

MARCELO MESSIAS DUARTE CASTRO

**EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA E PROTEÍNA DE NOVILHAS E
DE MACROMINERAIS DE BEZERROS LEITEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C279c
2017

Castro, Marcelo Messias Duarte, 1989-

Exigências nutricionais de energia e proteína de novilhas e
de macrominerais de bezerros leiteiros / Marcelo Messias Duarte
Castro. – Viçosa, MG, 2017.

ix, 82f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Marcos Inácio Marcondes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Bovino. 2. Nutrição animal. 3. Energia metabolizável.
4. Bovino - Registro de desempenho. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-graduação
em Zootecnia. II. Título.

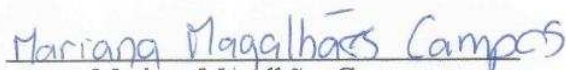
CDD 22. ed. 636.0852

MARCELO MESSIAS DUARTE CASTRO

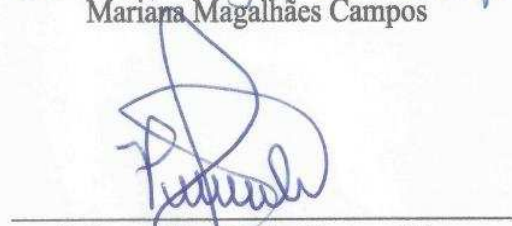
**EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA E PROTEÍNA DE NOVILHAS E
DE MACROMINERAIS DE BEZERROS LEITEIROS**

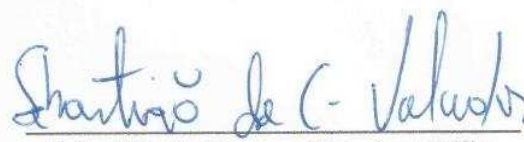
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 21 de fevereiro de 2017.


Mariana Magalhães Campos


Mario Luiz Chizzotti


Polyana Pizzi Rotta Costa e Silva
(Coorientadora)


Sebastião de Campos Valadares Filho
(Coorientador)


Marcos Inácio Marcondes
(Orientador)

Dedico,

Aos meus pais Sebastião Rocha Castro e Vera Lúcia Lopes Duarte Rocha , por serem meu porto seguro, exemplos de vida e por te sido os grandes responsáveis para que eu chegasse até aqui.

As minhas irmãs Janaína e Greisse Kelli, pelo incentivo, apoio e por acreditarem nesse sonho.

A minha filha Cecília a minha esposa Gilvanelha, por serem os alicerces da minha vida e por me apoiarem todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, por sempre acreditarem no meu sonho.

Aos meus amigos Douglas, Maurílio, Marcelo (Marcelinho) e Tadeu, pelo companheirismo nos momentos de descontração, mas também nos momentos de dificuldade.

Aos meus amigos de São Bento: Gilson, Isaac, Samuel e Wallysson pela amizade e pelos momentos de descontração.

Aos meus amigos e parceiros de equipe Alex, João Paulo e Ronan, pela amizade e por toda ajuda.

A Universidade Federal de Viçosa, em especial o Departamento de Zootecnia por todas as oportunidades oferecidas e pela excelência no ensino.

A toda equipe da UEPE-GL, pela amizade e por estarem sempre à disposição para ajudar.

A toda equipe do Programa Família do Leite, pela amizade e aprendizado que juntos construímos ao longo desse período de trabalho.

Ao Prof. Sebastião de Campos Valadares Filho, Prof. Mario Luiz Chizzotti, Prof. Polyana Pizzi Rotta e a Pesquisadora Dra. Mariana Magalhães Campos por aceitarem o convite para compor a banca de defesa.

Ao professor Marcos Inácio Marcondes, pela orientação, paciência, por todos os ensinamentos, confiança e pela oportunidade de realizar este trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
Introdução geral.....	1
Referências Bibliográficas.....	5
CAPÍTULO 1	9
Energy and protein requirements of crossbred (Holstein × Gyr) post-weaning heifers	9
Resumo:	9
Abstract:	11
Introduction	12
Material And Methods	13
Results.....	20
Discussion.....	23
Implications	28
References	29
CAPÍTULO 2	43
Exigências nutricionais de macrominerais de bezerros leiteiros	43
Resumo	43
Abstract:	45
Introdução	47
Material e Métodos.....	48

Resultados	53
Discussão	54
Implicações.....	65
Referências bibliográficas	66

RESUMO

CASTRO, Marcelo Messias Duarte, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Exigências nutricionais de energia e proteína de novilhas e de macrominerais de bezerros leiteiros.** Orientador: Marcos Inácio Marcondes. Coorientadores: Polyana Pizzi Rotta Costa e Silva e Sebastião de Campos Valadares Filho.

A presente dissertação foi elaborada com base em dois estudos. O primeiro estudo, objetivou-se estimar as exigências nutricionais de energia e proteína para novilhas cruzadas Holandês × Gir criadas em condições tropicais. Foram utilizadas vinte e duas novilhas cruzadas Holandês × Gir, com peso corporal médio inicial de $102,2 \pm 3,4$ kg e idade 3,5 meses. Foi utilizada a técnica de abate comparativo, sendo quatro animais designados ao grupo referência, abatidos no início do experimento para estimar a composição corporal e o peso de corpo vazio inicial (PCVZi). O restante dos animais foi distribuído aleatoriamente entre os tratamentos segundo delineamento inteiramente casualizados, sendo estes constituídos por: alto ganho (AG - 1,0 kg/dia), baixo ganho (BG - 0,5 kg/dia) e próximo a manutenção (MA - 0,1 kg/dia). No final do experimento, todos animais foram abatidos para a determinação do peso de corpo vazio (PCVZ) e conteúdo de energia e proteína. As exigências de energia líquida (EL_m) e metabolizável (EM_m) para manutenção foram de 70,0 e 110,0 kcal/PCVZ^{0,75}/d, respectivamente. A eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção (k_m) foi de 63,64%. A equação ajustada para estimar as exigências de energia líquida para ganho (EL_g) foi: $EL_g = 0,072 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,0601}$. A eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho (k_g) foi de 32,03%. A proteína metabolizável de manutenção (PM_m) foi de 3,82 g/PCVZ^{0,75}/d. A equação ajustada para estimar as exigências de proteína líquida para ganho (PL_g) foi: $PL_g = 243,65 \times PCVZ^{-0,091} \times GPCVZ$. A eficiência de uso da proteína metabolizável para ganho (k) foi de 47,64%. Foi observado diferenças quanto as exigências nutricionais de EL_m , PL_g e EL_g , assim como na k_g e k , comparado a outros sistemas. Desta forma, conclui-se que as estimativas das exigências nutricionais de energia e proteína para novilhas cruzadas Holandês × Gir criadas em condições tropicais podem ser calculadas baseadas nas equações propostas no presente estudo. O segundo estudo, objetivou-se estimar as exigências nutricionais dos macrominerais cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na) de bezerros leiteiros cruzados Holandês × Gir e Holandês, por meio de meta-análise,

utilizando dados de 5 estudos desenvolvidos na Universidade Federal de Viçosa. . Foram avaliados um total de 210 bezerros, sendo estes separados em dois grupos genéticos, aqueles que apresentavam grau de sangue superior a 87,5% de Holandês considerados puros e os demais cruzados Holandês × Gir. Foi utilizada a técnica de abate comparativo para estimar a composição corporal dos animais, sendo trinta animais designados ao grupo referência. As exigências de minerais para manutenção foram estimados pela regressão do mineral retido em função do mineral ingerido e as exigências dos minerais para ganho foram obtidas a partir da primeira derivada da equação do conteúdo de mineral no corpo, sendo testado o efeito classificatório de raça sobre o intercepto e inclinação dos modelos. Não foi observado efeito de grupo genético para nenhuma variável analisada ($P>0,05$). As exigências líquidas de manutenção encontradas foram: 12,73, 11,805, 20,280, 3,500 e 6,373 mg/PCVZ/dia para o Ca, P, K, Mg e Na, respectivamente. O coeficiente de retenção encontrado foi de 73,18%, 65,20%, 13,16%, 29,55% e 24,28% para Ca, P, K, Mg e Na, respectivamente. As equações sugeridas para estimar as exigências líquidas de ganho (g/dia) foram: $ELG_{Ca} = 14,402 \times PCVZ^{-0,139} \times GPCVZ$, $ELG_P = 5,849 \times PCVZ^{-0,027} \times GPCVZ$, $ELG_K = 1,140 \times PCVZ^{-0,048} \times GPCVZ$, $ELG_{Mg} = 0,603 \times PCVZ^{-0,036} \times GPCVZ$ e $ELG_{Na} = 1,508 \times PCVZ^{-0,045} \times GPCVZ$, para Ca, P, K, Mg e Na, respectivamente. Em virtude da alta variação entre os dados aqui encontrados e os da literatura, sugere-se a elaboração de mais estudos, validando as estimativas aqui encontradas e verificando efeitos a longo prazo com os valores sugeridos.

ABSTRACT

CASTRO, Marcelo Messias Duarte, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Nutrient requirements of energy and protein of heifers and macrominerals of dairy calves.** Adviser: Marcos Inácio Marcondes. Co-advisers: Polyanna Pizzi Rotta Costa e Silva and Sebastião de Campos Valadares Filho.

This dissertation was based on two studies. In the first one, the objective of this study was to estimate the nutrient requirements (energy and protein) of crossbred Holstein × Gyr heifers under tropical conditions. For this, we used 22 ± 3.5 -month-old crossbred Holstein × Gyr heifers with an initial body weight (BW) of 102.2 ± 3.40 kg. The comparative slaughter technique was used: four animals were assigned to the reference group, slaughtered at the beginning of the experiment to estimate the body composition and the initial empty body weight (iEBW). The remaining animals were randomly assigned to one of three treatments: high body weight (BW) gain (HG – 1.0 kg/day), low BW gain (LG – 0.5 kg/day) and close to maintenance (MA – 0.1 kg/day). At the end of the experiment, all animals were slaughtered to determine empty BW (EBW) and energy and protein contents. The net energy requirements for maintenance (NE_m) and metabolisable energy requirements for maintenance (ME_m) were 70.0 and 110.0 kcal/EBW^{0.75}/d respectively. The efficiency of the use of metabolisable energy for maintenance (k_m) was 63.64%. The equation adjusted to estimate the net energy requirements for gain (NE_g) was: $NE_{g(Mcal/d)} = 0.072 \times EBW^{0.75} \times EBG^{0.601}$. The observed efficiency of the use of metabolizable energy for gain (k_g) was 32.04%. The requirements of metabolizable protein for maintenance (MP_m) was 3.82 g/EBW^{0.75}/d. The equation adjusted to estimate the net protein requirements for gain (NP_g) was: $NP_g(g/d) = 243.65 \times EBW^{-0.091} \times EBG$. The efficiency of the use of metabolizable protein for gain (k) was 47.64%. Differences were observed in the nutritional requirements of NE_m , NE_g and NP_g , as well as in k_g and k , when compared to other systems. Based on our findings, we propose that the energy and protein requirements of crossbred Holstein × Gyr heifers should be calculated based on the equations proposed in this study. The second study, objective was to estimate the mineral requirements of calcium (Ca), phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg) and sodium (Na) for Holstein and crossbred Holstein × Gyr dairy calves, using data from 5 studies developed at Federal University of Viçosa. A total of 210 calves were

evaluated, which were separated into two genetic groups, animals with a blood level higher than 87.5% of Holstein were considered pure and the other crossbreed Holstein × Gyr. The comparative slaughter technique was used to estimate animal body composition, and thirty animals were assigned to the reference group. The mineral requirements for maintenance were estimated by the regression of the mineral retained as a function of the ingested mineral and minerals requirements for gain were obtained from the first derivative of the equation of the mineral content in the body, and the classificatory effect of breed was tested on intercept and inclination of models. Effect of genetic group was not observed for any variable analyzed ($P > 0.05$). Net requirements for maintenance were: 12.73, 11.805, 20.280, 3.500 and 6.373 mg / PCVZ / day for Ca, P, K, Mg and Na, respectively. Coefficient of retention was 73.18%, 65.20%, 13.16%, 29.55% and 24.28% for Ca, P, K, Mg and Na, respectively. The following equations were used to estimate net requirements for gain (g/day): $NRG_{Ca} = 14.402 \times EBW^{-0.139} \times EBG$, $NRG_P = 5.849 \times EBW^{-0.027} \times EBG$, $NRG_K = 1.140 \times EBW^{-0.048} \times EBG$, $NRG_{Mg} = 0.603 \times EBW^{-0.036} \times EBG$ e $NRG_{Na} = 1.508 \times EBW^{-0.045} \times EBG$, for Ca, P, K, Mg and Na, respectively. Due to the high variation between the data found in the present study and those in the literature, it is suggested that further studies should be carried out, to validate the estimates of this study and to verify long-term effects with the suggested values.

Introdução geral

A obtenção de estimativas verossímeis de exigências nutricionais dos animais é imprescindível, pois possibilita aos nutricionistas formular dietas que fornecem as quantidades necessárias de cada nutriente para atendimento das demandas de manutenção e produção, levando à maior eficiência alimentar. Em adição, obtém-se também maior eficiência ambiental, diminuindo a excreção de substâncias potencialmente poluidoras, como exemplo a excreção de ureia (Klemesrud et al., 2000), possibilitando assim a redução da contaminação do meio ambiente.

Existe uma lacuna de conhecimento quanto às exigências nutricionais de novilhas leiteiras criadas sob condições tropicais, por isso, dietas formuladas para essa categoria, no Brasil, são baseadas nas exigências estimadas por sistemas internacionais, tais como AFRC (1993), CSIRO (2007), INRA, (1988) e NRC (2001). Destaque deve ser dado a este último, pois é claramente o mais utilizado. Entretanto, as estimativas do NRC (2001) foram obtidas em condições de clima temperado, com animais de composição genética, alimentação e manejo diferente das encontradas nas condições tropicais.

O ambiente é possivelmente uma das variáveis que mais afeta as respostas dos animais. Em condições tropicais dificilmente terão estresse por frio, entretanto o estresse por calor é inevitável e, frequente, promove redução no consumo de matéria seca, aumento frequência respiratória e na taxa de batimentos cardíacos, aumentando a exigência de energia para controlar a temperatura corporal BR-CORTE2.0 (2010). Isso indica que as exigências nutricionais de novilhas criadas em condições tropicais podem ser diferentes daquelas de novilhas criadas em clima temperados (Almeida et al., 2001).

Contudo, não existem trabalhos que mostram as diferenças nas exigências entre novilhas leiteiras criadas em condições de clima tropical e temperado.

Outro fator relevante é a composição genética do rebanho, pois as estimativas do NRC (2001) foram obtidas com animais *Bos taurus* e a maior parte do rebanho leiteiro do Brasil é constituído por animais cruzados *Bos indicus* x *Bos taurus* (Pádua et al., 2003). Animais com composição genética distintas apresentam diferentes exigências nutricionais, tanto de energia quanto de proteína. Tal fato pode ser justificado pela proporção de gordura e proteína no ganho, uma vez que a proporção de gordura e proteína no ganho irá determinar as exigências nutricionais de energia e proteína (Garret et al., 1959). Outro fato relevante é que animais cruzados possivelmente apresentam exigência de energia para manutenção 10% inferior comparados a animais *Bos taurus* NRC (2000). Portanto, a formulação de dietas para animais com base nas estimativas desses sistemas internacionais pode levar a imprecisão, comprometendo o desempenho produtivo e a eficiência do sistema.

Os minerais, apesar de serem encontrados em pequenas concentrações no corpo quando comparados a outros nutrientes como gordura e proteína, desempenham funções essenciais no organismo, tais como função estrutural, fisiológico, catalítica, regulatória e de resposta imune (Sutle, 2010; Wilson et al., 2016). Dessa forma, a deficiência destes pode comprometer o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais (Miranda et al., 2006).

