P = 0,332$), o que indica não haver diferenças na estimativa da ELM. Por outro lado, foi observado efeito de grupo genético sobre o parâmetro β_1 do modelo descrito acima ($P < 0,001$), o que indica que existem efeitos raciais sobre a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção, como será demonstrado posteriormente.

Zebuínos:

$$PCalor = 0,0749 \times e^{3,8684 \times CEM} \quad \text{Eq. 7.7}$$

Cruzados de corte:

$$PCalor = 0,0749 \times e^{4,0612 \times CEM} \quad \text{Eq. 7.8}$$

Cruzados de leite:

$$PCalor = 0,0749 \times e^{4,1487 \times CEM} \quad \text{Eq. 7.9}$$

em que PCalor = produção de calor (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia) e CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia).

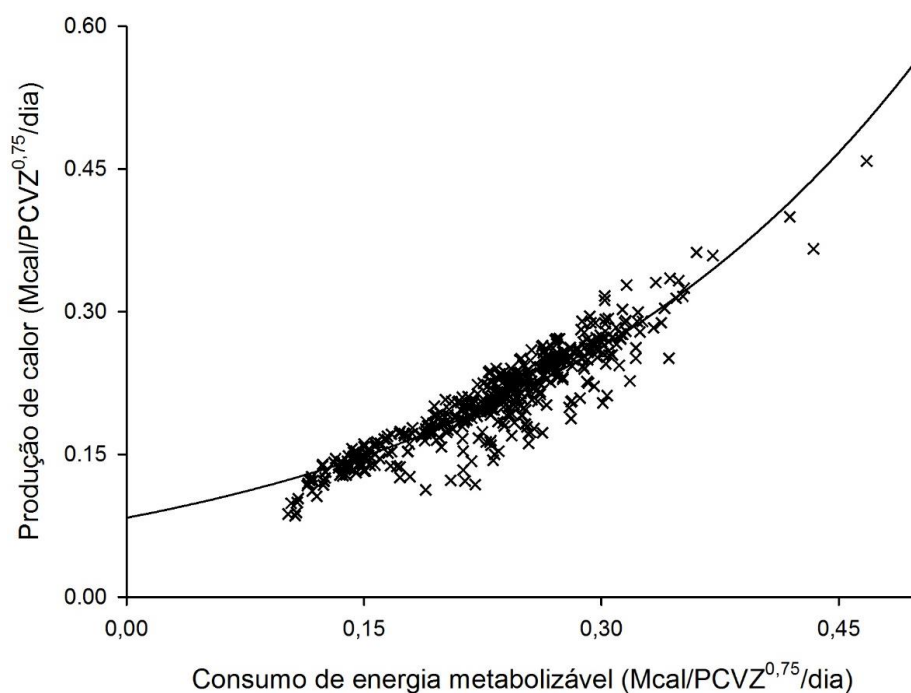


Figura 7.2 - Relação exponencial entre a produção de calor e o consumo de energia metabolizável para animais zebuínos criados em condições de confinamento, com base na equação 7.7.

De modo geral, o valor estimado de 75 kcal/PCVZ^{0,75}/dia para a ELM se mostra consistente, uma vez que se assemelha aos valores reportados na literatura, como por exemplo, a taxa metabólica basal, medida em câmara respirométrica, de 69 kcal/PCVZ^{0,75}/dia (Poczopko, 1971).

O NRC (2000) sugere que não há diferença entre machos castrados e fêmeas sobre a ELM, comportamento descrito também pelo ARC (1980) e CSIRO (1990), e recomenda o

valor de 77 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. O NRC (2000) também sugere que machos não castrados teriam um requerimento de ELM 15% superior às outras classes, no entanto, tais diferenças não foram observadas em nosso banco de dados (Webster et al., 1982; Ferrell e Jenkins, 1985).

O BCNRM (2016) mudou a recomendação da edição anterior (NRC, 2000) de 77 kcal/PCVZ^{0,75}/dia para machos castrados e fêmeas, para 77 kcal/PCVZ^{0,75}/dia e também recomenda um acréscimo de 15% na ELM para

machos não castrados. Também há a sugestão de que animais zebuínos, exceto Nelore, apresentariam requerimentos de ELM em torno de 10% menores que animais de origem taurina, ou seja, em torno de 69 kcal/kg PCJ^{0,75}/dia. No entanto, deve-se salientar que diferenças entre sexos não foram observadas em nosso banco de dados. Comportamento similar foi observado por Chizzotti et al. (2008), que em um estudo envolvendo a análise de dados de 389 animais Nelore puros ou Cruzados de Corte (Angus, Red Angus, Simental, Limousin e Brangus), não observaram efeitos de grupos genéticos e estimaram a ELM de aproximadamente 75 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. De forma geral, pode-se observar a similaridade entre os valores reportados em 2010 e 2016, o que reitera a consistência do banco de dados do BR-CORTE e a aplicabilidade dos valores estimados.

b) Animais em pastejo

A edição anterior do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2010) apresentou

diferenças na estimativa da ELM para machos Nelore não castrados de acordo com o sistema de criação, sendo obtidos os valores de 74,2 e 71,7 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, para animais criados em confinamento e em pastejo, respectivamente. No entanto, utilizando o banco de dados da edição atual não foi observado efeito ($P = 0,16$) do sistema de criação sobre a estimativa do β_0 da equação 7.6, sendo adotado o mesmo valor de 75 kcal/PCVZ^{0,75}/dia para a ELM tanto para animais criados em confinamento quanto em pastejo. Por outro lado, foi observada diferença significativa ($P = 0,039$) sobre a estimativa do parâmetro β_1 , o que sugere diferenças quanto EMM.

$$PCalor = 0,0749 \times e^{4,1986 \times CEM}$$

Eq. 7.10

em que: PCalor = produção de calor (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia) e CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia).

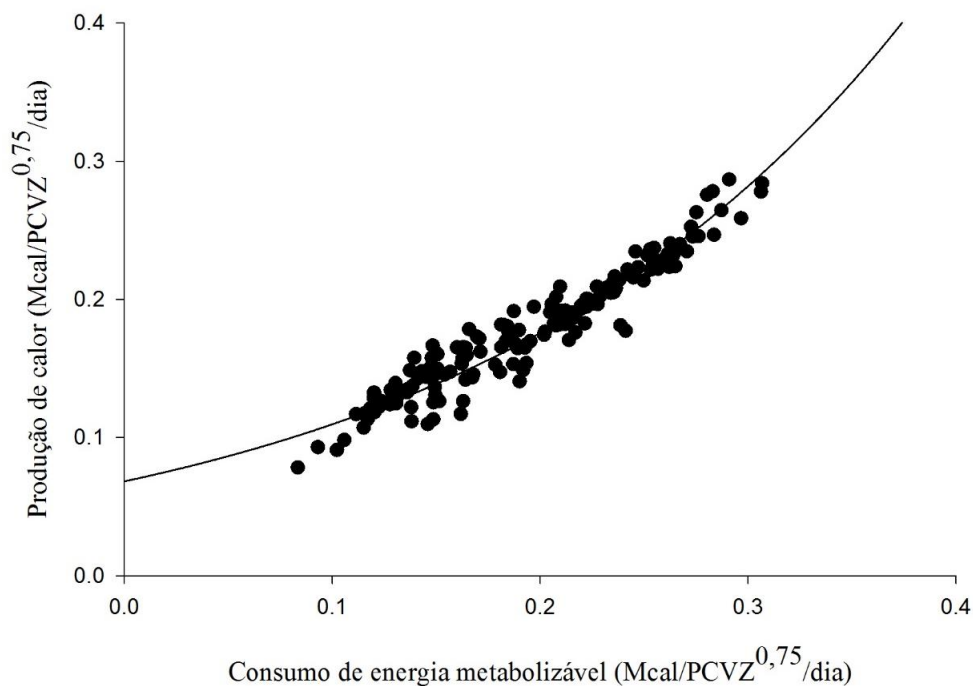


Figura 7.3 - Relação exponencial entre a produção de calor e o consumo de energia metabolizável para animais zebuínos criados em condições de pastejo, com base na equação 7.10.

Teoricamente, a ELM é afetada por características que afetam o metabolismo basal e é independente da dieta, o que justifica a equivalência dos valores para animais criados em sistemas diferentes (Garrett et al., 1959).

Exigências de energia metabolizável para manutenção

A utilização do valor encontrado para a ELM é limitada e não permite aplicação

prática na formulação de dietas, uma vez que animais em produção não se encontram em estado de jejum, assim, torna-se necessário calcular a exigência de manutenção em uma forma mais aplicável. Nesse contexto, surge o conceito da EM_m, que pode ser entendido como o ponto em que todo o consumo de energia metabolizável é utilizado para a produção de calor, ou seja, não há nenhuma retenção de energia no corpo (Lofgreen e Garrett, 1968).

