

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

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

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

## INTRODUÇÃO

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

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

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

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

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

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

## DEFINIÇÕES DE PESAGEM NA PESQUISA E NA PRÁTICA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **BANCO DE DADOS PARA AJUSTES DE PESO**

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

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

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

## RELAÇÕES DE PESAGENS

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

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

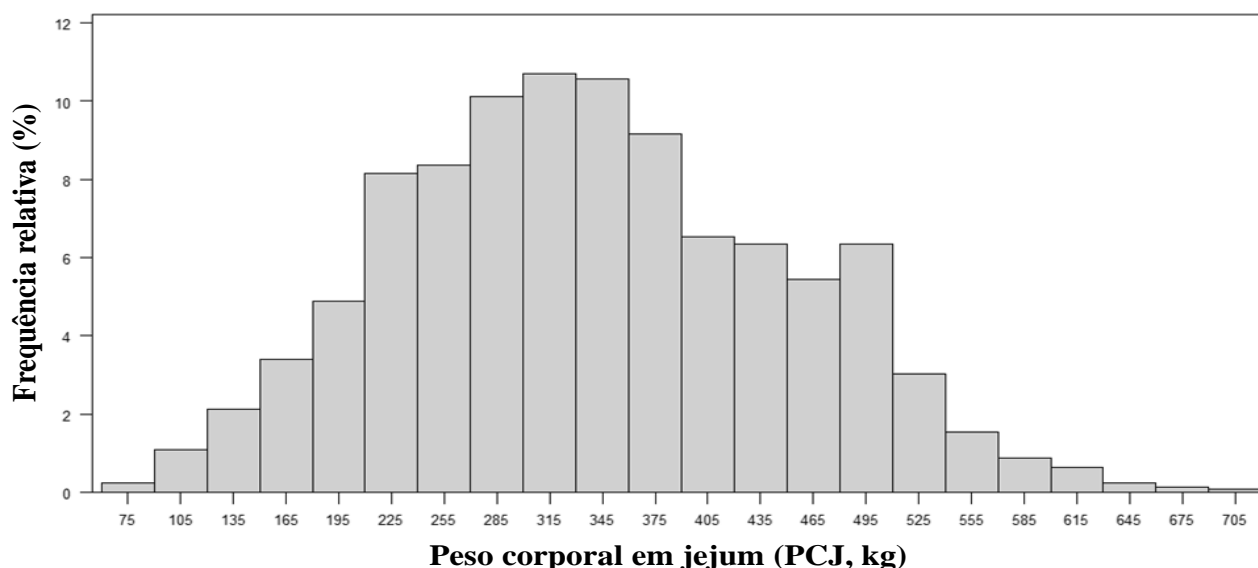


Figura 1.1 - Histograma da distribuição de frequências da variável PCJ.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

medidas haviam sido tomadas com um dia de diferença.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Eq. 1.11

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## REFERÊNCIAS

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

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