Embora os minerais sejam muito importantes, as informações disponíveis na literatura referentes às exigências nutricionais de minerais para bezerros criados em condições tropicais são escassas (Signoretti et al., 1999; Fonseca et al., 2012) sendo que não existem estudos na literatura que predizem as estimativas das exigências de

minerais para bezerros cruzados Holandês × Gir criados em condições tropicais. Como consequência, o balanceamento de dietas para bezerros leiteiros se baseia em estimativas de exigências nutricionais obtidas por conselhos internacionais (ARC, 1980; AFRC, 1991; NRC, 2001, CSIRO, 2007), sendo o mais utilizado o NRC (2001), porém este sugere recomendações fixas das concentrações dos minerais na dieta de bezerros, independente do peso corporal, composição genética e desempenho dos animais. Adicionalmente, esses conselhos não remetem as condições tropicais, considerando-se o padrão genético predominante dos animais, os alimentos utilizados e o ambiente (Borges et al., 2007). Para regiões tropicais, tem-se desenvolvido o sistema BR-CORTE 3.0 (2016), entretanto este é voltado para gado de corte, sendo suas estimativas obtidas com animais adultos e de maior peso corporal. Dessa forma considera-se não adequado a utilização desse sistema para cálculo das estimativas das exigências nutricionais de minerais para bezerros leiteiros jovens.

Os conselhos ARC (1980); AFRC (1991); NRC (2001) e CSIRO (2007) predizem as exigências nutricionais de macrominerais para bezerros fundamentados em poucos e antigos estudos (Moulton et al., 1922; Ellenberg et al., 1950; Hansard et al., 1957; Schuls et al., 1975; Grace et al., 1983; Gueguen et al., 1989), os quais não passaram por revisão nos últimos anos. Sabe-se que os rebanhos leiteiros passaram por intensa seleção genética ao longo dos anos (Oltenacu & Broom, 2010), a qual promoveu elevação no desempenho, com prováveis alterações nas exigências nutricionais dos animais. Adicionalmente, ocorreu uma marcante evolução relacionada à alimentação dos bezerros a qual passou do método convencional que era usado antigamente de 4 litros/dia (Khan et al., 2007) para volumes superiores a 8 litros/dia ou fornecimento *ad libitum*, o qual promove melhor desempenho dos animais (Jasper & Weary, 2002). A evolução na composição genética dos animais, aliada às melhores condições de manejo

sanitário e nutricional, pode ter tornado inadequadas à utilização dessas estimativas antigas para os animais atuais.

Diante da escassez de informação de estimativas das exigências nutricionais de energia e proteína para novilhas na fase pós desmama e de minerais para bezerros criados em condições tropicais, objetivou-se com esse estudo estimar as exigências nutricionais de energia e proteína para novilhas cruzadas Holandês × Gir e dos macrominerais cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na) para manutenção e crescimento de bezerros leiteiros cruzados Holandês × Gir e holandeses criados em condições tropicais. Baseado nas hipóteses que as exigências nutricionais de novilhas cruzadas criadas em condições tropicais são diferentes de animais holandeses puros, criados em condições de clima temperado e que as exigências de macrominerais de bezerros holandeses são diferentes de bezerros cruzados Holandês × Gir quando criados sob mesmas condições climáticas. Além disso, hipotetizou-se que as estimativas dos conselhos internacionais, especialmente o NRC (2001) e BR-CORTE 3.0 (2016) não são adequadas para bezerros Holandês × Gir e holandeses criados em condições tropicais.

Referências Bibliográficas

- Agricultural And Food Research Council (AFRC). 1991. Technical committee on responses to nutrients, Report 6. A reappraisal of the calcium and phosphorous requirements of sheep and cattle. *Nut. Abs. Rev.*, 61(9):576-612.
- Agricultural Research Council (ARC). 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Agricultural Research Council, The Gresham Press, London, UK.
- AFRC. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. Agricultural and Food Research Council/CAB International, Wallingford, UK.
- Almeida, M. I. V., C. A. A. Fontes, F. Q. Almeida, S. C. Valadares Filho, and O. F. Campos. 2001. Conteúdo corporal e exigências líquidas de energia e proteína de novilhos mestiços Holandes $\times$ Gir em ganho compensatório. *Rev. Bras. Zootec.* 30:205–214. [https:// doi.org/10.1590/S1516-35982001000100029](https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000100029).
- CSIRO. 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Collingwood, Australia
- Ellenberger, H.B., Newlander, J.A., Jones, C.H. Composition of the boies of dairy cattle. *Vermont Agr. Exp. Sta. Bull.* 1950;558.
- Fonseca, M.A., S.D.C. Valadares Filho, L.T. Henriques, P.V.R. Paulino, E. Detmann, E.A. Fonseca, P.D.B. Benedeti, and L.D. da Silva. 2012. Nutritional requirements of nursing Nellore calves *Rev. Bras. Zootec.* 41:1212–1221. doi:10.1590/S1516-35982012000500019.
- Garrett, W.N., J.H. Meyer, and G.P. Lofgreen. 1959. The Comparative Energy Requirements of Sheep and Cattle for Maintenance and Gain. *J. Anim. Sci.* 18:528.

doi:10.2527/jas1959.182528x.

- Grace, N.D., F. Castillo-Alcala, and P.R. Wilson. 1983. Amounts and distribution of mineral elements associated with liveweight gains of grazing red deer (*Cervus elaphus*). *New Zeal. J. Agric. Res.* 51:439–449. doi:10.1080/00288230809510473.
- Gueguen, L., M. Lamand, and F. Meschy. 1989. Mineral requirements. Pp. 49– 56 in *Ruminant Nutrition: Recommended Allowances and Feed Tables*, R. Jarrige, ed. Institut National de la Recherche Agronomique.
- Hansard, S. L., H. M. Crowder, W. A. Lyke. 1957. The Biological Availability of Calcium in Feeds for Cattle. *J. Anim. Sci.* 16:437-443. 1957.
- INRA. 1988. *Alimentation des bovines, ovins, et caprins*. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris, France.
- Jasper, J., and D.M. Weary. 2002. Effects of ad libitum milk intake on dairy calves.. *J. Dairy Sci.* 85:3054–3058. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74391-9.
- Khan, M.A., H.J. Lee, W.S. Lee, H.S. Kim, K.S. Ki, T.Y. Hur, G.H. Suh, S.J. Kang, and Y.J. Choi. 2007. Structural Growth, Rumen Development, and Metabolic and Immune Responses of Holstein Male Calves Fed Milk Through Step-Down and Conventional Methods. *J. Dairy Sci.* 90:3376–3387. doi:10.3168/jds.2007-010.
- Klemesrud, M.J., T.J. Klopfenstein, R.A. Stock, A.J. Lewis, and D.W. Herold. 2000. Effect of dietary concentration of metabolizable lysine on finishing cattle performance. *J. Anim. Sci.* 78:1060–1066.
- Miranda, E.N., A.C. De Queiroz, R.D.P. Lana, R. Mello, A.G. Júnior, F.D. De Resende, and G.F. Alleoni. 2006. Body composition and nutritional requirements of macrominerals of genetically selected Caracu and Nellore and ordinary Nellore

- young bulls. Rev. Bras. Zootec.
- Moulton, C., P. Trowbridge, and L. Haigh. 1922. Studies in Animal Nutrition II: Changes in proportion of carcass and offal on different planes of nutrition.
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 2001. Nutrients Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Padua, J.T., M.P. De Oliveira, L.A.F. Da Silva, L.D.S. Vieira, E.J. Figueirêdo, D.C.S.P. Morales, L.H.D. Carrijo, and A.F.D.C. Martins. 2003. Efeito De Métodos De Castração E Do Uso De Vermífugos Sobre O Ganho Em Peso De Bovinos Cruzados Leiteiros. *Ciência Anim. Bras.* 4:33–43.
- Schulz, E, H. J. Oslage, R. Daenicke.1975. Body composition and deposition of nutrients and energy in growing, fattening bulls. *Fortschritte in der Tierphysiologie und Tierernährung* No. 4, 70.
- Signoretti, R.D., J.F.C. da Silva, S. de C. Valadares Filho, J.C. Pereira, G.G.L. de Araújo, P.R. Cecon, and A.C. de Queiroz. 1999. Body composition and net and dietary inorganic macroelements (Ca, P, Mg, K and Na) requirements of Holstein calves fed diets with different levels of forage. *Rev. Bras. Zootec.* 28:205–213. doi:10.1590/S1516-35981999000100029.
- Suttle, N. 2010. Mineral Nutrition of Livestock. N. Suttle, ed. CABI, Wallingford.
- Valadares Filho, S. C., M. I. Marcondes, M. L. Chizzotti, and P. V. R. Paulino. 2010. Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle—BR-CORTE 2.0. Suprema Grafica e Editora, Visconde do Rio Branco. MG, Brazil. <http://www.brcorte.com.br/br/>.

Wilson, B.K., M. Vazquez-Anon, D.L. Step, K.D. Moyer, C.L. Haviland, C.L. Maxwell, C.F. O'Neill, C.A. Gifford, C.R. Krehbiel, and C.J. Richards. 2016. Effect of copper, manganese, and zinc supplementation on the performance, clinical signs, and mineral status of calves following exposure to bovine viral diarrhea virus type 1b and subsequent *Mannheimia haemolytica* infection. *J. Anim. Sci.* 94:1123–1140. doi:10.2527/jas2015-9503.

CAPÍTULO 1

Energy and protein requirements of crossbred (Holstein × Gyr) post-weaning heifers

Resumo:

Objetivou-se estimar as exigências nutricionais de energia e proteína para novilhas cruzadas Holandês × Gir criadas em condições tropicais. Foram utilizadas vinte e duas novilhas cruzadas Holandês × Gir, com peso corporal médio inicial de $102,2 \pm 3,4$ kg e idade 3,5 meses. Foi utilizada a técnica de abate comparativo, sendo quatro animais designados ao grupo referência, abatidos no início do experimento para estimar a composição corporal e o peso de corpo vazio inicial (PCVZi). O restante dos animais foi distribuído aleatoriamente entre os tratamentos segundo delineamento inteiramente casualizados, sendo estes constituídos por: alto ganho (AG - 1,0 kg/dia), baixo ganho (BG - 0,5 kg/dia) e próximo a manutenção (MA - 0,1 kg/dia). No final do experimento, todos animais foram abatidos para a determinação do peso de corpo vazio (PCVZ) e conteúdo de energia e proteína. As exigências de energia líquida (EL_m) e metabolizável (EM_m) para manutenção foram de 70,0 e 110,0 kcal/PCVZ^{0,75}/d, respectivamente. A eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção (k_m) foi de 63,64%. A equação ajustada para estimar as exigências de energia líquida para ganho (EL_g) foi: $EL_g = 0,072 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,0601}$. A eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho (k_g) foi de 32,03%. A proteína metabolizável de manutenção (PM_m) foi de 3,82 g/PCVZ^{0,75}/d. A equação ajustada para estimar as exigências de proteína líquida para ganho (PL_g) foi: $PL_g = 243,65 \times PCVZ^{-0,091} \times GPCVZ$. A eficiência de uso da proteína metabolizável para ganho (k) foi de 47,64%. Foi observado diferenças quanto as exigências nutricionais de EL_m , PL_g e EL_g , assim como na k_g e k , comparado a outros sistemas. Desta forma, conclui-se que as estimativas das exigências

nutricionais de energia e proteína para novilhas cruzadas Holandês × Gir criadas em condições tropicais podem ser calculadas baseadas nas equações propostas no presente estudo.

Palavras chave: energia metabolizável, ganho, manutenção, proteína metabolizável

Abstract:

The objective of this study was to estimate the nutrient requirements (energy and protein) of crossbred Holstein $\times$ Gyr heifers under tropical conditions. For this, we used 22 ± 3.5 -month-old crossbred Holstein $\times$ Gyr heifers with an initial body weight (BW) of 102.2 ± 3.40 kg. The comparative slaughter technique was used: four animals were assigned to the reference group, slaughtered at the beginning of the experiment to estimate the body composition and the initial empty body weight (iEBW). The remaining animals were randomly assigned to one of three treatments: high body weight (BW) gain (HG – 1.0 kg/day), low BW gain (LG – 0.5 kg/day) and close to maintenance (MA – 0.1 kg/day). At the end of the experiment, all animals were slaughtered to determine empty BW (EBW) and energy and protein contents. The net energy requirements for maintenance (NE_m) and metabolisable energy requirements for maintenance (ME_m) were 70.0 and 110.0 kcal/EBW^{0.75}/d respectively. The efficiency of the use of metabolisable energy for maintenance (k_m) was 63.64%. The equation adjusted to estimate the net energy requirements for gain (NE_g) was: $NE_g \text{ (Mcal/d)} = 0.072 \times EBW^{0.75} \times EBG^{0.601}$. The observed efficiency of the use of metabolizable energy for gain (k_g) was 32.04%. The requirements of metabolizable protein for maintenance (MP_m) was 3.82 g/EBW^{0.75}/d. The equation adjusted to estimate the net protein requirements for gain (NP_g) was: $NP_g \text{ (g/d)} = 243.65 \times EBW^{-0.091} \times EBG$. The efficiency of the use of metabolizable protein for gain (k) was 47.64%. Differences were observed in the nutritional requirements of NE_m , NE_g and NP_g , as well as in k_g and k , when compared to other systems. Based on our findings, we propose that the energy and protein requirements of crossbred Holstein $\times$ Gyr heifers should be calculated based on the equations proposed in this study.

Key words: gain, maintenance, metabolizable energy, metabolizable protein

Introduction

Obtaining reliable estimates of the nutrient requirements of animals is essential, as it enables nutritionists to formulate diets that provide the necessary amounts of each nutrient to meet the requirements of maintenance and production, leading to greater feed efficiency. In addition, a higher environmental efficiency is obtained by reducing the excretion of potentially polluting substances, such as nitrogen excretion (Klemesrud et al., 2000), thus enabling a reduction of environmental contamination.

There is a lack of knowledge about the nutritional requirements of dairy heifers managed under tropical conditions. Therefore, diets formulated for this category in Brazil are based on the requirements estimated by international systems, such as INRA (1988) AFRC (1993), CSIRO (2007), and NRC (2001), with the latter being most used. However, the NRC (2001) estimates were obtained under temperate climate conditions, with animals of a different genetic composition, and with different feeding and management than those found in tropical regions.

The environment greatly affects animal responses. In tropical conditions, animals are unlikely to suffer from cold stress. However, heat stress is inevitable and often results in a reduction in the intake and increased respiratory and heart rates, thereby increasing energy requirements to control body temperature (BR-Corte 2.0, 2010). Thus, the nutrient requirements of heifers reared under tropical conditions may differ from those managed in temperate climates (Almeida et al., 2001). However, there are no studies demonstrating differences in the requirements among dairy heifers reared in tropical and temperate climate conditions.

Another relevant factor is the herd genetic composition. The estimates of NRC (2001) were obtained from *Bos taurus*, but most of Brazil's dairy herds now consist of

crossbred *Bos indicus* × *Bos taurus* (Padua et al., 2003). Animals with different genetic composition have different nutrient requirements, both for energy and protein. This fact can be explained by the proportion of fat and protein in the gain since this will determine the nutrient requirements of energy and protein (Garrett et al., 1959). Also, crossbred animals might have an energy requirement for maintenance that is 10% lower than *Bos taurus* (NRC, 2000). Therefore, the diet formulation for animals in tropical conditions, based on NRC (2001), might be suboptimal, compromising performance and efficiency.

Based on the need of a better estimation of nutrient requirements for heifers in the post-weaning stage reared under tropical conditions, the objective of this study was to estimate the energy and protein nutrient requirements for crossbred Holstein × Gyr heifers raised under tropical conditions based on the hypothesis that their nutrient requirements are different from heifers raised under temperate conditions, estimated by international councils.