Para obter a EM_m é necessário ter o conhecimento da eficiência com que a energia metabolizável é utilizada para manutenção (*km*). Essa eficiência pode ser obtida através da aplicação de um processo iterativo ao modelo exponencial da produção de calor em função do consumo de energia metabolizável. Com isso, encontra-se o ponto onde a produção de calor e o consumo de energia metabolizável se igualam, cujo valor é considerado a EM_m (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia), e a *km* é estimada a partir da relação entre ELM e EM_m (Figura 7.1).

Essa técnica de estimativa da *km*, apesar de ser clássica e já ter sido utilizada na primeira versão do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2006), foi refutada na edição passada por não levar em consideração a ação de uma série de fatores que podem afetar a *km*. Dentre esses fatores, podem ser destacados sexo, raça, idade, ambiente e a concentração de energia metabolizável da dieta (AFRC, 1993; NRC, 2000; CSIRO, 2007). Além disso, existem fortes evidências de que a *km* é afetada também por características ligadas ao desempenho dos animais, como a taxa e a composição do ganho de peso (Williams e Jenkins, 2003; Marcondes et al., 2010).

a) Animais em Confinamento

Marcondes et al. (2013) estudaram, através de uma meta-análise, o efeito de diversas variáveis sobre a *km*, sendo encontrado efeito da eficiência de uso da energia metabolizável para ganho (*kg*) e do ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) sobre a *km* (Eq. 7.11), o que afirma que os requisitos de manutenção são afetados pelo desempenho dos animais.

$$km = [(\beta_0 + \beta_1 \times kg + \beta_2 \times GPCVZ) \times \theta]$$

Eq. 7.11

em que: *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção; *kg* = eficiência de uso da energia metabolizável para ganho de peso; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros da equação e θ = fator de ajuste para sistema de criação.

Adicionalmente, Marcondes et al. (2013) evidenciaram efeito do grupo genético sobre a estimativa do parâmetro associado ao GPCVZ dos animais, o que reafirma os resultados encontrados no parâmetro β_1 das equações 7.7; 7.8 e 7.9.

Reavaliando o modelo proposto por Marcondes et al. (2013), com base no banco de dados atualizado do BR-CORTE, foi confirmada a diferença entre grupos genéticos sobre o parâmetro associado ao GPCVZ (β_2), sendo mantidos os valores originais reportados pelos autores para animais Zebuínos e Cruzados de Corte. Considerando os dados de animais Zebuínos e Cruzados de Corte, foi observada uma alta acurácia (85,04%; Lin e Torbeck, 1998; Tedeschi, 2004) do modelo proposto por Marcondes et al. (2013). Assim, decidiu-se pela manutenção da equação de *km* para Zebuínos e Cruzados de Corte e foi realizada uma reparametrização do modelo para Cruzados de Leite, de forma a minimizar o Quadrado Médio do Erro das estimativas da *km* para esses animais:

$$km = [(0,513 + 0,173 \times kg + \beta_2 \times GPCVZ) \times \theta]$$

Eq. 7.12

em que: *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção; *kg* = eficiência de uso da energia metabolizável para ganho de peso; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); β_2 = 0,100 para Zebuínos; 0,073 para Cruzados de Corte e 0,010 para Cruzados de Leite e θ = fator de ajustamento para sistema de criação que assume o valor de 1 para animais criados em confinamento.

O modelo é coerente com as conclusões de Garrett (1980b), o qual sugeriu que a *km* seria afetada pela composição corporal e o plano nutricional, uma vez que a *kg* é afetada pela composição do ganho (como será mostrado a seguir), e o GPCVZ é efeito do plano de nutrição. Segundo o autor, variações no *turnover* protéico poderiam ser responsáveis por

parte da variação da km , e dessa forma, os grupos genéticos avaliados teriam diferenças em seu *turnover* protéico.

A maioria dos sistemas de exigências nutricionais estimam a km com base em características da dieta. O AFRC (1993) e CSIRO (2007) levam em consideração a relação entre a concentração de energia metabolizável e energia bruta da dieta (q_m) (equações 7.13 e 7.14, respectivamente). A km estabelecida pelo (NRC, 2000 e BCNRM, 2016) é baseada no trabalho de Garrett (1980) e considera a concentração de energia metabolizável da dieta [EM] como a variável que afeta a estimativa da concentração de energia líquida de manutenção [ELm] (Eq. 7.15), sendo a km obtida dividindo-se [ELm] pela [EM]. Por outro lado, Fox et al. (2004) recomendaram um valor fixo de 0,64.

$$km = (0,35 \times q_m) + 0,503 \quad \text{Eq. 7.13}$$

$$km = (0,02 \times q_m) + 0,500 \quad \text{Eq. 7.14}$$

$$[ELm] = -1,12 + 1,37 \times [EM] - 0,138 \times [EM]^2 + 0,0105 \times [EM]^3 \quad \text{Eq. 7.15}$$

em que: km = eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção; q_m = proporção entre a energia metabolizável e energia bruta da dieta (expressa em % na Eq. 7.13, e em MJ/kg de MS na Eq. 7.14) e [EM] = concentração de energia metabolizável da dieta (Mcal/kg de matéria seca).

Como citado anteriormente, o NRC (2000) e o BCNRM (2016) sugerem que animais *Bos indicus*, exceto Nelore, teriam uma ELm 10% menor que animais taurinos. No entanto, como foi apresentado anteriormente, não foi evidenciada nenhuma diferença quanto à ELm em nosso banco de dados, considerando animais cruzados e zebuínos de diferentes classes sexuais. Porém, o modelo de cálculo da km indica que essa diferença pode não estar

relacionada à ELm, mas sim à sua eficiência de utilização, onde animais *Bos indicus* seriam mais eficientes que animais Cruzados de Corte, e esses mais eficientes que animais cruzados de leite.

b) Animais em pastejo

Com relação ao sistema de criação, Marcondes et al. (2013) não fizeram comparações entre condições de confinamento e pastejo no desenvolvimento dos modelos da km . Entretanto, a aplicação do método iterativo sobre as equações geradas com o banco de dados de animais zebuínos criados em confinamento (Eq. 7.7) e de animais criados em pastejo (Eq. 7.10), demonstrou que há influência do sistema de criação sobre a estimativa da EMm. O valor obtido de EMm para animais em pastejo foi 128 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, enquanto para animais zebuínos em confinamento foi de 118 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, o que representa um acréscimo de 8,5% na estimativa final da EMm para animais em pastejo, ou seja, animais em pastejo apresentam uma km 8,5% menor que animais criados em confinamento.

$$km = \left[\frac{(0,513 + 0,173 \times kg + 100 \times GPCVZ)}{\times \theta} \right] \quad \text{Eq. 7.16}$$

em que: km = eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção; kg = eficiência de uso da energia metabolizável para ganho de peso; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e θ = fator de ajustamento para sistema de criação que assume o valor de 0,92 para animais criados em pastejo.

A menor km de animais em pastejo pode estar ligada ao maior gasto com locomoção e apreensão da forragem, que pode estar reduzindo a eficiência de utilização da energia dietética. Outro aspecto está relacionado à qualidade das dietas, uma vez que pastagens, geralmente, apresentam uma concentração de energia metabolizável menor que dietas de confinamento, o que pode levar a uma redução na km (Garrett, 1980b).

Fatores que influenciam a exigência de manutenção

a) Atividades Voluntárias

As exigências nutricionais têm sido estimadas principalmente em animais confinados, devido à possibilidade de mensuração do alimento fornecido e do consumo de energia metabolizável. Entretanto, para animais criados em pastagem, a atividade locomotora é reconhecidamente superior em relação a animais confinados. Nesse sentido, o CSIRO (2007) considera que animais em pastejo gastam mais energia com a atividade de ingestão que animais confinados e assume que a energia despendida com a caminhada é de 0,62 kcal/km de deslocamento horizontal e de 6,69 kcal/km de deslocamento vertical e que a energia metabolizável adicional de ingestão, expressa em MJ, pode ser calculada por $0,0025 \times \text{CMSp} \times (0,9 - \text{DMSp})$, onde CMSp é o consumo de matéria seca (kg/dia) de pasto e DMSp a digestibilidade da matéria seca do pasto. Adotando essas correções, animais a pasto apresentariam exigências de manutenção 10 a 20% superiores em relação à animais confinados, dependendo da topografia do terreno, da taxa de lotação, e da disponibilidade e qualidade do pasto.

No presente trabalho apenas 6 dos 38 estudos presentes no banco de dados foram desenvolvidos em condições de pastejo. Este grupo de animais foi avaliado separadamente quanto aos requerimentos nutricionais e, como já observado anteriormente, houve um acréscimo de 8,5% nas exigências de EMm de animais mantidos em condições de pastejo. No entanto, ainda existe grande variabilidade e escassez nos dados de animais a pasto, o que mostra que ainda há muito a ser feito nesse sistema. Experimentos de abate comparativo, para estimação dos requerimentos nutricionais, conduzidos em pastejo são de difícil condução, pois tanto o consumo de suplemento e pasto, como a excreção fecal são geralmente estimados com o uso de indicadores.

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos para aperfeiçoar os métodos de estimação do consumo e excreção de animais em pastejo (Ferreira et al., 2009), contudo mais experimentos são necessários para aumentar o número de repetições e proporcionar condições para que os procedimentos estatísticos

identifiquem com maior precisão o efeito do pastejo sobre os requisitos de manutenção.

b) Efeitos ambientais

Os principais fatores envolvidos na determinação do conforto térmico são: o ambiente (temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar, e pressão atmosférica), a estrutura da pele do animal (espessura, isolamento térmico, penetração pelo vento, ventilação, emissividade, absorvidade e refletividade) e características corporais (forma corporal, tamanho, área de superfície, área exposta à radiação solar, emissividade e absorvidade da epiderme) (Silva, 2000). A faixa de conforto térmico, delimitada pelas temperaturas críticas inferior e superior, é definida como a faixa de temperatura em que não há gasto adicional de energia para manutenção da temperatura corporal.

Deste modo, sob estresse térmico por calor, o consumo de matéria seca é inferior, entretanto, como a temperatura crítica superior é ultrapassada durante curtos períodos do dia, o consumo pode ser recuperado em horários de temperatura mais amena. Sendo assim o uso desse ajuste é recomendado apenas em casos extremos.

O estresse térmico por calor aumenta a frequência respiratória, a taxa de batimentos cardíacos e a ofegação, aumentando o gasto energético para a manutenção da temperatura corporal, porém também diminui a produção metabólica de calor o que dificulta a adoção de ajustes nas exigências nutricionais para esse fator.

Neste sentido, o NRC (2000) recomenda ajustes nas exigências de energia para manutenção da ordem de $0,0007 \text{ Mcal/PC}^{0,75}$ para cada 1°C de variação que a temperatura ambiente tenha em relação à temperatura padrão de 20°C. Assim, quando a temperatura ambiental for maior que 20°C haverá uma redução na exigência de manutenção e um aumento na exigência de manutenção é esperado quando temperaturas inferiores à 20°C são registradas.

De um modo geral, são escassos estudos no Brasil que avaliem o efeito das variáveis ambientais sobre as exigências nutricionais dos animais. Sendo assim, não serão recomendados ajustes para tais fatores nesta publicação.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA PARA GANHO

Peso de corpo vazio equivalente

A aplicação de mensurações de desempenho, como o ganho médio diário, é essencial em sistemas de predição de exigências nutricionais. Porém, tão importante quanto ter noção do ganho médio diário dos animais, é entender a composição que o ganho apresenta (Marcondes et al., 2016). Uma das formas de inferir sobre a composição do ganho dos animais é através do peso corporal à maturidade dos animais, uma vez que quanto mais próximo deste peso, maior será a tendência a depositar maiores teores de gordura em relação à proteína no peso de corpo vazio.

Primariamente, o peso à maturidade foi correlacionado ao peso estável de uma vaca adulta de determinada raça. No entanto, a aplicação desse valor para animais em crescimento pode não proporcionar resultados satisfatórios, uma vez que algumas raças atingem o peso à idade adulta muito acima do peso normalmente preconizado para abate de bovinos, aliado ao fato de muitos animais estabilizarem muito antes sua composição corporal (Reid et al., 1955). Seguindo este raciocínio, diversas formas foram propostas para estimar o peso à maturidade dos animais, sendo que elas tentam correlacioná-lo com curvas de crescimento (Brown et al., 1976; Menchaca et al., 1996).

De acordo com Reid et al. (1955) e Marcondes et al. (2016), o peso à maturidade seria atingido quando a concentração de proteína bruta na matéria seca livre de gordura dos animais se tornasse constante, ou seja, toda a deposição de tecidos seria na forma de gordura. Para Tedeschi et al. (2002), o peso vivo à maturidade de animais Nelore seria alcançado quando estes animais atingissem um teor de 22% de gordura corporal no peso de corpo vazio. Já para o NRC (2000), o teor de gordura corporal que definiria o peso à maturidade seria de 25% para animais com apenas traços de marmoreio, que é o caso de animais zebuínos.

A partir da composição genética dos animais presentes no banco de dados do BR-CORTE e com base na análise dos dados de composição corporal destes animais, optou-se por estabelecer o peso de corpo vazio à maturidade, com base na relação exponencial entre o conteúdo corporal de gordura e o peso de corpo vazio dos animais, considerando 25% de gordura corporal como o ponto de maturidade (Figura 7.4), uma vez que os animais do banco de dados têm, em sua maioria, um baixo grau de marmoreio (NRC, 2000).

$$GC = \beta_0 \times e^{(\beta_1 \times PCVZ)}$$

Eq. 7.17

onde: GC = conteúdo de gordura corporal (kg); PCVZ = peso de corpo vazio (kg) e β_0 e β_1 são parâmetros da equação.

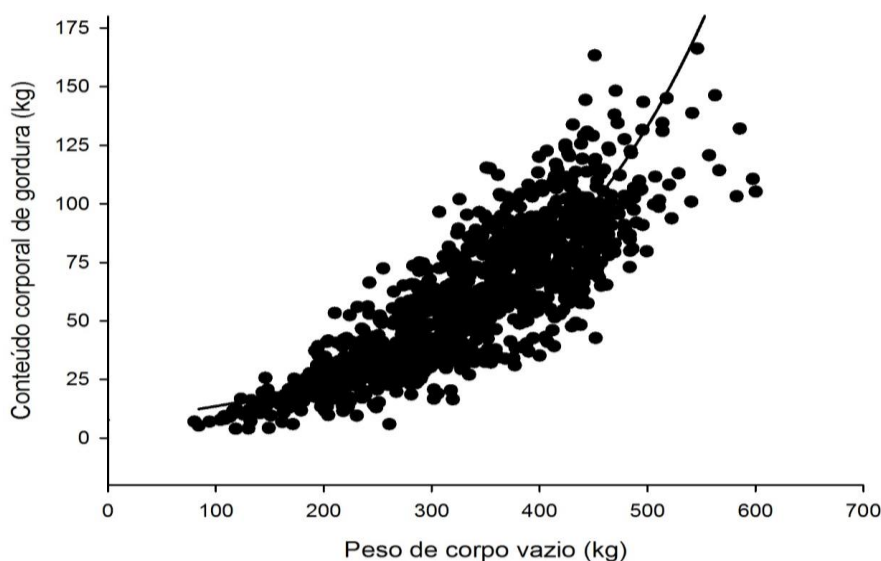


Figura 7.4 - Relação exponencial entre o conteúdo corporal de gordura e o peso de corpo vazio, considerado todos os animais do banco de dados do BR-CORTE.

A partir da aplicação do modelo descrito acima sobre o banco de dados, observou-se efeito de grupo genético e classe sexual para a estimativa do peso de corpo

vazio à maturidade dos animais, sendo recomendados os valores apresentados na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 - Pesos de corpo vazio à maturidade para diferentes grupos genéticos/classes sexuais de bovinos de corte, estimados a partir da relação exponencial entre o conteúdo corporal de gordura e o peso de corpo vazio dos animais

Grupo genético	Classe Sexual	Peso à maturidade (kg)
Zebuínos	Macho não castrado	517
	Macho castrado	433
	Fêmea	402
Cruzado de Corte	Macho não castrado	560
	Macho castrado	482
	Fêmea	417
Cruzado de Leite	Macho não castrado	616
	Macho castrado	532
	Fêmea	493

Arnold and Bennett (1991a; b) sugeriram um peso à maturidade de 517 kg para animais inteiros e 315 kg para novilhas, ambos de raças de tamanho corporal médio. Já Oltjen et al. (1986) estimaram um valor de maturidade de 450 kg para animais castrados. Considerando que animais Nelore são considerados de médio porte (NRC, 2000), pode-se visualizar a convergência entre os dados estimados nesta publicação e os valores reportados na literatura. Animais cruzados tiveram maiores valores de peso à maturidade, o que está relacionado com a utilização de raças de grande porte nos cruzamentos, o que aumenta o peso à maturidade da progênie.

O NRC (2000) sugere que seja feita uma correção, para a estimativa das exigências de energia para ganho, de peso dos animais de diferentes tamanhos corporais ou pesos à maturidade, o que geraria um valor que equivaleria todos os animais, sendo conhecido como peso de corpo vazio equivalente (PCVZeq). Assim, pode-se calcular o PCVZeq a partir do valor de peso à maturidade sugerido anteriormente para cada tipo de animal e um valor referência de peso de corpo vazio, sendo adotado o modelo a seguir:

$$PCVZeq = (PCVZ/PCVZmat) \times PCVZref$$

Eq. 7.18

em que: PCVZeq = peso de corpo vazio equivalente (kg); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); PCVZref = peso de corpo vazio referência (517 kg) e PCVZmat = peso de corpo vazio à maturidade (kg).