Material And Methods

The study was conducted at the Animal Science Department of the Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil, and was approved by the ethics committee for the use of animals of the institution under protocol nº. 20/2015.

Twenty-two crossbred Holstein × Gyr heifers with an average initial body weight (BW) of 102.2 ± 3.4 kg were used. Heifers were individually housed and fed for the duration of the 84 days experiment. Before the start of the experiment, all heifers were allowed *ad libitum* access to a corn silage based diet and concentrate (corn, soybean meal and minerals) for 14 days to acclimation to the location and diets, and minimize potential compensatory gain effects during the treatment period.

Four heifers were randomly selected to represent the reference group and slaughtered at the beginning of the experiment, to measure the empty body weight (**EBW**) and to estimate the initial EBW (**iEBW**) composition of the remaining experimental heifers. The remaining 18 heifers were randomly assigned to one of three nutrient intake levels ($n = 6$ per treatment) designed to sustain an average daily gain (**ADG**) of the 1.0 kg/day (high gain, **HG**), 0.5 kg/day (low gain, **LG**), or close to 0.0 kg/day (maintenance, **MA**). The aim was to achieve protein and energy retentions of close to zero in the MA animals, improving the adjustment of estimates of protein and energy requirements for maintenance.

All heifers were fed twice daily at 08:00 and 16:00, and received a single diet throughout the experimental period, which was formulated according to NRC (2001) to meet the nutrient requirements of an animal of 150 kg with an ADG of 1.0 kg (Table 1). The animals of the LG and MA treatments received limited feed based on their energy demand. In the HG treatment, the consumption was controlled to provide orts of a maximum of 5% of the supplied. Every 14 days, all heifers were weighed and the amount of dry matter intake (**DMI**) adjusted before the morning feeding.

Silage and orts (from HG) were sampled once a week. Every 21 days, all samples were collected to obtain a single representative sample of approximately 300 g for analysis of the chemical composition of the diet provided in each period. The concentrate feedstuffs (soybean meal, bypass soybean meal, ground corn, urea, and mineral mix) were collected for analysis at the time the concentrate was manufactured.

Two digestibility trials were performed on days 25 to 27 and days 53 to 55. Total fecal sampling was performed for three consecutive days. At every 24 h, the total stool was weighed, homogenized, and sampled. At the end of the three days of sampling, a

pooled sample was made for each animal according to the amount of dry matter (**DM**) excreted daily.

Samples of orts, feces and silage were weighed, dried in a forced-ventilation oven at 55°C for 72 h, and milled in a knife-type mill using a sieve with a 1 mm mesh and subjected to analysis of DM (AOAC, 1990; method 930.15), ash (AOAC, 1990; method 924.05), crude protein (**CP**) (AOAC, 1990; method 984.13), ether extract (**EE**) (AOAC, 1990; method 920.39) and neutral detergent fiber corrected for ash and protein (**NDF_{ap}**) INCT-CA method G-002/1, described in Detmann et al. (2012).

The non-fibrous carbohydrates (**NFC**) contents in diet, feces and orts were calculated as proposed by Detman and Valadares Filho (2010), using the following equation:

$$\text{[Equation 1]} \quad \text{NFC} = 100 - (\text{NDF}_{ap} + (\text{CP} - \text{CP}_u + \text{U}) + \text{EE} + \text{MM})$$

where: NFC = non-fibrous carbohydrates (g/kg); NDF_{ap} = neutral detergent fiber corrected for contaminant ash and protein (g/kg); CP = crude protein (g/kg); CP_u = crude protein urea-derived (g/kg); U = urea content (g/kg); EE = ether extract (g/kg), and MM = mineral matter (g/kg).

The digestible energy (**DE**) concentration was calculated by multiplying the digestible fraction of each component by its respective caloric value (ARC, 1980).

$$\text{[Equation 2]} \quad \text{DE} = 5.6 \times d\text{CP} + 9.4 \times d\text{EE} + 4.2 \times d\text{NFC} + 4.2 \times d\text{NDF}_{ap}$$

where: DE = digestible energy (Mcal/kg); dCP = digestible crude protein (kg/kg); dEE = digestible ether extract (kg/kg); dNFC = digestible non-fibrous carbohydrates (kg/kg), and dNDF_{ap} = digestible neutral detergent fiber corrected for ash and protein (kg/kg).

The metabolizable energy content was estimated by multiplying the ED by 0.82 (NRC, 2000).

$$\text{[Equation 3]} \quad \text{ME} = \text{DE} \times 0.82$$

where: ME = metabolizable energy (Mcal/kg) and DE = digestible energy (Mcal/kg).

The metabolizable protein intake (**MPI**) was calculated as the true digestible microbial protein synthesis (**MPS**) added digestible ruminally undegraded protein. The equation proposed by BR-CORTE 3.0 (2016) (Equation 4) was used to calculate the MPS, and its true fraction and digestibility were considered as 80% (NRC 2001). The rumen undegradable protein intake was estimated as the difference between the CP intake and MPS, and its intestinal digestibility considered as 80%.

[Equation 4]
$$MCP = -53.07 + 304.9 \times CPI + 90.8 \times TDNI - 3.13 \times TDNI^2$$

where: MCP = microbial protein synthesis (kg/d); CPI = crude protein intake (kg/d); TDNI = total digestible nutrients intake (kg/d).

To estimate the nutrient requirements, the comparative slaughter technique was used. The body composition and initial empty iEBW of the reference group were used to estimate the CP, fat and organic matter (**OM**) of the remaining 18 animals.

Before slaughter, the animals were fasted for 16 h to obtain the shrunk BW (**SBW**). Animals were slaughtered using the captive bolt technique followed by jugular vein for exsanguination, followed by washing of the gastrointestinal tract (rumen, reticulum, omasum, abomasum and small and large intestines) to estimate EBW.

The carcass of each heifer was divided into two half-carcasses, which were cooled in a cold room at -4°C for 18 h. All cooled half-carcasses were weighed and ground for 20 min in an industrial grinder (the carcass components samples). The rumen, reticulum, omasum, abomasum, small intestine, large intestine, internal fat, mesentery, liver, heart, kidneys, lung, tongue, spleen, scrapings (esophagus, trachea and reproductive system), blood, and feet were ground for 20 min in an industrial grinder immediately after washing (the non-carcass components samples).

Samples of the carcass and non-carcass components were lyophilized by the INCT-CA G-002/1 method described in Detmann et al. (2012). The samples were ground in a knife-type mill and submitted to the analysis of DM (AOAC, 1990, method 930.15), ash (AOAC, 1990, method 924.05), CP (AOAC, 1990, method 984.13), and EE (AOAC, 1990, method 920.39)

The linear model was used to estimate EBW from SBW (Equation 5):

[Equation 5]
$$EBW = \beta_0 + (\beta_1 \times SBW)$$

where: EBW = empty body weight (kg); SBW = shrunk body weight (kg); β_0 and β_1 are regression parameters.

The linear model was used to estimate empty body gain (EBG) from ADG (Equation 6):

[Equation 6]
$$EBG = \beta_0 + (\beta_1 \times ADG)$$

where: EBG = empty body gain (kg/d); ADG = average daily gain (kg/d); β_0 and β_1 are regression parameters.

Body energy content was obtained from body protein and fat contents, and their respective caloric equivalents of 5.6 and 9.4 (ARC, 1980) respectively.

The net energy requirements for maintenance (NE_m) was interpreted as the intercept of the exponential regression between heat production and the metabolizable energy intake (MEI), according to the model described by Lofgreen & Garret (1968):

[Equation 7]
$$HP = \beta_0 \times e^{\beta_1 \times MEI}$$

where: HP = heat production (Mcal/EBW^{0.75}/d); MEI = metabolizable energy intake (Mcal/EBW^{0.75}/d); and β_0 and β_1 are regression parameters.

By the iterative method, the point where MEI equals HP in Equation 7 was considered the metabolizable energy requirements for maintenance (ME_m). The

efficiency of the use metabolizable energy for maintenance (k_m) was obtained from the ratio of NE_m to ME_m (NRC1996).

The net energy requirements for gain (NE_g) were estimated from the regression of retained energy (RE) as a function of EBW and EBG, following the model (NRC, 1984):

[Equation 8]
$$RE = \beta_0 \times EBW^{0.75_1} \times EBG^{\beta_1}$$

where: RE = retained energy (Mcal/d); EBW = empty body weight (kg); EBG = empty body gain (kg/d); and β_0 and β_1 are regression parameters

To estimate the metabolizable energy requirement for gain (ME_g), it is necessary to estimate the efficiency of the use of metabolizable energy for gain (k_g). The k_g was estimated as the slope of the regression coefficient (β_1) of the RE and MEI for gain, as suggested by Ferrel and Jenkins (1998):

[Equation 9]
$$RE = \beta_0 + \beta_1 \times MEI_g$$

where: RE = retained energy (Mcal/EBW^{0.75}/d); MEI_g = metabolizable energy intake for gain (Mcal/EBW^{0.75}/d), which was estimated as the difference between total MEI (Mcal/EBW^{0.75}/d) and MEI_m (Mcal/EBW^{0.75}/d); and β_0 and β_1 are regression parameters.

The requirements of metabolizable protein for maintenance (MP_m) were estimated as proposed by Wilkerson et al. (1993), by the ratio between the intercept (β_0) of the linear regression between the MPI and EBG (Equation 10), and average metabolic BW (EBW_m^{0.75}) (Equation 11; NRC, 2000).

[Equation 10]
$$MPI = \beta_0 + \beta_1 \times EBG$$

where: MPI = metabolizable protein intake; EBG = empty body gain (kg/d); and β_0 and β_1 are regression parameters.

[Equation 11]
$$MP_m = \frac{\beta_0}{EBW_m^{0.75}}$$

where: MP_m = metabolizable protein requirements for maintenance (g/kg $BW^{0.75}$); $EBW_m^{0.75}$ = average metabolic body weight and β_0 is the intercept of Equation 10.

Protein body content (**BPC**) was estimated using the allometric model according to Fortin et al. (1980):

[Equation 12]
$$BPC = \beta_0 \times EBW^{\beta_1}$$

where: BPC = body protein content (kg); EBW = empty body weight (kg); and β_0 and β_1 are regression parameters.

The net protein requirements for gain (**NP_g**) were estimated by the first derivative of Equation [12], as described by Chizzotti et al. (2007):

[Equation 13]
$$NP_g = \beta_0 \times \beta_1 \times EBW^{\beta_1-1}$$

where: NP_g = net protein for gain (g/EBW); EBW = empty body weight (kg); EBG = empty body gain (kg/d); and β_0 and β_1 are regression parameters.

The efficiency of the use metabolizable protein for gain (**k**) was calculated by the relationship between retained protein and MPI, assuming " β_1 " as *k* (Chizzotti et al., 2007):

[Equation 14]
$$RP = \beta_0 + \beta_1 \times MPI$$

where: RP = retained protein (g/EBW^{0.75}/d); MPI = metabolizable protein intake (g/EBW^{0.75}/d); and β_0 and β_1 are regression parameters

The calculation of metabolizable protein requirements for gain (**MP_g**) was obtained by dividing the NP_g by *k*.

[Equation 15]
$$MP_g = \frac{NP_g}{k}$$

where: MP_g = metabolizable protein requirements for gain (g/kg $EBW^{0.75}$ /d); NP_g = net protein requirements for gain (g/kg $EBW^{0.75}$ /d); and *k* = efficiency of the use of metabolizable protein for gain.

Finally, the efficiency of energy deposited as protein (k_p) or fat (k_f) was calculated as the inverse coefficients of β_1 and β_2 , respectively, in Equation 16 (Marcondes et al., 2011).

[Equation 16]
$$MEI = \beta_0 + \beta_1 \times \Delta_{prot} + \beta_2 \times \Delta_{fat}$$

where: MEI = metabolizable energy intake (Mcal/EBW^{0.75}); Δ_{prot} = change in body energy derived from protein; (Mcal/EBW^{0.75}); Δ_{fat} = change in body energy derived from fat (Mcal/EBW^{0.75}); and β_0 , β_1 and β_2 are regression parameters.

The intake, performance and digestibility coefficients were analyzed using PROC MIXED, where treatment was considered the fixed effect. The level of $\alpha = 0.05$ was used as the critical probability level for the occurrence of type I error. When necessary, Tukey's test was used to compare means.

The linear regression parameters were estimated using PROC MIXED. Estimates of the parameters of non-linear regressions were adjusted through the PROC NLIN SAS (9.2) using the Gauss–Newton method for parameter adjustment. For all tests, $\alpha = 0.05$ was used as the critical probability level for type I error.

Results

Performance and digestibility

The results of DMI, OM intake (OMI), MEI, feed efficiency, carcass yield, ADG, and EBG are described in Table 2. The HG had greater values ($P < 0.001$) for DMI, OMI MEI, ADG, and EBG followed by LG and MA. Feed efficiency was greater ($P < 0.001$) in the HG and LG animals compared to the MA animals. Carcass yield was not affected by treatments ($P = 0.618$).

The results of the digestibility coefficients of DMI, OM, CP, EE, NDF, and NFC are described in Table 3. The HG had lower digestibility coefficients for all variables (P

< 0.05), except for NFC, which did not differ among treatments ($P > 0.05$). LG and MA presented the same digestibility coefficients for all variables ($P > 0.05$).

Empty body weight and empty body weight gain

The intercept of the regression between SBW and EBW was not different from zero ($P = 0.55$). Thus, the equation was adjusted without the intercept, obtaining the following equation ($MSE = 21.700$; $R^2 = 0.984$):

Equation 17
$$EBW = 0.894_{\pm 0.024} \times SBW$$

where: EBW = empty body weight (kg) and SBW = shrunk body weight (kg).

The intercept of the regression between EBG and ADG was not significant ($P = 0.99$). Thus, the data were adjusted without the intercept, and the following equation was obtained ($MSE = 0.001$, $R^2 = 0.986$):

[Equation 18]
$$EBG = 0.918_{\pm 0.028} \times ADG$$

where: EBG = empty body gain and ADG = average daily gain.

Energy requirements

The NE_m was obtained as the intercept of the equation of HP as a function of MEI ($MSE = 0.00002$; $R^2 = 0.989$):

[Equation 19]
$$HP = 0.070_{\pm 0.005} \times e^{4.034_{\pm 0.262} \times CEM}$$

where: HP = heat production (Mcal/EBW^{0.75}/d) and MEI = metabolizable energy intake (Mcal/EBW^{0.75}/d).

Thus, the NE_m value observed in this study was 70.0 kcal/kg EBW^{0.75}/d. Using the iterative method, the ME_m was 110 kcal/ EBW^{0.75}/d, and k_m was 63.64%.

To estimate the NE_g , RE was regressed as a function of metabolic EBW (EBW^{0.75}) and EBG ($MSE = 0.037$; $R^2 = 0.934$):

[Equation 20]
$$NEg = 0.072_{\pm 0.003} \times EBW^{0.75} \times EBG^{0.601_{\pm 0.061}}$$

NE_g = net energy for gain (Mcal/d); EBW = empty body weight (kg) and EBG = empty body gain (kg/d).

The k_g was obtained as the slope of the regression of RE (Mcal/d) on the MEI_g (Mcal/ $EBW^{0.75}$ /d) (MSE = 0.0001; $R^2 = 0.879$).

[Equation 21]
$$RE = 0.320_{\pm 0.031} \times MEI_g - 0.022_{\pm 0.006}$$

where: RE = retained energy (Mcal/ $EBW^{0.75}$ /d); MEI_g = metabolizable energy intake for gain (Mcal/ $EBW^{0.75}$ /d)

Thus, suggested k_g value for crossbred Holstein $\times$ Gyr heifers is 32.03%.

Protein requirements

The MP_m was calculated by dividing the intercept of Equation 22, by $EBW_m^{0.75}$ of animals used in the experiment (MSE = 872.63; $R^2 = 0.988$).

[Equation 22]
$$MPI = 124.6_{\pm 15.007} + 447_{\pm 26.613} \times EBG$$

where: MPI = metabolizable protein intake and EBG = empty body gain (kg/d).

The $EBW_m^{0.75}$ was 32.64 kg and the MP_m was 3.8 g/ $EBW^{0.75}$ /d.

The equation obtained from the BPC as a function of EBW was (MSE = 1.98; $R^2 = 0.912$).

[Equação 23]
$$BPC = 0.268_{\pm 0.092} \times EBW^{0.909_{\pm 0.070}}$$

where: BPC = body protein content (kg) and EBW = empty body weight (kg).

The equation adjusted for the estimated net protein requirements for gain was obtained from the first derivative of Equation 23, multiplied by the EBG (Equation 24; MSE = 356.11; $R^2 = 0.878$):

[Equation 24]
$$NP_g = 243.65 \times EBW^{-0.091} \times EBG$$

where: NP_g = net protein for gain (g/d); EBW = empty body weight (kg); and EBG = empty body gain (kg/d).

The k was obtained as the slope of the regression between retained protein and MPI (SEM = 1.249, $R^2 = 0.788$):

[Equation 25]
$$RP = -2,280_{0,598} + 0,4764_{0,066} \times MPI$$

where: RP = retained protein (g/EBW^{0.75}/d); and MPI = metabolizable protein intake (g/EBW^{0.75}/d).

Thus, the value of k suggested for crossbred heifers × Gyr heifers is 47.64%.

Efficiency of deposition of energy as protein and fat

The k_p and k_f were calculated as the inverse of the regression parameters 5.296 and 1.434 respectively, of Equation 26 (MSE = 0.262 $R^2 = 0.790$):

[Equação 26]
$$MEI = 0.934_{\pm 0.013} + 5.296_{\pm 1.589} \times \Delta_{prot} + 1.434_{\pm 0.795} \times \Delta_{fat}$$

where: MEI = metabolizable energy intake (Mcal/EBW^{0.75}); Δ_{prot} = change in body energy derived from protein (Mcal/EBW^{0.75}); and Δ_{fat} = change in body energy derived from fat (Mcal/EBW^{0.75}).

Thus, k_p and k_f values found here were 18.88% and 69.74% respectively.

A summary of all the equations used in this study to predict the nutrient requirements for crossbred Holstein × Gyr heifers raised in tropical conditions is given in Table 4.

Discussion

Performance

As expected, DMI, MOI, MEI, ADG, and EBG were greatest ($P < 0.05$) in the HG animals, followed by the LG and MA animals. This is because the animals in the HG had *ad libitum* intake, which provided greater DMI and, consequently, higher intake of digestible nutrients. The animals in LG had a greater amount of food offered

compared to the animals of the MA treatment, which resulted in inferior values for the latter.

Feed efficiency was greater in HG and LG than HG. This is because these animals were fed a greater ratio of total MEI/ME_m (2.28 Mcal/EBW^{0.75}/d) than MA (1.28 Mcal/EBW^{0.75}/d), thus leaving a greater amount of ME available to BW gain, justifying the greater feed efficiency.

In general, there was a reduction in apparent digestibility coefficients of the analyzed variables as DMI was increased. Greater intake increases the rate of passage (Poppi, 2008; Bosa et al., 2012), resulting in a shorter time for digestion by the microbial population in the rumen (Owens and Goetsch, 1986) and contributing to lower digestibility values.

Relationship between SBW and EBW and between ADG and EBWG

The ratio obtained in this study to estimate the EBW from SBW was 0.893, which is close to the value recommended by the NRC (2001) (0.891). Both Rotta et al. (2013) and Oss et al. (2017), evaluating dairy crossbred males (Holstein × Gyr), estimated a value of 0.880, close to the value found in this study. For the relationship between ADG and EBG, the value obtained was 0.936. The value reported by the NRC (2001) is 0.956 for heifers with BW greater than 100 kg. Neves et al. (2016) and Rotta et al. (2013), evaluating dairy crossbred Holstein × Zebu (average BW of 339 kg) found values of 0.95 and 0.94 respectively. Oss et al. (2017) calculated a value of 0.934 for crossbred Holstein × Gyr steers (average BW of 235 kg). Although this study was conducted with post-weaned dairy heifers (BW =102.2 ± 3.4) the results observed for the relationships between SBW and EBW, and between ADG and EBG, were similar to those observed in the literature, thus showing that the BW of sex has little influence on

this variable. Dunklee et al. (1994) reported that dairy animals have the greatest proportion of intestinal gastric tract in BW, which tends to decrease this ratio. Thus, the effect of the breed is the main source of variation for this characteristic. However, this was not observed in our study, which differed from the trend typically described in the literature. Therefore, the suggested ratios to estimate the EBW from SBW, as well as EBG from the ADG, for crossbred Holsteins × Gyr heifers are 0.893 and 0.936 respectively.

Energy requirements

The NE_m can be considered the animal's HP when the MEI is zero (Lofgreen and Garrett, 1968). The ME_m is known to be affected by age, breed, weight, sex, physiological stage, and environmental conditions, among others (NRC, 2000). The value of NE_m of 70.0 kcal/EBW^{0.75}/d, lower than that observed by Oss et al. (2017) (74.8 kcal/EBW^{0.75}/d) for male crossbred Holsteins × Gyr. The NRC (2001) recommends a value of 77.0 kcal/EBW^{0.75}/d for *Bos taurus* growing animals, and zebu animals have a 10% lower energy requirement for maintenance than pure *Bos taurus* animals (NRC, 2000). These breed difference likely account for the lower NE_m reported here.

The NE_m value recommended by the BR-CORTE 3.0 (2016) is 75.0 kcal/EBW^{0.75} for beef zebu cattle. Although this value was conducted with Nellore, the only study found in the literature with animals of BW similar to the present study was conducted by Costa e Silva et al. (2015), who reported an NE_m value of 70.2 kcal/EBW^{0.75}. It is possible that BW is the variable that mostly affects NE_m , as heavier animals have a different body composition, leading to a discrepancy in NE_m . In

addition, De Freitas et al. (2006) and Chizzotti et al. (2008) found no genetic composition effect on the NE_m requirement, supporting this hypothesis.

Here, we calculated a k_m of 63.64%, which is similar to that suggested by NRC (2001) (65.00%). Using the equation proposed by the BR-CORTE 3.0 (2016) to calculate the k_m for crossbred dairy cattle, we obtained a value of 57.28% for the present study. Rotta et al. (2013), evaluating dairy crossbred Holstein $\times$ Gyr males, calculate a k_m of 66.00% using the equation proposed by Marcondes et al. (2010), which is similar to the value reported here. This indicates that the equation proposed by Marcondes et al. (2010), although designed for Nellore cattle, can also be applied to Holstein $\times$ Gyr dairy heifers raised under tropical conditions.

Here, we calculated NE_g values 6.7%, 24.8% and 16% greater than those of the NRC (2001), BR-CORTE 3.0 (2016), and Silva et al. (2017), respectively (Figure 1). This can be explained by genetic differences in the animals used. The animals used in the above studies all had a greater BW than the heifers used in this study. Thus, the NE_g equation proposed by these studies underestimates the energy requirements for young crossbred dairy heifers. Therefore, we suggest the use of the equation obtained in this study to estimate the requirements of NE_g for crossbred Holstein $\times$ Gyr heifers reared in tropical conditions.

Here, we calculated a k_g of 32.03%. Silva et al. (2017), evaluating Holstein $\times$ Gyr females with an average BW of 251 kg, and Oss et al. (2017), evaluating Holstein $\times$ Gyr males, with an average BW of 235 kg, calculated k_g values of 41.0% and 30.8%, respectively. This discrepancy may be because of breed effects, BW, and the gain composition animals used in these studies; lighter animals have a greater gain of protein than of fat, and fat deposition efficiency is greater than that of protein (Owens et al., 1995). To investigate this point, we calculated k_p and k_f , which we estimate as 18.88%

and 69.74% respectively. Chizzotti et al. (2008) estimated values of 34.0% and 79% for k_p and k_f and Owens et al. (1995) estimated k_p and k_f values of 47.0% and 79.0% respectively. In all studies, the k_f value was greater than the k_p , demonstrating the greater efficiency of energy deposition as fat than as protein. In addition, compared to our study, the above-cited studies all reported greater k_p and k_f values. It is important to emphasize that these studies have been developed with beef cattle, showing that these animals are more efficient at depositing tissue than dairy cattle, giving them greater potential for weight gain.

Protein requirements

The PM_m observed in this study was $3.8 \text{ g/EBW}^{0.75}/\text{d}$, close to that recommended by the NRC (2001) and BR-CORTE 3.0 (2016) (3.8 and 3.6 g/kg the $BW^{0.75}/\text{day}$ respectively). This demonstrates that the value observed in the present study could be adopted for crossbred dairy heifers. However, estimates of NP_g were lower than those recommended by the BR-CORTE 3.0 (2016), the NRC (2001), and Silva et al. (2017) (Fig. 2). The greater estimates of NP_g obtained by these studies is probably due to the fact that the equations are generated based on animals with a greater BW and when extrapolated to lighter growing animals, results in an overestimation of NP_g requirement (Fig. 2). When comparing the equation proposed here as part of our analyses against the equation proposed by Rodrigues et al. (2016) (Fig. 2), who evaluated Holstein young calves with an average BW of 51.2 kg, we noted that the equations have a close estimate of NP_g . This suggests that equations based on animals with greater BW and advanced maturity should not be used to estimate the NP_g of younger, smaller animals (up to 142 kg).

Here, we estimated a k value of 47.64%. Silva et al. (2017) reported a k value of 25% for Holstein $\times$ Gyr dairy heifers with an average BW of 251 kg. Oss et al. (2017)

reported a k value of 35.7% for growing Holstein $\times$ Gyr bulls with average BW of 235 kg. The NRC (2001) recommends the equation proposed by Ainslie et al. (1993) to calculate the k of animals with a BW of less than 478 kg, and 28.9% for animals with BW greater than 478 kg. The BR-CORTE 3.0 (2016) recommend the use of the Ainslie et al. (1993) equation to estimate the k of animals with a BW of less than 340 kg and to use a k value of 47.4% for animals with a BW greater 340 kg. Using the equation proposed by the NRC (2000) and BR-CORTE 3.0 (2016) to estimate the k of an animal with average BW of 150 kg returns values of 66% and 67% respectively. These values are greater than those reported here. However, the proposed equations were generated with animals with greater BW. We propose that the genetic composition and, thus, gain composition of the dairy heifers used this study account for the k values reported here (Blaxter et al., 1966; Garret, 1980). In general, increasing BW results in a decrease in k , and that this is because of the greater deposition of protein tissue in smaller animals (Geay, 1984). Thus, we propose the use of a k value of 47.64% for crossbred Holstein $\times$ Gyr heifers in the post-weaning phase.

Implications

Weight, breed and climate affect the protein and energy requirements of crossbred dairy heifers. In this study, differences were observed in the nutritional requirements of NE_m , NE_g and NP_g , as well as in k_g and k , when compared to other systems. Thus, based on our findings, we propose that the equations generated here should be used to estimate the energy and protein requirements for crossbred Holstein $\times$ Gyr dairy heifers raised in tropical conditions. Future studies should now address the nutrient requirements of young dairy females reared in tropical conditions.

References

- AFRC. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. Agricultural and Food Research Council/CAB International, Wallingford, UK.
- ARC. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Agricultural Research Council, The Gresham Press, London,
- Ainslie, S.J.; Fox, D.G.; perry, T.C. et al. Predicting amino acid adequacy of diets fed to Holstein steers. *J. Anim. Sci.* v.71, p.1312-1319, 1993.
- Almeida, M. I. V., C. A. A. Fontes, F. Q. Almeida, S. C. Valadares Filho, and O. F. Campos. 2001. Conteúdo corporal e exigências líquidas de energia e proteína de novilhos mestiços Holandes × Gyr em ganho compensatório. *Rev. Bras. Zootec.* 30:205–214. [https:// doi.org/10.1590/S1516-35982001000100029](https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000100029).
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Washington, DC. UK.
- Blaxter, K.L., J.L. Clapperton, and A.K. Martin. 1966. The heat of combustion of the urine of sheep and cattle in relation to its chemical composition and to diet. *Br. J. Nutr.* 20:449–460. doi:10.1079/BJN19660046.
- Bosa, R., C. Faturi, H.G.R. Vasconcelos, A.M. Cardoso, A.F.O. Ramos, and J.C. de Azevedo. 2012. Consumo e digestibilidade aparente de dietas com diferentes níveis de inclusão de torta de coco para alimentação de ovinos. *Acta Sci. - Anim. Sci.* 34:57–62. doi:10.4025/actascianimsci.v34i1.11936.
- Chizzotti, M. L., S. C. Valadares Filho, L. O. Tedeschi, F. H. M. Chizzotti, and G. E. Carstens. 2007. Energy and protein requirements for growth and maintenance of F1 Nellore x Red Angus bulls, steers, and heifers. *J. Anim. Sci.* 85:1971–1981. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-632>.

- Chizzotti, M. L., L. O. Tedeschi, and S. C. Valadares Filho. 2008. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nellore cattle. *J. Anim. Sci.* 86:1588–1597. [https:// doi.org/10.2527/jas.2007-0309](https://doi.org/10.2527/jas.2007-0309).
- Costa e Silva, L.F., T.E. Engle, S.C. Valadares Filho, P.P. Rotta, R.F.D. Valadares, B.C. Silva, and M.V.C. Pacheco. 2015. Intake, apparent digestibility, and nutrient requirements for growing Nellore heifers and steers fed two levels of calcium and phosphorus. *Livest. Sci.* 181:17–24. doi:10.1016/j.livsci.2015.09.024.
- CSIRO. 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Collingwood, Australia.
- De Freitas, J.A., A.C. De Queiroz, A.R. Dutra, R.A. Mendonça Vieira, R. De Paula Lana, F. De Paula Leonel, D.S. Henrique, A.V. De Lima, and J.C. De Souza. 2006. Net efficiency of metabolizable energy utilization of purebred and crossbred Nellore young bulls fed diets with different concentrate levels | . *Rev. Bras. Zootec.* 35.
- Detmann, E., and S. C. Valadares Filho. 2010. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 62:980–984.
- Detmann, E., M. A. Souza, and S. C. Valadares Filho. 2012. Métodos para Análises de Alimentos. 1st ed. E. Detmann, M.A. Souza, and S.C. Valadares Filho, ed. Suprema, Visconde do Rio Branco, Brazil.
- Dunklee, J.S., A.E. Freeman, and D.H. Kelley. 1994. Comparison of Holsteins Selected for High and Average Milk Production. 2. Health and Reproductive Response to Selection for Milk. *J. Dairy Sci.* 77:3683–3690. doi:10.3168/jds.S0022-0302(94)77313-6.