A utilização do PCVZeq permite a comparação de animais de diversos grupos raciais e/ou classes sexuais em diferentes pontos de terminação. Para tanto, é necessário que seja bem estabelecido um valor de referência para aumentar a acurácia da estimativa. Assim, o peso de corpo vazio referência (PCVZref), é o peso onde todos os animais estariam em um mesmo ponto de maturidade.

Na última edição do BR-CORTE foi adotado o valor de 440 kg como sendo o PCVZref, valor este calculado com base no banco de dados daquela edição que continha todos os animais. Para a edição atual, optou-se por adotar o valor do peso de corpo vazio à maturidade de animais machos Zebuínos não castrados (517 kg) como sendo o PCVZref. Esta decisão foi pautada na consistência apresentada pelo banco de dados destes animais, além de ser o que possui mais observações e devido a

isto, possivelmente maior confiabilidade nas estimativas.

Exigência de energia líquida para ganho

A exigência de energia líquida para ganho de peso (ELg) pode ser entendida como toda a energia que é retida no peso de corpo vazio dos animais na forma de proteína ou gordura (Garrett et al., 1959). Sendo assim, a composição do ganho de corpo vazio é o principal determinante das exigências de energia para ganho de peso. Nesse sentido, o que determina a composição do ganho de corpo vazio não é o peso corporal absoluto, mas o peso relativo ao peso à maturidade do animal, sendo que quanto mais próximo ao peso à maturidade, maior é a deposição de gordura em relação à proteína, o que tende a aumentar as exigências de ganho de peso (Marcondes et al., 2016).

Neste contexto, o modelo utilizado para estimar a ELg baseia-se na relação da energia retida no corpo em função do PCVZeq e do ganho de peso de corpo vazio desejado:

$$ELg = \beta_0 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{\beta_1} \quad \text{Eq. 7.19}$$

em que: ELg = exigência de energia líquida para ganho de peso (Mcal/dia); PCVZeq^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico equivalente (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia) e β_0 e β_1 = parâmetros do modelo.

A edição anterior do BR-CORTE utilizou modelos diferentes para cada classe sexual, sendo que as diferenças entre grupos genéticos seriam absorvidas pelo PCVZeq. No entanto, a partir da análise do banco de dados da edição atual, foi evidenciada a necessidade do PCVZeq absorver, além das diferenças intrínsecas a cada grupo genético (Figura 7.5A), também as diferenças entre classes sexuais (Figura 7.5B).

Dessa forma, foi gerada uma equação conjunta, utilizando os dados de todos os

animais terminados em confinamento (Eq. 7.20). Por outro lado, as exigências para animais em pastejo não foram alteradas em relação à última edição (Eq. 7.21).

$$ELg = 0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035} \quad \text{Eq. 7.20}$$

$$ELg = 0,052 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,062} \quad \text{Eq. 7.21}$$

em que: ELg = exigência de energia líquida para ganho de peso (Mcal/dia); PCVZeq^{0,75} = peso de corpo vazio metabólico equivalente (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia).

Para o efeito de condição sexual e considerando animais Zebuínos, verificou-se uma ELg de animais castrados 14% superior em relação a machos não castrados e 7% inferior em relação às fêmeas (Figura 7.5A). Para animais Cruzados de Corte a ELg de animais castrados foi 12% superior a machos não castrados e 13% inferior a fêmeas. Já para animais Cruzados de Leite a ELg de animais castrados foi 12% superior a machos não castrados e 6% inferior à de fêmeas.

O NRC (2000), bem como o BCNRM (2016), utilizam um modelo similar ao recomendado no BR-CORTE para estimar a ELg, conforme a equação: $ELg = 0,0635 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,097}$, que é baseado na edição de 1984 (NRC, 1984) e foi gerada para animais de médio porte. Assim, para corrigir distorções em relação à composição corporal dos animais, o BCNRM (2016) também recomenda a utilização do PCVZeq. Para calcular o PCVZeq, são utilizados três diferentes pesos referência, que são baseados no nível de marmoreio que é apresentado por diferentes grupos genéticos, sendo, 478 kg para animais com algum marmoreio, 462 kg para animais com marmoreio moderado e 435 kg para animais com apenas traços de marmoreio.

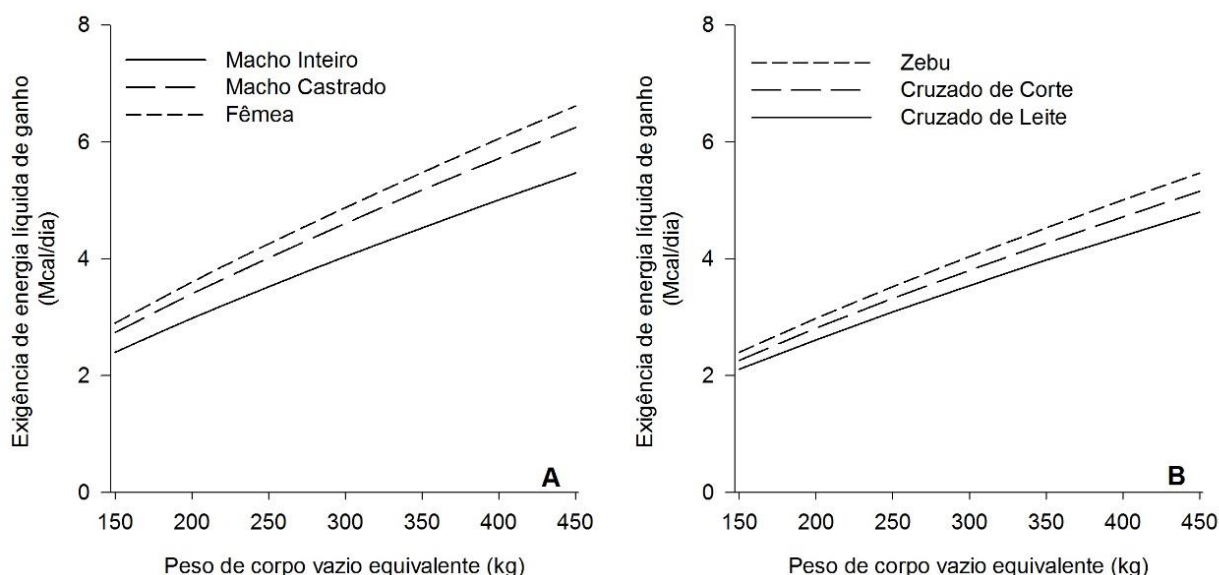


Figura 7.5 - Estimativa da exigência de energia líquida para ganho de animais Zebuínos de diferentes classes sexuais (A) e para machos não castrados de diferentes grupos genéticos (B). Para todas as estimativas foi utilizando o modelo proposto para animais em confinamento, considerando o peso de corpo vazio equivalente inerente a cada categoria e um ganho de peso de corpo vazio de 1 kg/dia.

Diferenças entre os pesos à maturidade dos grupos genéticos refletem diferentes graus de deposição de gordura de animais com o mesmo peso corporal. Assim, para animais de mesmo peso absoluto e à mesma taxa de ganho em peso, são esperadas maiores concentrações energéticas no ganho, e, por consequência, maior ELg para animais de grupos genéticos com menor peso à maturidade em relação a animais de grupos genéticos que apresentam maturidade mais tardia (Marcondes et al., 2016).

Por fim, o GPCVZ pode ser estimado a partir da energia líquida disponível para ganho, a qual seria computada a partir da diferença entre o total de energia ingerida pelo animal e a sua exigência de energia líquida para manutenção, utilizando o seguinte modelo:

$$\text{GPCVZ} = 14,914 \times \text{ELg}^{0,9662} \times \text{PCVZeq}^{-0,7246}.$$

Neste contexto, um animal nelore não-castrado com um peso corporal de 350 kg, que equivaleria a um PCVZeq de 300 kg, teria

um consumo de matéria seca de aproximadamente 8 kg/dia, com uma exigência de energia líquida para manutenção de 5,40 Mcal/dia e um valor de energia líquida disponível para ganho de 5,12 Mcal/dia, o que permitiria almejar um GPCVZ de aproximadamente 1,16 kg/dia.

Exigência de energia metabolizável para ganho

Da mesma forma que a ELM, a ELg não apresenta uma aplicação direta na formulação de dietas, necessitando ser convertida para a forma de exigência de energia metabolizável para ganho (EMg). Assim, para converter a ELg em EMg, torna-se necessário conhecer a eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho de peso (*kg*).

Geralmente, a *kg* é estimada a partir de uma regressão linear da energia retida em função do consumo de energia metabolizável para ganho, onde assume-se que inclinação desta reta (β_1) representaria a *kg* (Figura 7.6).