- Ferrell, C. L., and T. G. Jenkins. 1998. 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. *J. Anim. Sci.* 76:647–657. <https://doi.org/10.2527/1998.762647x>.
- Garrett, W.N., J.H. Meyer, and G.P. Lofgreen. 1959. The Comparative Energy Requirements of Sheep and Cattle for Maintenance and Gain. *J. Anim. Sci.* 18:528. doi:10.2527/jas1959.182528x.
- Garrett, W. N. 1980. Energy utilization by growing cattle as determined by 72 comparative slaughter experiments. *Energy Metab. Proc. Symp.* 26:3–7. Fortin, A., S. Simpfendorfer, J. T. Reid, H. J. Ayala, R. Anrique, and A. F. Kertz. 1980. Effect of level of energy intake and influence of breed and sex on the chemical composition of cattle. *J. Anim. Sci.* 51:604–614.
- Geay, Y. 1984. Energy and Protein Utilization in Growing Cattle. *J. Anim. Sci.* 58:766-778. doi:10.2527/jas1984.583766x.
- INRA. 1988. Alimentation des bovines, ovins, et caprins. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris, France.
- Klemesrud, M.J., T.J. Klopfenstein, R.A. Stock, A.J. Lewis, and D.W. Herold. 2000. Effect of dietary concentration of metabolizable lysine on finishing cattle performance. *J. Anim. Sci.* 78:1060–1066.
- Lofgreen, G. P., and W. N. Garrett. 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 27:793–806.
- Marcondes, M.I. 2010. Exigências Nutricionais E Predição Da Composição Corporal De Bovinos Nelore Puros E Cruzados Doutorado:248.

- Marcondes, M.I., S.D.C.V. Filho, I.M. de Oliveira, R.F.D. Valadares, M.F. Paulino, and L.F. Prados. 2011. Exigências de proteína de animais nelore puros e cruzados com as raças angus e simental. *Rev. Bras. Zootec.* 40:2235–2243. doi:10.1590/S1516-35982011001000025.
- Neves, M.L.M.W., A.S.C. Vêras, E.J.O. De Souza, M.D.A. Ferreira, S.D.C. Valadares Filho, G.S. Da Silva, F.F.R. De Carvalho, D.J.G. De Oliveira, E.R. De Lima, and L.M.G. Barreto. 2016. Energy and protein requirements of crossbred cattle in feedlot. *Semin. Ciências Agrárias* 37:1029. doi:10.5433/1679-0359.2016v37n2p1029.
- NRC. 1984. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 1996. *Nutrients Requirements of Beef Cattle*. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 2001. *Nutrients Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Oss, D.B., F.S. Machado, T.R. Tomich, L.G.R. Pereira, M.M. Campos, M.M.D. Castro, T.E. da Silva, and M.I. Marcondes. 2017. Energy and protein requirements of crossbred (Holstein × Gyr) growing bulls. *J. Dairy Sci.* 1–11. doi:10.3168/jds.2016-11414.
- Owens, F. N., and A. L. Goetsch. 1986. Digesta passage and microbial protein synthesis. Pages 196–223 in *Control of Digestion and Metabolism*. L. P. Milligan, W. L. Grovum, and A. Dobson, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

- Owens, F. N., W. J. Hill, and D. R. Gill. 1995. Intake by feedlot cattle. In: Proceedings: 56th MN Nutr. Conf. and Alltech, Inc. Technical Symp. Univ. of Minnesota, St. Paul. pp 97–109
- Padua, J.T., M.P. De Oliveira, L.A.F. Da Silva, L.D.S. Vieira, E.J. Figueirêdo, D.C.S.P. Morales, L.H.D. Carrijo, and A.F.D.C. Martins. 2003. Efeito De Métodos De Castração E Do Uso De Vermífugos Sobre O Ganho Em Peso De Bovinos Mestiços Leiteiros. *Ciência Anim. Bras.* 4:33–43.
- Poppi, D. P. The dilemma in models of intake regulation: mechanistic or empirical. In: France, J.; Kebreab, E. (Eds.). *Mathematical Modelling in Animal Nutrition*. Wallingford, UK: CAB International, 2008. P. 121–141.
- Rodrigues, J.P.P., J.C.M. Lima, M.M.D. Castro, S. de C.V. Filho, M.M. Campos, M.L. Chizzotti, and M.I. Marcondes. 2016. Energy and protein requirements of young Holstein calves in tropical condition. *Trop. Anim. Health Prod.* 48:1387–1394. doi:10.1007/s11250-016-1102-x.
- Rotta, P.P., S.C.V. Filho, E. Detmann, L.F. Costa, F.A.C. Villadiego, E.M.G. Burgos, and F.A.S. Silva. 2013. Requerimentos nutricionais de energia e proteína em bovinos Holandês × Zebu não castrados terminados em confinamento. *Semin. Agrar.* 34:2523–2534. doi:10.5433/1679-0359.2013v34n5p2523.
- Silva, F.A.S., S.C. Valadares Filho, L.N. Rennó, D. Zanetti, L.F. Costa e Silva, L.A. Godoi, J.M.P. Vieira, A.C.B. Menezes, P. Pucetti, and P.P. Rotta. 2017. Energy and protein requirements for growth of Holstein × Gyr heifers. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 1–12. doi:10.1111/jpn.12661.
- Valadares Filho, S. C., M. I. Marcondes, M. L. Chizzotti, and P. V. R. Paulino. 2010. Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle—BR-CORTE 2.0. Suprema Grafica e

Editora, Visconde do Rio Branco. MG, Brazil. <http://www.brcorte.com.br/br/>.

Valadares Filho, S. C., L. F. Costa e Sila, M. P. Gionbelli, P. P. Rotta, M. I. Marcondes, M. L. Chizzotti, and L. Prado. 2016. Nutrient Requirements of Zebu and Crossbred cattle—BR-CORTE 3.0. Suprema Grafica e Editora, Visconde do Rio Branco. MG, Brazil. doi: 10.5935/978-85-8179-111-1.2016B002.

Wilkerson, V. A., T. J. Klopfenstein, R. A. Britton, R. A. Stock, and P. S. Miller. 1993. Metabolizable protein and amino acid requirements of growing cattle. *J. Anim. Sci.* 71:2777–2784.

Table 1. Ingredients and chemical composition of concentrate and experimental diet

Item	Concentrate	Diet
Ingredientes, % of dry matter		
Corn silage		59.20
Ground corn	54.70	22.30
Soybean meal	23.00	9.40
By pass soybean meal	18.80	7.70
Urea	0.70	0.30
Mineral mix	2.80	1.10
Chemical composition, %		
Dry matter ¹	88.98	35.80
Organic matter ²	93.85	94.26
Crude protein ²	27.57	18.25
Neutral detergent fiber ²	14.52	34.01
Ether extract ²	2.81	2.19
Non-fibrous carbohydrates ²	48.95	39.81
Total digestible nutrients ²	81.02	73.61

¹As fed²Dry matter basis

Table 2. Performance, intake, feed efficiency and carcass yield of crossbred Holstein × Gyr heifers

Item	Treatments			SEM	<i>p</i> -Value
	HG	LG	MA		
Dry matter intake (kg/day)	4.25 ^a	2.55 ^b	1.47 ^c	0.147	<0.001
Matter organic intake (kg/day)	4.02 ^a	2.40 ^b	1.38 ^c	0.139	<0.001
Metabolizable energy intake (Mcal/day)	10.85 ^a	6.65 ^b	3.91 ^c	0.372	<0.001
Average daily gain (kg/day)	0.90 ^a	0.49 ^b	0.10 ^c	0.025	<0.001
Empty body gain (kg/day)	0.85 ^a	0.44 ^b	0.12 ^c	0.024	<0.001
Feed efficiency	0.21 ^a	0.19 ^a	0.07 ^b	0.007	<0.001
Carcass yield	51.45	49.87	50.83	0.011	0.618

SEM = standard error mean; HG = high gain; LG = low gain; MA = maintenance;

Different letters on the same line indicate that the means differ ($P < 0.05$) by the Tukey test.

Table 3. Digestibility coefficient (%) of crossbred Holstein × Gyr heifers

Item	Treatments			SEM	p-Value
	HG	LG	MA		
Dry Matter	68.69 ^b	71.26 ^{ab}	72.33 ^a	0.008	0.018
Organic matter	71.23 ^b	73.61 ^{ab}	75.16 ^a	0.008	0.009
Crude Protein	74.79 ^b	76.43 ^{ab}	77.57 ^a	0.007	0.054
Ether Extract	85.87 ^b	88.23 ^a	87.06 ^a	0.006	0.049
Neutral detergent fiber	54.48 ^b	60.61 ^a	64.05 ^a	0.134	<0.001
Non-fibrous carbohydrates	83.52	84.25	84.41	0.005	0.495

HG = high gain; LG = low gain; MA = maintenance; SEM = standard error of mean.

Different letters on the same line indicate that the means differ ($P < 0.05$) by the Tukey test.

Table 4. Abstract of prediction equations the nutrient requirements energy and protein of crossbred Holstein × Gyr heifers reared in tropical conditions

Item	Equation	Unit
EBW	$0.893 \times \text{SBW}$	kg
EBG	$0.940 \times \text{ADG}$	kg
Energy Requirements		
NE_m	$70.0 \times \text{EBW}^{0.75}$	kcal/d
k_m	64.7	%
ME_m	$110 \times \text{EBW}^{0.75}$	kcal/d
NE_g	$0.072 \times \text{EBW}^{0.75} \times \text{EBG}^{0.6006}$	Mcal/d
k_g	32.03	%
ME_g	NE_g / k_g	Mcal/d
ME_t	$\text{ME}_m + \text{ME}_g$	Mcal/d
TDN	$\text{ME}_t / 0.82 / 4.409$	kg/d
Protein Requirements		
MP_m	$3.8 \times \text{EBW}^{0.75}$	g/d
NP_g	$243.65 \times \text{EBW}^{-0.0912} \times \text{EBG}$	g/d
k	47.64	%
MP_g	NP_g / k	g/d
MP_t	$\text{MP}_m + \text{MP}_g$	g/d
MCP	$-53.07 + 304.9 \times \text{CPI} + 90.8 \times \text{TDNI} - 3.13 \times \text{TDNI}^2$	g/d
RDP	MCP	g/d
RUP	$[(\text{MP}_t - (\text{PCPc} \times 0.64))] / 0.80$	g/d
CP	$\text{RDP} + \text{RUP}$	g/d

EBW = empty body weight; EBG = empty body gain; SBW = shrunk body weight; ADG = average daily gain; NE_m = net energy maintenance; ME_m = metabolizable energy maintenance; ME_g = metabolizable energy for gain; ME_t = metabolizable energy total; k_m = efficiency of the use metabolizable energy for maintenance; k_g = efficiency of the use metabolizable energy for gain; k = efficiency of the use of metabolizable protein for gain; TDN = total digestible nutrient; MP_m = metabolizable protein for maintenance; NP_g = net protein for gain; MP_g = metabolizable protein for gain; MP_t = metabolizable protein total; MCP = microbial protein synthesis; RUP = rumen undegradable protein and CP = crude protein.

Table S1. Description of the data used

Item	mean	Maximum	Minimum	SD
iBW (kg)	102.29	127.00	77.00	12.95
fBW (kg)	141.89	208.00	83.00	34.14
iEBW (kg)	86.24	107.06	64.91	10.93
fEBW (kg)	123.39	185.92	71.06	30.72
ADG (kg/d)	0.47	1.06	0.071	0.32
EBG (kg/d)	0.44	0.97	0.073	0.030

SD = standard deviation; iBW = initial body weight; fBW = final body weight; iEBW = initial empty body weight; fEBW = final empty body weight; ADG = average daily gain; and EBG = empty body gain.

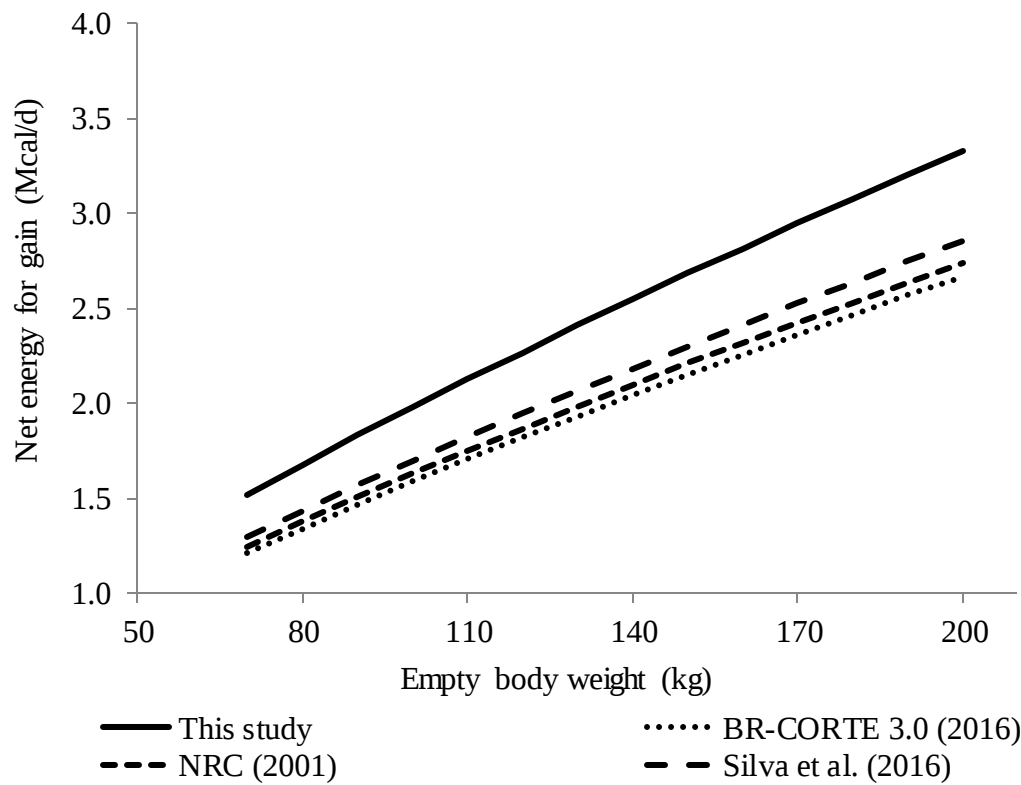


Figure 1. Prediction equation of the net energy requirements for gain proposed by several studies compared to the model proposed by the present study. EBG = 0.8 kg/d was used in all equations.

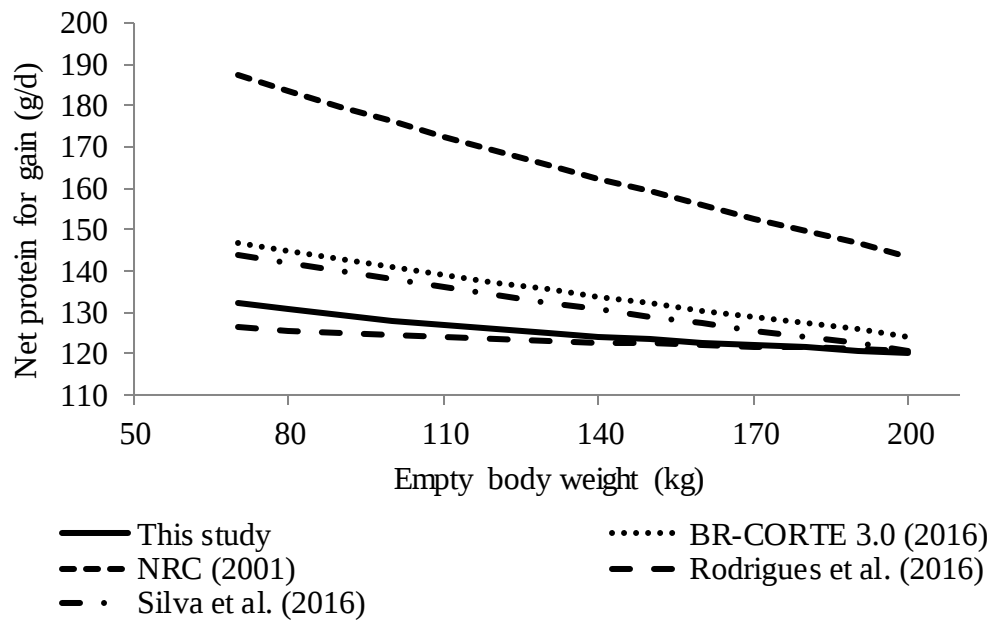


Figure 2. Prediction equation the net protein requirements for gain, proposed by several studies compared to the model proposed by the present study; EBG = 0.8 kg/d was used in all equations.

CAPÍTULO 2

Exigências nutricionais de macrominerais de bezerros leiteiros

Resumo

Os sistemas internacionais de exigências nutricionais para bezerros leiteiros usam dados de estudos com macrominerais das décadas de 20, 50 e 70, portanto há grande necessidade de novas determinações de exigências de minerais. Assim, objetivou-se estimar as exigências nutricionais dos macrominerais cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na) de bezerros leiteiros cruzados Holandês × Gir e Holandês, por meio de meta-análise, utilizando dados de 5 estudos desenvolvidos na Universidade Federal de Viçosa. Foram avaliados um total de 210 bezerros, sendo estes separados em dois grupos genéticos, aqueles que apresentavam grau de sangue superior a 87,5% de Holandês considerados puros e os demais cruzados Holandês × Gir. Foi utilizada a técnica de abate comparativo para estimar a composição corporal dos animais, sendo trinta animais designados ao grupo referência. As exigências de minerais para manutenção foram estimadas pela regressão do mineral retido em função do mineral ingerido e as exigências dos minerais para ganho foram obtidas a partir da primeira derivada da equação do conteúdo de mineral no corpo, sendo testado o efeito classificatório de raça sobre o intercepto e inclinação dos modelos. Não foi observado efeito de grupo genético para nenhuma variável analisada ($P > 0,05$). As exigências líquidas de manutenção encontradas foram: 12,73, 11,805, 20,280, 3,500 e 6,373 mg/PCVZ/dia para o Ca, P, K, Mg e Na, respectivamente. O coeficiente de retenção encontrado foi de 73,18%, 65,20%, 13,16%, 29,55% e 24,28% para Ca, P, K, Mg e Na, respectivamente. As equações sugeridas para estimar as exigências líquidas de ganho (g/dia) foram: $ELG_{Ca} = 14,402 \times PCVZ^{-0,139} \times GPCVZ$, $ELG_P = 5,849 \times PCVZ^{-0,027} \times GPCVZ$, $ELG_K = 1,140 \times PCVZ^{-0,048} \times GPCVZ$, $ELG_{Mg} =$

$0,603 \times PCVZ^{-0,036} \times GPCVZ$ e $ELG_{Na} = 1,508 \times PCVZ^{-0,045} \times GPCVZ$, para Ca, P, K, Mg e Na, respectivamente. Em virtude da alta variação entre os dados aqui encontrados e os da literatura, sugere-se a elaboração de mais estudos, validando as estimativas aqui encontradas e verificando efeitos a longo prazo com os valores sugeridos.

Abstract:

International committees of nutrient requirements for dairy calves use data of mineral from studies of the 20s, 50s and 70s decades; therefore, there is a great necessity to determine mineral requirements for dairy calves. The objective of this study was to estimate the mineral requirements of calcium (Ca), phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg) and sodium (Na) for Holstein and crossbred Holstein $\times$ Gyr dairy calves, using data from 5 studies developed at Federal University of Viçosa. A total of 210 calves were evaluated, which were separated into two genetic groups, animals with a blood level higher than 87.5% of Holstein were considered pure and the other crossbred Holstein $\times$ Gyr. The comparative slaughter technique was used to estimate animal body composition, and thirty animals were assigned to the reference group. The mineral requirements for maintenance were estimated by the regression of the mineral retained as a function of the ingested mineral and minerals requirements for gain were obtained from the first derivative of the equation of the mineral content in the body, and the classificatory effect of bred was tested on intercept and inclination of models. Effect of genetic group was not observed for any variable analyzed ($P > 0.05$). Net requirements for maintenance were: 12.73, 11.805, 20.280, 3.500 and 6.373 mg / PCVZ / day for Ca, P, K, Mg and Na, respectively. Coefficient of retention was 73.18%, 65.20%, 13.16%, 29.55% and 24.28% for Ca, P, K, Mg and Na, respectively. The following equations were used to estimate net requirements for gain (g/day): $NRG_{Ca} = 14.402 \times EBW^{-0.139} \times EBG$, $NRG_P = 5.849 \times EBW^{-0.027} \times EBG$, $NRG_K = 1.140 \times EBW^{-0.048} \times EBG$, $NRG_{Mg} = 0.603 \times EBW^{-0.036} \times EBG$ e $NRG_{Na} = 1.508 \times EBW^{-0.045} \times EBG$, for Ca, P, K, Mg and Na, respectively. Due to the high variation between the data found in the present study and those in the literature, it is

suggested that further studies should be carried out, to validate the estimates of this study and to verify long-term effects with the suggested values.

Introdução

Os minerais, apesar de serem encontrados em pequenas concentrações no corpo quando comparados a outros nutrientes como gordura e proteína, desempenham funções essenciais no organismo, tais como: estrutural, fisiológica, catalítica, regulatória e de resposta imune (Sutle, 2010; Wilson et al., 2016). Dessa forma, a deficiência destes pode comprometer o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais (Miranda et al., 2006).

Embora os minerais sejam muito importantes, as informações disponíveis na literatura referentes às exigências nutricionais de minerais para bezerros criados em condições tropicais são escassas (Signoretti et al., 1999; Fonseca et al., 2012) sendo que não existem estudos na literatura que predizem as estimativas das exigências de minerais para bezerros cruzados Holandês × Gir criados em condições tropicais. Como consequência, o balanceamento de dietas para bezerros leiteiros se baseia em estimativas de exigências nutricionais obtidas por conselhos internacionais (ARC, 1980; AFRC, 1991; NRC, 2001, CSIRO, 2007), sendo o mais utilizado o NRC (2001), porém este sugere recomendações fixas das concentrações dos minerais na dieta de bezerros, independente do peso corporal, composição genética e desempenho dos animais. Adicionalmente, esses conselhos não remetem as condições tropicais, considerando-se o padrão genético predominante dos animais, os alimentos utilizados e o ambiente (Borges et al., 2007). Para regiões tropicais, tem-se desenvolvido o sistema BR-CORTE 3.0 (2016), entretanto este é voltado para gado de corte, sendo suas estimativas obtidas com animais adultos e de maior peso corporal. Dessa forma considera-se não adequado a utilização desse sistema para cálculo das estimativas das exigências nutricionais de minerais para bezerros leiteiros jovens.

Os conselhos ARC (1980); AFRC (1991); NRC (2001) e CSIRO (2007) predizem as exigências nutricionais de macrominerais para bezerros fundamentados em poucos e antigos estudos (Moulton et al., 1922; Ellenberg et al., 1950; Hansard et al., 1957; Schuls et al., 1975; Grace et al., 1983; Gueguen et al., 1989), os quais não passaram por revisão nos últimos anos. Sabe-se que os rebanhos leiteiros passaram por intensa seleção genética ao longo dos anos (Oltenacu & Broom, 2010), a qual promoveu elevação no desempenho, com prováveis alterações nas exigências nutricionais dos animais. Adicionalmente, ocorreu uma marcante evolução relacionada à alimentação dos bezerros a qual passou do método convencional que era usado antigamente de 4 litros/dia (Khan et al., 2007) para volumes superiores a 8 litros/dia ou fornecimento *ad libitum*, o qual promove melhor desempenho aos animais (Jasper & Weary, 2002). A evolução na composição genética dos animais, aliada às melhores condições de manejo sanitário e nutricional, pode ter tornado inadequadas à utilização dessas estimativas antigas para os animais atuais.

Dessa forma, objetivou-se estimar as exigências nutricionais dos macrominerais cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na) para manutenção e crescimento de bezerros leiteiros cruzados Holandês × Gir e holandeses criados em condições tropicais, por meio de meta-análise. Hipotetizou-se que as exigências de macrominerais de bezerros holandeses seria diferente de bezerros cruzados Holandês × Gir, quando criados sob mesmas condições climáticas. Além disso, hipotetizou-se que as estimativas dos conselhos internacionais, especialmente o NRC (2001) e BR-CORTE 3.0 (2016) não são adequadas para bezerros criados em condições tropicais.

Material e Métodos

Este trabalho foi composto por estudos previamente realizados. Portanto, não foi necessária a aprovação pelo comitê de ética para uso de animais em experimentação; no

entanto, todos os experimentos que compuseram o banco de dados tiveram sua execução aprovada pelo comitê.

Aquisição dos dados

O banco de dados utilizado para estimar as exigências nutricionais dos macrominerais Ca, P, K, Mg e Na de bezerros foi composto por 5 estudos desenvolvidos na Universidade Federal de Viçosa (Jolomba, 2015; Chagas et al., 2016; Rodrigues et al., 2016; Dias et al, 2017 e Silva et al., 2017) sendo utilizados um total de 210 bezerros. Foram coletadas, de cada estudo, informações por animal de cada mineral (Ca, P, K, Mg e Na) referentes a consumo (g/d), retenção (g/d) e conteúdo de mineral no corpo (kg) (Tabela 1). Ainda, foram coletadas informações quanto à composição genética, peso de corpo vazio inicial (PCVZi), peso de corpo vazio final (PCVZf), ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) (kg/d) e ganho médio diário (GMD) (kg/d) de cada animal (Tabela 1).

Os animais foram separados em dois grupos genéticos, sendo aqueles que apresentavam grau de sangue superior a 87,5% de Holandês foram considerados Holandês e os demais cruzados Holandês × Gir, sendo assim, o banco de dados constituído de 113 bezerros Holandeses e 97 bezerros cruzados Holandês × Gir (Tabela1).

Todos os estudos utilizaram a técnica de abate comparativo para estimar a composição corporal dos animais, sendo que um grupo de animais (grupo referência) foi abatido no início do experimento para estimativa do PCVZi e da composição corporal inicial dos animais que permaneceram nos estudos. Dos 210 animais, 30 animais foram designados ao grupo referência.

Os procedimentos de abate foram iguais para todos os experimentos e podem ser consultados integralmente nos trabalhos originais. Brevemente, o abate foi realizado

via insensibilização por concussão cerebral e posterior secção da jugular para sangramento total, seguido de lavagem do aparelho gastrointestinal (rúmen, retículo, omaso, abomaso e intestinos delgado e grosso) para determinação do peso de corpo vazio (PCVZ). Posteriormente, todas as meias-carcaças direitas foram trituradas em um triturador industrial por 20 minutos, constituindo uma amostra composta de componentes carcaça. O aparelho trato gastrointestinal adicionado de gordura interna, mesentério, fígado, coração, rins, pulmão, língua, baço, diafragma, aparas (esôfago, traquéia e aparelho reprodutor), sangue, couro, cabeça e pés foram triturados logo após a lavagem em um triturador industrial por 20 minutos, constituindo uma amostra composta de componentes não carcaça.

Análises químicas

As amostras dos componentes corporais (carcaça e não carcaça) e leite foram liofilizadas por 72 horas para quantificação da matéria seca ao ar segundo método INCT-CA G-002/1 (Detmann et al., 2012). As amostras dos alimentos e componentes corporais tiveram o tamanho de partícula reduzido em moinho tipo faca com peneira de 1 mm e submetidas à análise de matéria seca (MS) (AOAC, 1990; método 930.15).

As amostras de alimentos e componentes corporais foram avaliadas quanto a composição mineral, através da digestão em ácido nitroperclórico, segundo método INCT-CA M-004/1, descrito por Detmann et al. (2012), obtendo assim a solução mineral, a partir da qual foram realizadas diluições para a quantificação das concentrações dos macrominerais. As concentrações de Ca e Mg foram quantificadas por espectrometria de absorção atômica (GBC Avanta Sigma, Hampshire, EUA) (Método 968.08; AOAC, 2000). As concentrações de K e Na foram quantificadas por espectrometria de emissão de chama (Corning 400, NY, EUA) (Método 985.35, AOAC, 2000). A concentração de P foi realizada por redução do complexo P-molibdato, com

ácido ascórbico, e as leituras realizadas em espectrofotômetro calorímetro (Método 965.17, AOAC, 2000).

Modelos matemáticos

Para verificar a relação entre o peso de corpo em jejum (PC_j) e o PCVZ utilizou-se uma regressão linear (Equação 1):

[Equação 1]
$$PCVZ = \beta_0 + (\beta_1 \times PC_j)$$

em que: PCVZ = peso de corpo vazio (kg); PC_j = peso de corpo em jejum (kg); β_0 e β_1 são parâmetros da regressão.

A relação entre GMD e o GPCVZ foi obtida por intermédio de regressão linear simples segundo a Equação 2.

[Equação 2]
$$GPCVZ = \beta_0 + (\beta_1 \times GMD)$$

em que: GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/d); GMD = ganho médio diário (kg/d); β_0 e β_1 são parâmetros da regressão.

Para cálculo das exigências líquidas de manutenção, considerou-se o intercepto (β_0) da equação [3] como o valor de perda do mineral quando a ingestão é zero, ou seja, seu módulo equivale aos requisitos líquidos de manutenção, sendo calculado pela regressão do mineral retido (MR) em função do mineral ingerido (MI) por quilograma (kg) de PCVZ, conforme o modelo adaptado de Ferrel and Jenkins (1998):

[Equação 3]
$$MR = \beta_0 + \beta_1 \times MI$$

em que: MR = mineral retido (mg/PCVZ/d); MI = mineral ingerido (mg/PCVZ/d). “ β_0 ” e “ β_1 ” são parâmetros da regressão. Sendo o “ β_0 ” a exigência líquida de manutenção e o “ β_1 ” a eficiência de retenção de cada mineral.

O coeficiente de retenção (em %) para os minerais avaliados foi admitida como a inclinação (β_1) da Equação 3.

O conteúdo de cada mineral no corpo dos animais foi estimado pela regressão do logaritmo do conteúdo corporal de mineral em função do logaritmo do PCVZ, conforme o modelo alométrico adotado pelo ARC (1980).

[Equação 4]

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \times \log PCVZ$$

em que: Y = logaritmo do conteúdo de mineral no corpo (g), podendo ser Ca, P, K, Mg ou Na; logPCVZ = logaritmo do peso de corpo vazio (kg); β_0 e β_1 parâmetros da equação;

A partir dos parâmetros estimados, as exigências líquidas de minerais para ganho foram estimadas pela primeira derivada da equação 4 multiplicada pelo GPCVZ, conforme o modelo:

[Equação 5]

$$ML_g = \beta_1 \times 10^{\beta_0} \times PCVZ^{\beta_1-1} \times GPCVZ$$

em que: ML_g = exigência líquida do mineral para ganho podendo ser Ca, P, K, Na ou Mg (mg/dia); β_0 e β_1 são parâmetros da equação; PCVZ= peso de corpo vazio (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/d).

Análises Estatísticas

Uma vez que o banco de dados foi composto por diferentes estudos e fez-se necessário considerar o efeito aleatório de estudo sobre os parâmetros das regressões ($P < 0,05$). Assim, procedeu-se a análise dos dados seguindo a técnica descrita por St-Pierre (2001) para meta-análise, utilizando-se por intermédio do procedimento MIXED do SAS (SAS, version 9.3, Institute Inc., 2011, Cary, NC, USA). O efeito classificatório de raça foi testado sobre o intercepto e inclinação dos modelos (Equações 1 a 4), sendo que, diferenças foram declaradas quando $P < 0,05$. Observações com resíduo estudatizado maior que |2,5| foram consideradas “outliers”, sendo excluídas do banco de dados.