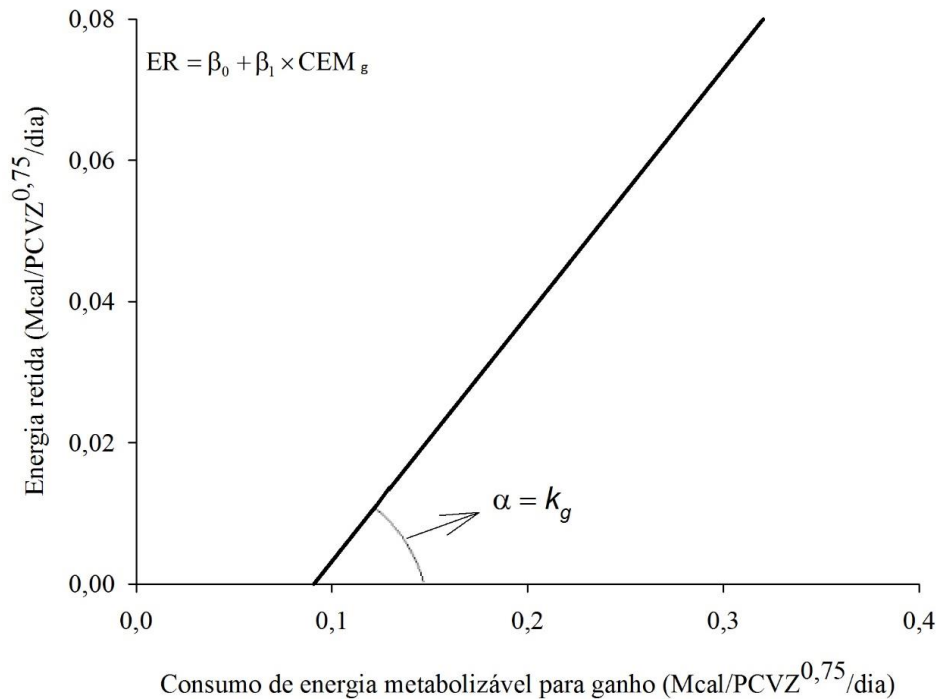


Figura 7.6 - Relação entre energia retida e consumo de energia metabolizável para ganho.

No entanto, observa-se alta variação dos valores de kg entre experimentos quando se considera esse valor como constante (Figura 7.6), pois desprezam-se variações que ocorrem na deposição de tecidos. Desta forma, a eficiência com que a energia é retida no corpo depende das proporções de energia retidas na forma de proteína e de gordura, destacando-se que a eficiência de deposição de energia em forma de gordura é reconhecidamente superior à de proteína (Owens et al., 1995).

Como a gordura é a principal forma de reserva de energia no corpo animal e apresenta o valor calórico de 9,367 kcal/g (Blaxter e Rook, 1953), enquanto a proteína apresenta 5,686 kcal/g (Garrett, 1958), quanto maior a porcentagem de proteína no ganho, menor será a sua concentração energética e vice-versa. Partindo deste princípio, Tedeschi et al. (2004) propuseram estimar a kg baseando-se na porcentagem de energia retida na forma de proteína e nas eficiências parciais de deposição de gordura e proteína:

$$kg = \frac{(kgord \times kprot)}{\left[kprot + \left(\frac{ERprot}{100} \right) \times (kgord - kprot) \right]} \quad \text{Eq. 7.22}$$

em que: kg = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho (%); $kgord$ = eficiência de deposição de energia na forma de gordura (%); $kprot$ = eficiência de deposição de energia na forma de proteína (%) e $ERprot$ = proporção da energia retida na forma de proteína (%).

Reconhecidamente, a eficiência de deposição de energia na forma de gordura é maior do que na forma de proteína, sendo que Tedeschi et al. (2004) encontraram valores de 20 e 75% para $kgord$ e $kprot$, respectivamente. Enquanto o CSIRO (2007) recomenda 45 e 75%, e Chizzotti et al. (2008) obtiveram 34 e 79% para $kgord$ e $kprot$, respectivamente.

Entretanto, Marcondes et al. (2013) observaram superestimativas nos valores da kg quando utilizada a técnica acima e propuseram a estimativa da kg a partir da relação direta com a energia retida

na forma de proteína (ERprot). Para isso, os autores obtiveram a *kg* a partir da relação entre a ER e o consumo de energia metabolizável para ganho (CEMg) para

cada um dos 25 estudos e relacionaram os valores encontrados com diversas outras variáveis (Figura 7.7).

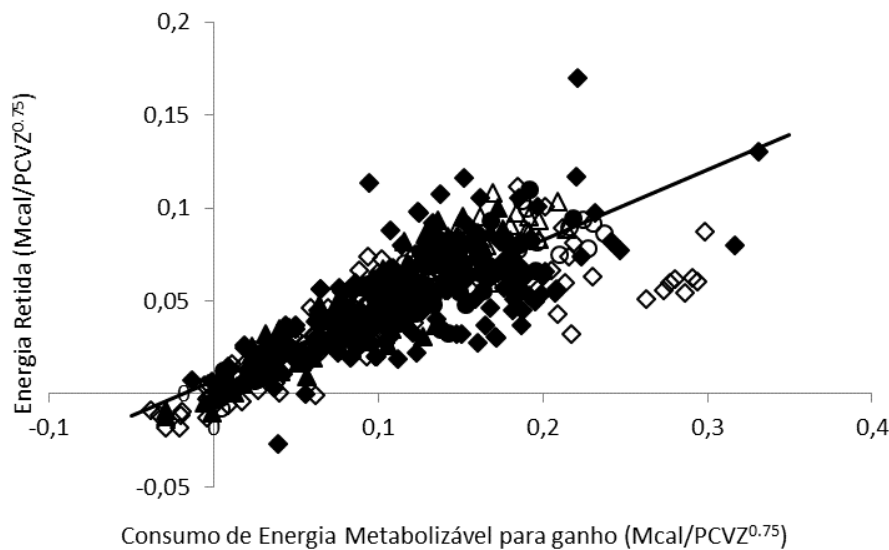


Figura 7.7 - Relação entre o consumo de energia metabolizável para ganho e a energia retida. Os símbolos representam dados de machos não castrados (\blacktriangle , \triangle), machos castrados (\diamond , \blacklozenge), e fêmeas (\circ , \bullet). Pontos sólidos representam animais Nelore, e pontos vazios representam animais cruzados de corte (Adaptada de Marcondes et al., 2010).

Os autores observaram que a ERprot foi a melhor variável para explicar a *kg*, sendo que esta variável é importante por correlacionar a eficiência de ganho com a composição do ganho dos animais (Tedeschi et al., 2004; Chizzotti et al., 2008). Assim, a equação obtida por (Marcondes et al., 2013) e recomendada para estimativa da *kg* nesta edição é:

$$kg = \frac{0,327}{(0,539 + ERprot)}$$

Eq. 7.23

em que: *kg* = eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho e ERprot = proporção da energia retida na forma de proteína.

No entanto, a aplicação deste modelo depende de uma estimativa acurada da ERprot. Tedeschi et al. (2004) e Chizzotti et al. (2008) propuseram modelos exponenciais para estimar a ERprot, sendo as respectivas equações:

$$ERprot = 0,0554 + 1,6939 \times e^{\left[-0,5573 \times \left(\frac{ER}{GPCVZ}\right)\right]}$$

$$ERprot = 10,1 + 166,7 \times e^{\left[-0,660 \times \left(\frac{ER}{GPCVZ}\right)\right]}$$

Porém, Marcondes et al. (2013) não utilizaram o mesmo modelo, uma vez que para qualquer uma das equações acima, ainda haveria retenção na forma de proteína mesmo com ER igual a zero. Dessa forma os autores utilizaram um modelo potencial para descrever a retenção de energia na forma de proteína e obtiveram a seguinte equação:

$$ERprot = 1,140 \times \left(\frac{ER}{GPCVZ}\right)^{-1,137}$$

Eq. 7.24

em que: ERprot = proporção da energia retida na forma de proteína; ER=energia retida ou exigência de energia líquida para ganho (Mcal/dia) e GPCVZ=ganho de peso de corpo vazio (kg/dia).

O NRC (2000) e o BCNRM (2016) adotam o princípio da concentração de energia metabolizável na dieta para estimar a concentração de energia líquida de ganho,

sendo a *kg* estimada pela relação entre [ELg] e [EMg]. Da mesma forma, o AFRC (1993) considera a relação entre a energia metabolizável e a energia bruta para estimar o *qm* e posteriormente a *kg*.

$$\begin{aligned} [ELg] &= -1,65 + 1,42 \times [EM] - 0,174 \times \\ & [EM]^2 + 0,0122 \times [EM]^3 \end{aligned}$$

Eq. 7.25

$$km = (0,78 \times q_m) + 0,006$$

Eq. 7.26

em que: [EM] = concentração de energia metabolizável da dieta (Mcal/kg de matéria seca). *km* = eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção e *qm* = proporção entre a energia metabolizável e a energia bruta da dieta.

Marcondes et al. (2013) não obtiveram previsões acuradas da *kg* quando utilizaram apenas a concentração de energia metabolizável da dieta, concluindo que a utilização de variáveis que englobam características relacionadas à composição do ganho de peso dos animais é mais indicada na estimativa da *kg*.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Diante de algumas limitações que foram averiguadas no decorrer da construção desta publicação, foram traçados alguns objetivos que devem ser cumpridos até o lançamento da próxima versão do BR-CORTE, com a finalidade de melhorar as estimativas das exigências de energia.