Resultados

Peso de corpo vazio e ganho de peso de corpo vazio

Inicialmente, foi avaliado o efeito de grupo genético para a relação entre PC_j e PCVZ, o qual não foi observado sobre o intercepto ($P>0,10$) e inclinação ($P>0,08$). Além disso, o intercepto da regressão entre o PCVZ e o PC_j não diferiu de zero ($P>0,07$). Assim, a regressão foi reajustada sem a inclusão do intercepto obtendo a seguinte equação ($MSE = 4,412$; $R^2 = 0,928$):

[Equação 6]

$$PCVZ = 0,89 \times PC_j$$

em que: PCVZ = peso de corpo vazio (kg); PC_j = peso corporal em jejum (kg);

Para a relação GPCVZ e GMD foi inicialmente avaliado o efeito de grupo genético sobre o intercepto ($P>0,70$) e sobre a inclinação ($P>0,64$), o qual não foi observado. Além disso, o intercepto da regressão entre GPCVZ e GMD não diferiu de zero ($P>0,34$). Assim, a regressão foi reajustada sem a inclusão do intercepto obtendo a seguinte equação ($MSE = 0,054$; $R^2 = 0,952$):

[Equação 7]

$$GPCVZ = 0,91 \times GMD$$

em que: GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/d); GMD = ganho médio diário (kg/d).

Exigências líquidas para manutenção e coeficiente de retenção

Não foi observado efeito de grupo genético sobre as exigências líquidas de manutenção e sobre os coeficientes de retenção de todos os macrominerais avaliados ($P>0,05$; Tabela 2). Assim, as exigências líquidas de manutenção (mg/kg de PCVZ/dia) e os coeficientes de retenção encontrados foram: 12,72 e 73,18% para o Ca, 11,80 e 65,20% para o P, 20,28 e 13,16% para o K, 3,50 e 29,55% para o Mg e 6,37 e 24,24% para o Na, respectivamente.

Exigências líquidas para ganho

Não foi observado efeito de grupo genético sobre os parâmetros dos modelos (Equação 4) para estimativas do conteúdo dos minerais avaliados no corpo ($P>0,05$; Tabela 3). Assim, adotou-se uma equação geral para estimar o conteúdo de cada mineral no corpo. A partir da primeira derivada da equação do conteúdo de mineral no corpo, foram obtidas equações para o cálculo das exigências líquidas de mineral para ganho (Tabela 4).

Discussão

Como observado não houve efeito de grupo genético sobre os parâmetros avaliados ($P>0,05$), ou seja, as exigências líquidas de manutenção e ganho, assim como o coeficiente de retenção e exigências dietéticas foram iguais para os grupos genéticos avaliados. Não foi observado efeito de grupo genético sobre o PC, GMD, MI, MR e conteúdo mineral final no corpo ($P>0,05$) (Tabela S1), ou seja, toda variação de mineral no corpo foi independente da raça, portanto nesta fase (bezerros em aleitamento) as variações das exigências nutricionais se devem mais a variações dietéticas ou de clima, do que às variações genéticas avaliadas. Ressalta-se que todos os estudos tiveram dietas similares, assim como manejo, e condições climáticas, além de ter sido adotado a mesma metodologia para estimativa dos valores e para as análises dos minerais, sendo que estes fatores podem interferir nas estimativas das exigências de macrominerais (Underwood, 1981).

Entretanto, Miranda et al., (2006) e BR-CORTE 3.0 (2016) relataram diferenças nas exigências de minerais para bovinos de distintos grupos, indicando-nos que esta diferença possa ser expressa em outras fases de crescimento do animal, porém não detectada no presente estudo para bezerros lactentes. Dessa forma, torna-se coerente a

indicação das estimativas obtidas tanto para bezerros holandeses quanto para cruzados Holandês × Gir lactentes, com até 100 kg de peso corporal (PC).

Cálcio

As exigências líquidas de Ca para manutenção obtidas foram de 12,72 mg/PCVZ/d, ou 11,28mg/kg de PC. Em termos comparativos, o BR-CORTE 3.0 (2016) sugere o valor de 11,70 mg/kg de PC para bezerros de corte zebuínos criados em condições tropicais, o NRC (2001) sugere o valor de 15,40 mg/kg de PC para bezerros criados em condições de clima temperado. Por outro lado, Hansard et al. (1954) recomenda 14,40 mg/kg de PC para bezerros Hereford com 30 dias de idade. Dessa forma, considerando um bezerro de 70 kg de PC, a recomendação de acordo com as estimativas do presente estudo, BR-CORTE 3.0 (2016), Hansard et al. (1954) e NRC (2001) seriam de 789,6, 819,0, e 1008,0 e 1078,0 mg/dia respectivamente. De certa forma, pode-se dizer que a recomendação do presente estudo está semelhante ao BR-CORTE 3.0 (2016), estando apenas 3,6% inferior desta. Entretanto, quando comparado às recomendações de Hansard et al. (1954) e NRC (2001) para bezerros holandeses é inferior 21,7% e 26,7%, respectivamente. Percebe-se que as exigências de Ca para manutenção bezerros cruzados Holandês × Gir e Holandês criados em condições tropicais são próximas de bezerros Zebuínos de corte criados em condições tropicais, indicando-nos que essa diferença pode estar associada ao efeito das condições climáticas, sendo que animais holandeses criados em condições tropicais se adaptaram a essas, a qual proporciona redução na exigência líquida de Ca para manutenção. Contudo, ainda não é evidente como o clima poderia afetar de forma significativa as exigências de Ca para manutenção, sendo ainda necessários mais estudos com metabolismo de minerais. Lembra-se que a metodologia de determinação também foi diferente de Hansard et al.

(1954) e NRC (2001), sendo também uma possível fonte de variação e explicação das diferenças observadas.

O coeficiente de retenção de Ca obtido foi de 73,18%, valor este superior ao BR-CORTE 3.0 (2016), que é de 56,8% para bezerros de corte. Challa e Braithwaite (1989) encontrou o valor de 83% para bezerros com PC médio de 138 kg. Yuangklang et al. (2004) encontraram o valor de 95% como coeficiente de absorção para bezerros com PC médio de 47 kg. O NRC (2001) e o AFRC (1991) recomendam valores de 70% e 68% como coeficiente de absorção, respectivamente, contudo esses estudos utilizaram coeficiente de absorção, negligenciando as perdas de Ca via urina. Costa e Silva et al. (2015), trabalhando com animais Nelore relataram perdas de até 3,8% de Ca via urina. Desta forma, desconsiderar a perda de Ca via urina resulta em superestimação do coeficiente de retenção verdadeiro. Além disso, observa-se que animais jovens apresentam valores superiores de coeficiente de retenção e absorção comparado a animais adultos (NRC, 2001; Yuangklang et al., 2004, BR-CORTE 3.0 2016). Hansard et al. (1954) relataram redução do coeficiente de absorção de 97% para 38% com o aumento de um para seis meses de idade ou com o aumento do PC de 66 kg para 178 kg. Isso deve-se ao maior valor de digestibilidade da dieta utilizada durante a fase de aleitamento e a própria exigência de Ca do animal que vai reduzindo com o aumento do PC, devido a redução da proporção do tecido ósseo no corpo (Paulino et al., 1999). Assim, o valor de coeficiente de retenção de 73,18% sugerido neste estudo é adequado para bezerros holandeses e Holandês × Gir em aleitamento.

As exigências líquidas de Ca para ganho propostas no presente estudo foram menores (Figura 1) que as reportadas pelo NRC (2001) e BR-CORTE 3.0 (2016), considerando um animal com PC variando de 40 a 100 kg e GMD de 1 kg. Para as estimativas de ganho de peso, o BR-CORTE 3.0 (2016) utilizou dados de bezerros

Nelores, com idade de até 180 dias, no presente estudo a idade média foi de $55 \pm 17,69$ e máxima de 110 dias. Em adição, o BR-CORTE 3.0 (2016) observou efeito de grupo genético sobre as exigências líquidas de ganho, sendo que animais cruzados apresentaram menor exigência de Ca comparado a animais Zebuínos, indicando-nos que animais cruzados tendem a ter menor exigência de Ca, confirmando o resultado encontrado no presente estudo. Em relação ao NRC (2001), as estimativas de ganho são baseadas nas estimativas do AFRC (1991) a qual foram geradas em condições de clima temperado, com animais das raças taurinas e de maior peso corporal. A utilização de animais de maior PC pode afetar significativamente as estimativas das exigências de Ca para bezerros, visto que 99% do Ca é encontrado nos ossos, e que animais de maior PC apresentam menor proporção de tecido ósseo no corpo (Paulino et al. 1999), proporcionando assim um viés nas estimativas quando extrapoladas para animais de PC inferior.

As exigências dietéticas de Ca do presente estudo, BR-CORTE 3.0 (2016) e NRC (2001) podem ser observadas na Tabela 5. De forma geral, observa-se um decréscimo nas exigências dietéticas de Ca com o aumento do PC, devido à diminuição da proporção desse mineral no corpo à medida que o animal aumenta o PC (AFRC, 1991; Paulino et al., 1999; Vêras et al., 2001). Adicionalmente, nota-se menor exigência dietética de Ca no presente estudo comparada ao NRC (2001) e ao BR-CORTE 3.0 (2016). Conforme discutido anteriormente, as estimativas desses estudos foram obtidas com animais de maior PC e com composição genética diferente. Além disso, para bezerros o NRC (2001) realiza recomendações das concentrações de Ca no sucedâneo, leite (1,00 e 0,95% respectivamente), concentrado inicial e para fase de crescimento (0,70 e 0,60% respectivamente), independente do PC e do ganho de peso desses animais. A maior estimativa de exigência de Ca recomendado por estes estudos (NRC

2001; BR-CORTE 3.0), pode estar contribuindo para elevação dos níveis desse mineral nas dietas ofertadas aos animais na fase inicial de vida e consequentemente elevando os custos de produção, além de propiciarem maior excreção de Ca no meio ambiente.

Fósforo

As exigências líquidas de P para manutenção obtidas foram de 11,80 mg/PCVZ/dia, ou 10,47 mg/kg de PC. O valor observado é inferior ao reportado pelo NRC (2001) e BR-CORTE 3.0 (2016), que são: 16,00 e 13,50 mg/kg de PC, respectivamente, sendo 34,50% e 22,44% inferior ao reportado pelo NRC (2001) e BR-CORTE 3.0 (2016), respectivamente. Assim como para a exigência de Ca, a exigência de P apresentou valor inferior comparado aos trabalhos citados da literatura, ficando mais próximo dos valores sugeridos pelo BR-CORTE 3.0 (2016), indicando-nos que o efeito clima pode ter influência sobre essa variável. A semelhança quanto à exigência de P para manutenção entre animais Zebuínos de corte e bezerros cruzados Holandês × Gir e Holandês criados em condições tropicais, pode nos indicar que os animais holandeses estão se adaptando a essas condições, e consequentemente apresentando exigências líquidas de P e Ca para manutenção próximas aos animais Zebuínos.

O coeficiente de retenção obtido foi de 65,2%. Segundo o NRC (2001), o coeficiente de absorção de P recomendado para bezerros consumindo apenas leite é de 90%. Para animais com PC entre 100 e 200 kg o valor sugerido pelo NRC (2001) é de 78%. O AFRC (1991) e Underwood & Suttle (1999) recomendam o coeficiente de absorção de 58 e 74%, respectivamente. Nota-se que estes estudos somente consideram coeficiente de absorção, negligenciando a excreção de P via urina. A desconsideração da excreção de P via urina pode causar viés nas estimativas, uma vez que a excreção deste mineral via urina pode representar em média 4,33% do P ingerido (Costa e Silva et al., 2015). O coeficiente de retenção adotado pelo BR-CORTE 3.0 (2016) foi de 68%,

valor este próximo ao reportado no presente estudo. Dessa forma, as perdas de P via urina não deve ser negligenciadas e recomenda-se utilizar coeficiente de retenção e não de absorção para o P.

Assim como as exigências líquidas de Ca para ganho, as de P também foram menores que as reportadas pelo NRC (2001) e BR-CORTE (2016) considerando um animal com PC variando de 40 a 100 kg e com o GMD de 1 kg. (Figura 2). De forma geral, as exigências de P para ganho proposto pelo presente estudo, BR-CORTE 3.0 (2016) e NRC (2001) diminui com o aumento do peso corporal (Figura 2), fato esse, se deve à menor proporção do tecido ósseo no corpo, visto que 80% do P é encontrado no tecido ósseo (Coelho da Silva, 1995). Da mesma forma que as exigências de Ca para ganho, as estimativas de P do BR-CORTE 3.0 (2016) foram menores para bovinos cruzados comparado a zebuínos, indicando-nos que animais cruzados tendem a ter menor exigência desses minerais para ganho. As estimativas do NRC (2001), assim como para Ca são baseadas nas estimativas do AFRC (1991) as quais foram obtidas em estudos conduzidos em condições de clima temperado, com animais de maior PC e de raças taurinas. A concentração de P e de Ca no corpo diminui com o aumento do PC dos animais, indicando-nos que estimativas obtidas com animais de maior PC, como o NRC (2001) e o BR-CORTE 3.0 (2016), nos leva a um viés quando utilizadas para animais mais leves, podendo comprometer o desempenho animal, ou apresentar um excesso de excreção de P no meio ambiente, além de perdas econômicas.

Comparando as exigências dietéticas de P (Tabela 5) propostas pelo presente estudo com o BR-CORTE 3.0 (2016) e NRC (2000), observa-se redução na exigência dietética de P de 24,8% e 29,7% respectivamente, para bezerros com peso corporal de 40 a 100 kg, indicando-nos uma menor exigência de P para bezerros leiteiros cruzados Holandês × Gir e Holandês criados em condições tropicais comparado a bezerros de

corte criados na mesma condições e também animais holandeses criados em condições de clima temperado.

Como discutido acima, as concentrações de Ca e P no corpo dos animais apresentaram o mesmo comportamento, indicando-nos que estes minerais atuam conjuntamente no organismo do animal, visto que eles participam diretamente da formação óssea (ARC, 1980). Contudo, é de suma importância o balanceamento adequado da relação Ca:P na dieta de bovinos. O ARC (1980) sugere que essa relação deve ser entre 1:1 e 2:1 (ARC, 1980), sendo que, proporções inadequadas, ou seja, fora desse intervalo pode alterar as exigências desses minerais pelos animais (ARC,1980). O valor obtido no presente estudo para bezerros com PC variando de 40 a 100 kg foi de 1,36:1, valor este dentro do sugerido pelo ARC (1980) e próximo ao sugerido BR-CORTE 3.0 (2016) de 1,46:1 para animais de corte com PC médio de 302 kg.

Potássio

As exigências líquidas de K para manutenção foram de 20,28 mg/PCVZ/dia, ou 17,99 mg/kg de PC, sendo inferior ao reportado pelo BR-CORTE 3.0 (2016) de 23,5 mg/kg de PC. Entretanto, ambas estimativas foram muito inferiores ao sugerido pelo NRC (2001), de 38 mg/kg de PC. Percebe-se uma semelhança entre as estimativas obtidas em regiões tropicais, o que nos lembra, mais uma vez, a pensar que há um efeito climático sobre exigências de minerais em bezerros lactentes, contudo faltam estudos que expliquem fisiologicamente estas diferenças.