Deve-se destacar que o banco de dados de animais em confinamento apresenta um déficit de animais com pesos extremos. Assim, há a necessidade da execução de experimentos com animais que tenham PCVZ médio menor que 150 kg e maior que 500 kg, para aumentar o domínio dos dados que compõem os modelos de predição das exigências de manutenção e ganho e também aumentar a acurácia dos modelos.

Outro fator que demandará grande empenho é a ampliação do banco de dados de animais criados à pasto, visto que não houve evolução desde a versão passada para a atual. Logo, este é um ponto fundamental a ser trabalhado para a próxima edição. Um tópico a ser adicionado é a realização de experimentos com animais à pasto que tenham os 3 grupos genéticos envolvidos (Nelore, Cruzados de Corte e Cruzados de Leite), a fim de melhorar as interpretações sobre o banco de dados.

A utilização da equação:

$$[EM] = 0,9455 \times [ED] - 0,3032,$$

apresentada no Cap. 6 ao invés de uma relação fixa para a conversão de energia digestível em energia metabolizável (0,82), pode ser considerado um avanço nas estimativas, contudo mais dados são necessários para validar a mesma.

RESUMO DOS MODELOS E EXEMPLO DE CÁLCULO

A seguir será apresentado um resumo dos modelos descritos neste capítulo.

Tabela 7.6 - Resumo dos modelos para estimar as exigências de energia para animais criados em sistema de confinamento

Item	Equações
PCJ (kg)	Zebuínos: $0,8800 \times PC^{1,0175}$ Cruzados: $0,9664 \times PC^{1,0017}$
	Zebuínos: $0,8126 \times PCJ^{1,0134}$
	Cruzados: $0,7248 \times PCJ^{1,0314}$
PCVZ (kg)	Zebuínos: $0,6241 \times PCJ^{1,0608}$
	Cruzados: $0,6586 \times PCJ^{1,0499}$
	Zebuínos: $0,6110 \times PCJ^{1,0667}$
	Cruzados: $0,6314 \times PCJ^{1,0602}$
GPCVZ (kg/dia)	$0,9630 \times GMD^{1,0151}$
PCVZeq (kg)	$\left(\frac{PCVZ}{PCVZ_{mat}} \right) \times 517$
ELm (Mcal/dia)	$0,075 \times PCVZ^{0,75}$
ELg (Mcal/dia)	$0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035}$
ERprot	$1,140 \times \left(\frac{ER}{GPCVZ} \right)^{-1,137}$
kg	$kg = \frac{0,327}{(0,539 + ERprot)}$
km	Zebuínos: $[(0,513 + 0,173 \times kg + 0,100 \times GPCVZ) \times 1]$ Cruzado corte: $[(0,513 + 0,173 \times kg + 0,073 \times GPCVZ) \times 1]$ Cruzado leite: $[(0,513 + 0,173 \times kg + 0,010 \times GPCVZ) \times 1]$
EMm (Mcal/dia)	ELm/km
EMg (Mcal/dia)	ELg/kg
EMtotal (Mcal/dia)	EMm + EMg
ED (Mcal/dia)	$\left(\frac{(EMtotal/CMS) + 0,3032}{0,9455} \right) \times CMS$
NDT (kg/dia)	ED/4,4

Tabela 7.7 - Resumo dos modelos para estimar as exigências de energia para animais criados em sistema de pastejo

Item	Equações
PCJ (kg)	$0,8800 \times PC^{1,0175}$
PCVZ (kg)	$0,8507 \times PCJ^{1,0002}$
GPCVZ (kg/dia)	$0,9630 \times GMD^{1,0151}$
PCVZeq (kg)	$\left(\frac{PCVZ}{PCVZ_{mat}} \right) \times 517$
ELm (Mcal/dia)	$0,075 \times PCVZ^{0,75}$
ELg (Mcal/dia)	$0,052 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,062}$
ERprot	$1,140 \times \left(\frac{ER}{GPCVZ} \right)^{-1,137}$
kg	$kg = \frac{0,327}{(0,539 + ERprot)}$
km	$[(0,513 + 0,173 \times kg + 0,100 \times GPCVZ) \times 0,92]$
EMm (Mcal/dia)	ELm/km
EMg (Mcal/dia)	ELg/kg
EMtotal (Mcal/dia)	EMm + EMg
ED (Mcal/dia)	$\left(\frac{(EMtotal/CMS) + 0,3032}{0,9455} \right) \times CMS$
NDT (kg/dia)	ED/4,4

A fim de ilustrar a aplicação dos modelos apresentados neste capítulo será realizada a estimativa das exigências de energia para um novilho Nelore não castrados com 400 kg de peso corporal e ganhando 1 kg/dia de peso corporal em sistema de confinamento.

- $PCJ = 0,88 \times PC^{1,0175} \rightarrow 0,88 \times 400^{1,0175} \rightarrow 391 \text{ kg}$
- $PCVZ = 0,8126 \times PCJ^{1,0134} \rightarrow 0,8126 \times 391^{1,0134} \rightarrow 344 \text{ kg}$
- $GPCVZ = 0,963 \times GMD^{1,0151} \rightarrow 0,963 \times 1^{1,0151} \rightarrow 0,963 \text{ kg/dia}$
- $PCVZeq = (PCVZ / 517) \times 517 \rightarrow (344 / 517) \times 517 \rightarrow 344 \text{ kg}$
- $ELg = 0,061 \times PCVZeq^{0,75} \times GPCVZ^{1,035} \rightarrow 0,061 \times 344^{0,75} \times 0,963^{1,035} \rightarrow 4,69 \text{ Mcal/dia}$
- $ERprot = 1,140 \times (ER / GPCVZ)^{-1,137} \rightarrow 1,140 \times (4,69 / 0,963)^{-1,137} \rightarrow 0,1885$
- $kg = 0,327 / (0,539 + ERprot) \rightarrow 0,327 / [0,539 + 0,1885] \rightarrow 0,45$
- $EMg = ELg / kg \rightarrow 4,69 / 0,45 \rightarrow 10,4 \text{ Mcal/dia}$
- $ELm = 0,075 \times PCVZ^{0,75} \rightarrow 0,075 \times 344^{0,75} \rightarrow 5,99 \text{ Mcal/dia}$
- $km = [(0,513 + 0,173 \times kg + 0,100 \times GPCVZ) \times 1] \rightarrow [(0,513 + 0,173 \times 0,45 + 0,100 \times 0,963) \times 1] \rightarrow 0,69$
- $EMm = ELm / km \rightarrow 5,99 / 0,69 \rightarrow 8,72 \text{ Mcal/dia}$
- $EMtotal = EMg + EMm \rightarrow 10,43 + 8,72 \rightarrow 19,2 \text{ Mcal/dia}$

- $ED = [((EM_{total} / CMS) + 0,3032) / 0,9455] \times CMS \rightarrow [((19,15 / 8,31) + 0,3032) / 0,9455] \times 8,31 \rightarrow 22,92 \text{ Mcal/dia}$
- $NDT = ED / 4,4 \rightarrow 22,92 / 4,4 \rightarrow 5,21 \text{ kg/dia}$

TABELAS DE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA

Nesta seção serão apresentadas tabelas com as estimativas das exigências de energia líquida de ganho, exigências totais de energia

metabolizável e exigências de nutrientes digestíveis totais para animais Zebuínos, Cruzados de Corte e Cruzados de Leite criados em confinamento, bem como, para animais Zebuínos criados em pastagens.

Tabela 7.8 - Exigências de energia para zebuínos de diferentes classes sexuais, pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,61	6,96	7,86	6,30	7,65	8,54	6,96	8,31	9,21	7,60	8,95	9,85
Machos não castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,80			5,40			5,99			6,56		
EMm (Mcal/dia)	7,59	7,04	6,56	8,51	7,89	7,36	9,39	8,72	8,14	10,3	9,52	8,89
ELg (Mcal/dia)	1,81	3,75	5,74	2,04	4,23	6,47	2,26	4,69	7,18	2,48	5,13	7,86
EMg (Mcal/dia)	4,37	8,97	13,7	4,72	9,71	14,8	5,07	10,4	15,9	5,41	11,1	17,0
EMt (Mcal/dia)	12,0	16,0	20,2	13,2	17,6	22,2	14,5	19,2	24,0	15,7	20,7	25,9
NDT (kg/dia)	3,28	4,36	5,44	3,64	4,79	5,95	3,98	5,21	6,45	4,32	5,62	6,94
Machos castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,82			5,46			6,08			6,69		
EMm (Mcal/dia)	7,57	7,03	6,56	8,54	7,93	7,40	9,48	8,80	8,22	10,4	9,66	9,02
ELg (Mcal/dia)	2,08	4,30	6,59	2,35	4,87	7,46	2,62	5,43	8,31	2,88	5,97	9,15
EMg (Mcal/dia)	4,78	9,83	15,0	5,21	10,7	16,3	5,64	11,6	17,7	6,05	12,5	19,0
EMt (Mcal/dia)	12,4	16,9	21,5	13,8	18,7	23,7	15,1	20,4	25,9	16,4	22,1	28,0
NDT (kg/dia)	3,38	4,56	5,75	3,77	5,04	6,33	4,14	5,51	6,90	4,51	5,97	7,46
Fêmeas												
ELm (Mcal/dia)	4,86			5,51			6,14			6,76		
EMm (Mcal/dia)	7,62	7,08	6,60	8,61	7,99	7,46	9,56	8,88	8,29	10,5	9,75	9,10
ELg (Mcal/dia)	2,22	4,59	7,03	2,51	5,20	7,97	2,80	5,80	8,88	3,08	6,39	9,78
EMg (Mcal/dia)	5,00	10,3	15,7	5,46	11,2	17,1	5,92	12,2	18,6	6,37	13,1	20,0
EMt (Mcal/dia)	12,6	17,4	22,3	14,1	19,2	24,6	15,5	21,1	26,9	16,9	22,9	29,1
NDT (kg/dia)	3,44	4,68	5,93	3,84	5,18	6,54	4,23	5,67	7,13	4,61	6,15	7,72

ELm = exigência de energia líquida para manutenção; EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; ELg = exigência de energia líquida para ganho; EMg = exigência de energia metabolizável para ganho; EMt = exigência total de energia metabolizável; NDT = exigência de nutrientes digestíveis totais.

Tabela 7.9 - Exigências de energia para cruzados de corte de diferentes classes sexuais, pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,81	7,28	8,45	6,38	7,85	9,02	6,93	8,40	9,57	7,46	8,93	10,1
Machos não castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,77			5,37			5,96			6,53		
EMm (Mcal/dia)	7,72	7,29	6,91	8,65	8,18	7,75	9,55	9,03	8,56	10,43	9,86	9,35
ELg (Mcal/dia)	1,70	3,51	5,38	1,91	3,96	6,06	2,12	4,39	6,72	2,32	4,81	7,36
EMg (Mcal/dia)	4,19	8,60	13,1	4,52	9,29	14,2	4,85	9,96	15,2	5,16	10,6	16,2
EMt (Mcal/dia)	11,9	15,9	20,0	13,2	17,5	21,9	14,4	19,0	23,8	15,6	20,5	25,5
NDT (kg/dia)	3,28	4,35	5,42	3,63	4,77	5,92	3,97	5,18	6,41	4,29	5,57	6,88
Machos castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,80			5,42			6,02			6,61		
EMm (Mcal/dia)	7,73	7,31	6,92	8,69	8,21	7,79	9,62	9,09	8,62	10,5	9,95	9,43
ELg (Mcal/dia)	1,91	3,96	6,06	2,16	4,47	6,84	2,40	4,96	7,60	2,63	5,45	8,34
EMg (Mcal/dia)	4,52	9,29	14,2	4,91	10,1	15,4	5,28	10,9	16,6	5,65	11,6	17,7
EMt (Mcal/dia)	12,3	16,6	21,1	13,6	18,3	23,2	14,9	20,0	25,2	16,2	21,6	27,2
NDT (kg/dia)	3,37	4,52	5,68	3,73	4,97	6,22	4,09	5,41	6,75	4,43	5,84	7,27
Fêmeas												
ELm (Mcal/dia)	4,86			5,49			6,11			6,71		
EMm (Mcal/dia)	7,79	7,36	6,98	8,77	8,29	7,86	9,71	9,19	8,71	10,6	10,1	9,55
ELg (Mcal/dia)	2,16	4,47	6,84	2,44	5,05	7,73	2,71	5,62	8,60	2,98	6,17	9,44
EMg (Mcal/dia)	4,90	10,1	15,4	5,35	11,0	16,8	5,78	11,9	18,1	6,20	12,8	19,5
EMt (Mcal/dia)	12,7	17,4	22,3	14,1	19,3	24,6	15,5	21,1	26,9	16,8	22,8	29,0
NDT (kg/dia)	3,47	4,72	5,99	3,86	5,21	6,58	4,23	5,68	7,15	4,59	6,14	7,72

ELm = exigência de energia líquida para manutenção; EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; ELg = exigência de energia líquida para ganho; EMg = exigência de energia metabolizável para ganho; EMt = exigência total de energia metabolizável; NDT = exigência de nutrientes digestíveis totais.

Tabela 7.10 - Exigências de energia para cruzados de leite de diferentes classes sexuais, pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,21	6,75	7,80	5,96	7,49	8,55	6,68	8,21	9,27	7,37	8,91	9,96
Machos não castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,77			5,37			5,96			6,53		
EMm (Mcal/dia)	8,14	8,06	7,99	9,12	9,03	8,95	10,1	9,98	9,89	11,0	10,9	10,8
ELg (Mcal/dia)	1,58	3,27	5,01	1,78	3,68	5,64	1,97	4,09	6,26	2,16	4,48	6,85
EMg (Mcal/dia)	4,01	8,23	12,5	4,32	8,87	13,5	4,62	9,49	14,5	4,91	10,1	15,4
EMt (Mcal/dia)	12,2	16,3	20,5	13,4	17,9	22,5	14,7	19,5	24,4	15,9	21,0	26,2
NDT (kg/dia)	3,30	4,41	5,50	3,66	4,85	6,02	4,02	5,28	6,53	4,36	5,69	7,02
Machos castrados												
ELm (Mcal/dia)	4,80			5,42			6,02			6,61		
EMm (Mcal/dia)	8,15	8,07	8,00	9,16	9,07	8,99	10,1	10,0	9,95	11,1	11,0	10,9
ELg (Mcal/dia)	1,77	3,67	5,63	2,00	4,15	6,35	2,23	4,61	7,06	2,44	5,06	7,75
EMg (Mcal/dia)	4,31	8,85	13,5	4,67	9,59	14,6	5,01	10,3	15,7	5,35	11,0	16,8
EMt (Mcal/dia)	12,5	16,9	21,5	13,8	18,7	23,6	15,1	20,4	25,7	16,4	22,0	27,7
NDT (kg/dia)	3,38	4,56	5,73	3,76	5,03	6,30	4,13	5,49	6,84	4,49	5,94	7,38
Fêmeas												
ELm (Mcal/dia)	4,86			5,49			6,11			6,71		
EMm (Mcal/dia)	8,22	8,15	8,08	9,25	9,17	9,09	10,3	10,2	10,1	11,2	11,1	11,0
ELg (Mcal/dia)	1,90	3,94	6,03	2,15	4,45	6,82	2,39	4,95	7,58	2,63	5,44	8,33
EMg (Mcal/dia)	4,51	9,26	14,1	4,89	10,1	15,3	5,27	10,9	16,5	5,64	11,6	17,7
EMt (Mcal/dia)	12,7	17,4	22,2	14,1	19,2	24,4	15,5	21,0	26,6	16,8	22,7	28,7
NDT (kg/dia)	3,44	4,68	5,90	3,83	5,17	6,49	4,22	5,65	7,07	4,59	6,11	7,63

ELm = exigência de energia líquida para manutenção; EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; ELg = exigência de energia líquida para ganho; EMg = exigência de energia metabolizável para ganho; EMt = exigência total de energia metabolizável; NDT = exigência de nutrientes digestíveis totais.

Tabela 7.11- Exigências de energia para bovinos criados a pasto de diferentes pesos corporais e taxas de ganho de peso

Exigências	Peso corporal (kg)											
	300			350			400			450		
GMD (kg/dia)	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
CMS (kg/dia)	5,61	6,96	7,86	6,30	7,65	8,54	6,96	8,31	9,21	7,60	8,95	9,85
ELm (Mcal/dia)	4,69			5,28			5,85			6,40		
EMm (Mcal/dia)	8,14	7,54	7,02	9,11	8,44	7,86	10,0	9,31	8,68	10,9	10,1	9,47
ELg (Mcal/dia)	1,48	3,13	4,84	1,67	3,52	5,44	1,84	3,89	6,03	2,02	4,26	6,60
EMg (Mcal/dia)	3,86	8,01	12,3	4,15	8,61	13,2	4,42	9,19	14,1	4,69	9,76	15,0
EMt (Mcal/dia)	12,0	15,6	19,3	13,3	17,1	21,1	14,5	18,5	22,8	15,6	19,9	24,5
NDT (kg/dia)	3,29	4,24	5,21	3,64	4,65	5,69	3,98	5,05	6,15	4,31	5,44	6,60

ELm = exigência de energia líquida para manutenção; EMm = exigência de energia metabolizável para manutenção; ELg = exigência de energia líquida para ganho; EMg = exigência de energia metabolizável para ganho; EMt = exigência total de energia metabolizável; NDT = exigência de nutrientes digestíveis totais.

REFERÊNCIAS

- Agricultural and Food Research Council – AFRC. *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. Wallingford, UK: Agricultural and Food Research Council. CAB International, 1993.
- Agricultural Research Council - ARC. *The nutrient requirements of farm livestock*. Londres, Inglaterra: Commonwealth Agricultural Bureau, 14-84, 1965.
- Agricultural Research Council - ARC. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureau. The Gresham Press, 351 p, 1980.
- Armsby, H. P. *The nutrition of farm animals*. New York: The Macmillan Co., NY, 743 p, 1917.
- Arnold, R. N.; Bennett, G. L. Evaluation of four simulation models of cattle growth and body composition: Part I - Comparison and characterization of the models. *Agricultural Systems*, 35:401–432, 1991a.
- Arnold, R. N.; Bennett, G. L. Evaluation of four simulation models of cattle growth and body composition: Part II - Simulation and comparison with experimental growth data. *Agricultural Systems*, 36:17–41, 1991b.
- Atwater, W.; Bryant, A. The availability and fuel value of food materials. Conn Agr Expt Sta 12th Ann Rpt. *Proceedings...* 73–110, 1900.
- Beef Cattle Nutrient Requirements Model - BCNRM. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 8th ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 475 p, 2016.
- Blaxter, K. L. The efficiency of energy transformation in ruminants. In: K. L. Blaxter; J. Kielanowski; G. Thorbek (Eds.); *Proceedings of Energy Metabolism of Farm Animals*, 4. Warsaw: Oriel Press. *Proceedings...* 21–28, 1969.
- Blaxter, K. L.; Clapperton, J. L.; Martin, A. K. The heat of combustion of the urine of sheep and cattle in relation to its chemical composition and to diet. *British Journal of Nutrition*, 20:449–459, 1966.
- Blaxter, K. L. and Martin, A. K. The utilization of protein as a source of energy in fattening sheep. *British Journal of Nutrition*, 16:397-404.1962.
- Blaxter, K. L. The utilization of the energy of food by ruminants. In: E. Brouwer; A. J. H. Van Es (Eds.); *Proceedings of Energy Metabolism of Farm Animals*, 2. Wageningen: Pudoc. *Proceedings...* 211-224, 1961.
- Blaxter, K. L.; Rook, J. A. F. The heat of combustion of the tissues of cattle in relation to their chemical composition. *British Journal of Nutrition*, 7:83–91, 1953.
- Brody, S. *Bioenergetics and growth*. NY: Reinhold, 1023p, 1945.
- Brown, J. E.; Fitzhugh Jr., H. A.; Cartwright, T. C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal Animal Science*, v. 42, n. 4, p. 810–818, 1976.
- Chizzotti, M. L.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nellore cattle. *Journal of Animal Science*, 86:1588–1597, 2008.
- Clausius, R. Ueber die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen. *Annalen der Physik*, 155:500–524, 1850.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Feeding Standards for Australian Livestock: Ruminants*. Melbourne, Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 266 p, 1990.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. Collingwood, VIC: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 270 p, 2007.
- Ferreira, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Paixão, M. L.; Paulino, M. F.; Valadares, R. F. D. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1568–1573, 2009.
- Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Energy utilization by Hereford and Simmental males and females. *Animal Production*, 41:53–61, 1985.
- Ferrell, C. L.; Jenkins, T. G. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: II. Angus, Boran, Brahman, Hereford, and Tuli sires. *Journal of Animal Science*, 76:647–657, 1998.
- Ferrell, C. L.; Oltjen, J. W. ASAS centennial paper: Net energy systems for beef cattle - Concepts, application, and future models. *Journal of Animal Science*, 86:2779–2794, 2008.

- Fox, D. G.; Tedeschi, L. O.; Tylutki, T. P.; Russell, J. B.; Van Amburgh, M. E.; Chase, L. E.; Pell, A. N.; Overton, T. R. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, 112:29–78, 2004.
- Garrett, W. N. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Animal Science*, Davis, CA: University of California, 1958.
- Garrett, W. N. Energy utilization by growing cattle as determined in 72 comparative slaughter experiments. In: L. E. Mount (Ed.); *Proceedings of Energy Metabolism*, 8. Cambridge: Butterworths & Co. *Proceedings...* 3–7, 1980a.
- Garrett, W. N. Factors influencing energetic efficiency of beef production. *Journal of Animal Science*, 51:1434–1440, 1980b.
- Garrett, W. N.; Meyer, J. H.; Lofgreen, G. P. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Journal of Animal Science*, 18:528–547, 1959.
- Jenkins, T. G.; Ferrell, C. L. Nutrient requirements to maintain weight of mature, nonlactating, noprogranant cows of four breed types. *Journal of Animal Science*, 56:761–770, 1983.
- Kleiber, M. *The Fire of Life: An Introduction to Animal Energetics*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 454 p, 1961.
- Lin, L.; Torbeck, L. D. Coefficient of accuracy and concordance correlation coefficient: New statistics for methods comparison. *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 52:55–59, 1998.
- Lofgreen, G. P.; Garrett, W. N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 27:793–806, 1968.
- Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C. Prediction of partial efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain. Southern Section of American Society of Animal Science. Orlando, FL: American Society of Animal Science. *Proceedings...* 28, 2010.
- Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Costa E Silva, L. F.; Silva, A. L. Using growth and body composition to determine weight at maturity in Nelore cattle. *Animal Production Science*, 56:1121–1129, 2016.
- Marcondes, M. I.; Tedeschi, L. O.; Valadares Filho, S. C.; Gionbelli, M. P. Predicting efficiency of use of metabolizable energy to net energy for gain and maintenance of Nelore cattle. *Journal of Animal Science*, 91:4887–98, 2013.
- Menchaca, M. A.; Chase, C. C.; Olson, T. A.; Hammond, A. C. Evaluation of growth curves of Brahman cattle of various frame sizes. *Journal of Animal Science*, 74:2140–2151, 1996.
- National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th ed. Washington, DC: National Academy Press, 90 p, 1984.
- National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. Washington, DC: National Academy Press, 244 p, 1996.
- National Research Council - NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. Washington, DC: National Academy Press, 244 p, 2000.
- Oltjen, J. W.; Bywater, A. C.; Baldwin, R. L.; Garrett, W. N. Development of a dynamic model of beef cattle growth and composition. *Journal of Animal Science*, 62:86–97, 1986.
- Owens, F. N.; Gill, D. R.; Secrist, D. S.; Coleman, S. W. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 73:3152–3172, 1995.
- Poczopko, P. Metabolic levels in adult homeotherms. *Acta theriologica*, 16:1–21, 1971.
- Reid, J. T.; Wellington, G. H.; Dunn, H. O. Some relationships among the major chemical components of the bovine body and their application to nutritional investigations. *Journal of Dairy Science*, 38:1344–1359, 1955.
- Silva, R. G. *Introdução à Bioclimatologia Animal*. São Paulo: Nobel, 286 p, 2000.
- Taylor, C. S.; Young, G. B. Equilibrium weight in relation to food intake and genotype in twin cattle. *Animal Production*, 10:393–412, 1968.
- Tedeschi, L. O. Assessment of the Adequacy of Mathematical Models. *Agricultural Systems*. Sassari, Italy. *Proceedings...* 225–247, 2004.
- Tedeschi, L. O.; Boin, C.; Fox, D. G.; Leme, P. R.; Alleoni, G. F.; Lanna, D. P. Energy requirement for maintenance and growth of Nelore bulls and steers fed high-forage diets. *Journal of Animal Science*, 80:1671–1682, 2002.

- Tedeschi, L. O.; Fox, D. G.; Baker, M. J. Unveiling the production efficiency of the beef cow: A systematic approach using nutrition models. *Animal Science Mimeograph Series no. 224*. Cornell Cooperative Extension, Corning, NY, 2004.
- Tedeschi, L. O.; Fox, D. G.; Guioy, P. J. A decision support system to improve individual cattle management. 1. A mechanistic, dynamic model for animal growth. *Agricultural Systems*, 79:171–204, 2004.
- Valadares Filho, S. C.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. *Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR-CORTE*. 2nd ed. Viçosa - MG: Suprema Gráfica e Editora LTDA, 193 p, 2010.
- Valadares Filho, S. C.; Paulino, P. V. R.; Magalhães, K. A. *Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos - BR CORTE*. 1st ed. Viçosa, MG: Suprema Grafica Ltda, 142 p, 2006.
- Webster, A. J. F.; Smith, J. S.; Mollison, G. S. Energy requirements of growing cattle: effects of sire breed, plane nutrition, sex and season on predicted basal metabolism. In: Ekern, A.; Sundstol, F. (Eds.). *Energy metabolism of farm animals: Proceedings of the 9th symposium*. 1st ed., Lillehammer, Norway: EAAP Publishing, 84–87, 1982.
- Williams, C. B.; Jenkins, T. G. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. *Journal of Animal Science*, 81:1371–1381, 2003.