O coeficiente de retenção obtido para o K foi de 13,16%, valor este inferior ao sugerido pelo BR-CORTE 3.0 (2016) de 48,4%. Contudo, o BR-CORTE 3.0 (2016) considera mineral retido aquele mineral consumido menos a perda via fezes e urina, entretanto o K tem outras vias de perda, estas podem ser: via saliva (0,7g/100kg de PC)

e suor (1,1g/dia) (ARC 1980), justificando a diferença pelo presente estudo. O ARC (1980) e o NRC (2001) consideram como coeficiente de absorção do K 100 e 90%, respectivamente. Contudo, deve-se enfatizar que esses estudos trabalham com coeficiente de absorção e não de retenção, sendo que existe excreção desse mineral via urina (Ward., 1996), sendo em média 30,3% do K consumido (BR-CORTE 3.0 2016). Entretanto, o principal problema do K na dieta de ruminantes é o excesso e não a sua deficiência (Underwood & Suttle, 1999), dessa forma, considerar coeficiente de retenção para este mineral pode não ser a metodologia mais correta, visto que se ele estiver em alta concentração na dieta, maior será a sua excreção via urina, desta forma quando pensamos em bezerros em aleitamento há um excesso desse mineral na dieta, (visto que o leite contém é média 1,38 mg/ml de K) levando há uma alta excreção e consequentemente baixo coeficiente de retenção desse mineral. Dessa forma se utilizarmos o coeficiente de retenção poderíamos sugerir uma quantidade ainda maior desse mineral na dieta, a qual não seria necessária, aumentando assim sua excreção no meio ambiente e os custos de produção. Portanto, o baixo valor do coeficiente de retenção para K encontrado neste estudo pode ser explicado pelo seu excesso na dieta, dessa forma, sugerimos a utilização do coeficiente de absorção de 90%, recomendado pelo NRC (2001) para cálculo das exigências dietéticas.

As exigências líquidas de K para ganho do presente estudo (Figura 3), foram 17,0% e 42,7% menor que a reportada pelo BR-CORTE 3.0 (2016) e NRC (2001), respectivamente, para bezerros de 40 a 100 kg de peso corporal e com GMD de 1 kg/dia.

As exigências dietéticas foram 47 e 55% inferiores as reportadas pelo NRC (2001) e pelo BR-CORTE 3.0 (2016) respectivamente (Tabela 5), para bezerros com peso corporal variando de 40 a 100 kg. No cálculo das exigências dietéticas foi

considerado o coeficiente de absorção sugerido pelo NRC (2001), pois consideramos que para animais em aleitamento existe super oferta de K na dieta, sendo as exigências atendidas apenas com o fornecimento de leite, não sendo necessário a adição de nenhuma fonte extra desse mineral na dieta.

Magnésio

As exigências líquidas de Mg para manutenção foram de 3,50 mg/PCVZ/dia ou 3,10 mg/kg de PC, valor este inferior ao reportado pelo BR-CORTE 3.0 (2016), que sugere o valor de 5,90 mg/kg de PC para bezerros de corte criados em condições tropicais. Entretanto o valor do presente estudo está próximo ao preconizado pelo NRC (2001) e ARC (1980) de 3,0 mg/kg de PC/dia para animais em crescimento.

O coeficiente de retenção de Mg sugerido pelo BR-CORTE 3.0 (2016) é de 35,5%, valor este pouco superior aos 29,5% proposto pelo presente estudo, que é superior às recomendações do coeficiente de absorção do NRC (2001) de 17%. Apesar da utilização de metodologias diferentes para estimar o mineral retido no corpo, as estimativas do coeficiente de retenção do presente estudo e do BR-CORTE 3.0 (2016) estão mais próximos comparados ao NRC (2001), indicando-nos mais uma vez valores similares para bezerros zebuínos, holandeses e cruzados Holandês × Gir criados em mesmas condições climáticas.

As exigências líquidas de Mg para ganho podem ser observadas na Figura 3, e nota-se que foram superiores às reportadas pelo BR-CORTE 3.0 (2016) e pelo NRC (2001), considerando o animal com PC variando de 40 a 100 kg e com o GMD e 1 kg. Contudo, as estimativas do BR-CORTE 3.0 (2016) foram geradas com bezerros Nelore, com até 180 dias de idade e 200 kg de PC, ou seja, animais mais velhos e com PC elevado. O NRC sugere recomendações fixas de 0,45 g/kg de GMD, independente do

peso corporal e do desempenho dos animais. Dessa forma, visto que 70% do Mg é encontrado nos ossos (McDowell, 1999) e com aumento do peso corporal a proporção de tecido ósseo no corpo diminui (Paulino et al., 199), estimativas obtidas com animais de PC elevado, assim como o fornecimento de quantidades fixas de Mg, independente do peso e do desempenho, pode subestimar as exigências de Mg de animais na fase inicial de vida, fornecendo quantidades insuficientes desse mineral na dieta, podendo comprometer o desempenho.

As exigências dietéticas foram 17,0% superiores às reportadas pelo BR-CORTE 3.0 (2016) e 37,6% inferiores a reportada pelo NRC (2001) (Tabela 5). A diferença pelo BR-CORTE 3.0 (2016) pode estar associada às distintas metodologia utilizada para estimar o mineral retido no corpo, e o peso dos animais utilizados nas estimativas, a qual implicou em menor exigência líquida de ganho e consequentemente dietética. Para o NRC (2001), acredita-se que a principal razão para a diferença observada esteja associada ao baixo coeficiente de absorção adotado por esse conselho, o que levou a superestimativa de exigência de Mg. Em adição, as recomendações do NRC (2001) são para animais com PC acima de 100 kg e quando extrapolado para animais com PC inferior implicou em superestimativa das exigências de Mg, contribuindo assim para o aumento do fornecimento deste mineral na dieta.

Sódio

As exigências de líquidas de Na para manutenção obtidas foram de 6,37 mg/PCVZ/dia ou 5,65mg/kg de PC, valor próximo ao sugerido pelo BR-CORTE 3.0 (2016) de 6,30 mg/kg de PC. O valor sugerido pelo NRC (2001) é de 15,00 mg/kg de PC. Indicando-nos, mais uma vez, similaridade quanto às exigências de Na para manutenção de bezerros criados em condições tropicais, sugerindo-nos ser o fator clima o principal responsável pelas variações encontradas.

O coeficiente de retenção encontrado no presente estudo foi de 24,28%, pouco inferior ao sugerido pelo BR-CORTE 3.0 (2016) de 37,10%. Entretanto, o presente estudo considera mineral retido aquele quantificado no corpo do animal, já o BR-CORTE 3.0 (2016) considera mineral retido aquele consumido menos as perdas via fezes e urina, não contabilizando as perdas pela saliva de 1,4 g/dia para cada 100 kg de PC para bovinos não aclimatados (Aitken 1976), superestimando a quantidade de Na retido no corpo e elevando o coeficiente de retenção. O NRC (2001) recomenda o valor 90% de coeficiente de absorção para o Na, entretanto esse sistema além de não contabilizar as perdas via saliva, não contabiliza as perdas pela urina, que é, em média, 38,6% do Na consumido (Costa e Silva et al., 2015)

As exigências líquidas de Na para ganho sugeridas foram 7,43% maior que a recomendada pelo BR-CORTE 3.0 (2016) (Figura 5), considerando um animal com PC variando de 40 a 100 kg e com o GMD de 1,0 kg/dia. Esta diferença pode ser atribuída principalmente ao peso corporal dos animais, uma vez que o BR-CORTE utilizou animais com PC de até 200 kg nas estimativas das exigências de ganho para bezerros. As recomendações de Na para ganho do NRC (2001) foram superiores ao do presente estudo, entretanto este conselho considera a exigência líquida de Na para ganho fixa de 1,40 g/kg de GMD, independente do PC, condições climáticas e da composição genética dos animais, lembrando que essa recomendação é para animais com peso corporal entre 150 a 600 kg, sendo que, para bezerros as recomendações sugeridas são de 0,40% no leite e 0,15% no concentrado, independente do consumo, peso corporal e desempenho dos animais.

Quando calculadas as exigências dietéticas de Na para animais com peso corporal variando de 40 a 100 kg e GMD de 1 kg, observou-se que as estimativas do presente estudo foram 1,6 e 2,3 vezes superior às reportadas pelo BR-CORTE 3.0 (2016

e ao NRC (2001), respectivamente (Tabela 5). As maiores exigências dietéticas de Na encontradas no presente estudo quando comparando a outros conselhos (NRC, 2001; BR-CORTE, 2016) pode ser atribuída principalmente às diferenças de metodologias aplicadas para estimar o coeficiente de retenção e/ou absorção de Na, o que contribuiu significativamente para aumento dos coeficientes citados por estes conselhos e consequentemente proporcionou menores valores de exigência dietética de Na.

Implicações

Em resumo, a composição genética não afetou as exigências dietéticas de macrominerais para bezerros durante a fase de aleitamento, uma vez que, pelo que notamos, grande parte das diferenças nas estimativas das exigências do presente estudo comparado a outros podem ser atribuídas ao efeito de condições climáticas, PC e metodologia. Ficando evidente a existência do efeito climático sobre as exigências nutricionais de minerais, entretanto, não se sabe quais são os principais fatores fisiológicos envolvidos. Pode-se notar também que a utilização de estimativas obtidas com animais de maior PC para bezerros em aleitamento ocasionará uma estimativa viesada. Finalmente, a utilização de metodologias diferentes nos leva a obtenção de diferentes valores e consequentemente diferentes estimativas das exigências dietéticas de macrominerais. Assim, diante da escassez de dados referentes às exigências nutricionais de minerais de bezerros lactentes, o presente estudo torna-se um grande avanço dos estudos nessa área. Entretanto, grandes diferenças foram observadas entre as recomendações propostas para bezerros lactentes criados em condições tropicais comparadas ao BR-CORTE 3.0 (2016) e ao NRC (2001). Dessa forma sugere-se a elaboração de mais estudos, validando as estimativas aqui encontradas e verificando efeitos a longo prazo com os valores aqui sugeridos.

Referências bibliográficas

- Agricultural And Food Research Council (AFRC). 1991. Technical committee on responses to nutrients, Report 6. A reappraisal of the calcium and phosphorous requirements of sheep and cattle. *Nut. Abs. Rev.*, 61(9):576-612.
- Agricultural Research Council (ARC). 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Agricultural Research Council, The Gresham Press, London, UK.
- Aitken, F.C. 1976. Sodium and Potassium in Nutrition of Mammals. Farnham Royal, Eng.: Commonwealth Agricultural Bureaux, Bucksburn, Aberdenn UK.
- AOAC. 2000. Official methods of the Association of the Agricultural Chemists. 17. ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Washington, DC.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Washington, DC.
- Chagas, J.C., M. A. Ferreira¹, A .P. Faciola, F. S. Machado, M. M. Campos, M. R. Entjes, J. L. Donzele, M. I. Marcondes. 2016. Effects of different methionine plus cysteine to lysine ratios on performance and body composition of suckling crossbred calves fed a commercial milk replace. *Animal*. (*under review*)
- Challa, J., and G.D. Braithwaite. 1989. Phosphorus and calcium metabolism in growing calves with special emphasis on phosphorus homoeostasis. 4. Studies on milk-fed calves given different amounts of dietary phosphorus but a constant intake of calcium. *J. Agric. Sci.* 113:285. doi:10.1017/S0021859600069951.
- Coelho Da Silva, J.F. 1995. Requirements for inorganic macroelements for cattle: the ARC / AFRC system and experience in Brazil (in Portuguese)." International Symposium on Nutritional Requirements of Ruminants. Viçosa, MG. Universidade

- Federal de Viçosa, 1995. p.467-504.
- Costa E Silva, L.F., S. De Campos Valadares Filho, T.E. Engle, P.P. Rotta, M.I. Marcondes, F.A.S. Silva, E.C. Martins, and A.T. Tokunaga. 2015. Macrominerals and trace element requirements for beef cattle. PLoS One 10:1–12. doi:10.1371/journal.pone.0144464.
- CSIRO. 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Collingwood, Australia
- Dias, J., M. I. Marcondes, K. A. Dill-McFarland, M. Fontes, R. T. Resende, F. S. Machado, H.C. Mantovani, and G. Suen, 2017. Effect of pre-weaning diet on the rumen archaeal, bacterial and fungal diversity of dairy calves. Front. Microbiol.(under review)
- Detmann, E., M. A. Souza, and S. C. Valadares Filho. 2012. Methods for feed analysis (in Portuguese). Brazilian Institute of Science and Technology in Animal Science, ed. Suprema, Visconde do Rio Branco, Brazil.
- Ellenberger, H.B., Newlander, J.A., Jones, C.H. Composition of the boies of dairy cattle. *Vermont Agr. Exp. Sta. Bull.* 1950;:558
- Ferrell, C. L., and T. G. Jenkins. 1998. 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. *J. Anim. Sci.* 76:647–657. <https://doi.org/10.2527/1998.762647x>.
- Fonseca, M.A., S.D.C. Valadares Filho, L.T. Henriques, P.V.R. Paulino, E. Detmann, E.A. Fonseca, P.D.B. Benedeti, and L.D. da Silva. 2012. Nutritional requirements of nursing Nellore calves *Rev. Bras. Zootec.* 41:1212–1221. doi:10.1590/S1516-

- Grace, N.D., F. Castillo-Alcala, and P.R. Wilson. 2008. Amounts and distribution of mineral elements associated with liveweight gains of grazing red deer (*Cervus elaphus*). *New Zeal. J. Agric. Res.* 51:439–449. doi:10.1080/00288230809510473.
- Gueguen, L., M. Lamand, and F. Meschy. 1989. Mineral requirements. Pp. 49– 56 in *Ruminant Nutrition: Recommended Allowances and Feed Tables*, R. Jarrige, ed. Institut National de la Recherche Agronomique.
- Hansard, S. L., C. L. Comar, M. P. Plumlee. 1954. The effects of age upon calcium utilization and maintenance requirements in the bovine. *J. Anim. Sci.* 13:25–26. 1954.
- Hansard, S. L., H. M. Crowder, W. A. Lyke. 1957. The Biological Availability of Calcium in Feeds for Cattle. *J. Anim. Sci.* 16:437–443. 1957.
- Hulbert, L.E., C.J. Cobb, J.A. Carroll, and M.A. Ballou. 2011. The effects of early weaning on innate immune responses of Holstein calves.. *J. Dairy Sci.* 94:2545–2556. doi:10.3168/jds.2010-3983.
- Jasper, J., and D.M. Weary. 2002. Effects of ad libitum milk intake on dairy calves.. *J. Dairy Sci.* 85:3054–3058. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74391-9.
- Jolomba, M.R. 2015. Energy and protein requirements of Holstein-Gir crossbred calves fed with milk added of milk replacer containing increasing levels of dry matter. MS Dissertation. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.
- Khan, M.A., H.J. Lee, W.S. Lee, H.S. Kim, K.S. Ki, T.Y. Hur, G.H. Suh, S.J. Kang, and Y.J. Choi. 2007. Structural Growth, Rumen Development, and Metabolic and Immune Responses of Holstein Male Calves Fed Milk Through Step-Down and

- Conventional Methods. *J. Dairy Sci.* 90:3376–3387. doi:10.3168/jds.2007-010
- McDOWELL, L. R. 1999. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. 3. ed. Gainesville: Universidade da Flórida. 93 p
- Miranda, E.N., A.C. De Queiroz, R.D.P. Lana, R. Mello, A.G. Júnior, F.D. De Resende, and G.F. Alleoni. 2006. Body composition and nutritional requirements of macrominerals of genetically selected Caracu and Nellore and ordinary Nellore young bulls. *Rev. Bras. Zootec.*
- Moulton, C., P. Trowbridge, and L. Haigh. 1922. Studies in Animal Nutrition II: Changes in proportion of carcass and offal on different planes of nutrition.
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 2001. Nutrients Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Oltenacu, P., and D. Broom. 2010. The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. *Anim. Welf.* 19:39–49.
- Padua, J.T., M.P. De Oliveira, L.A.F. Da Silva, L.D.S. Vieira, E.J. Figueirêdo, D.C.S.P. Morales, L.H.D. Carrijo, and A.F.D.C. Martins. 2003. Effects of castration methods and use of antihelminthic on weight gain of dairy crossbred cattle. *Ciência Anim. Bras.* 4:33–43.
- Paulino, M.F., C.A.D.A. Fontes, A.M. Jorge, A.C. De Queiroz, J.F.C. Silva, and P.G. Júnior. 1999. Body composition and macrominerals (Ca, P, Mg, Na and K) requirements of bulls, from four zebu breeds. *Rev. Bras. Zootec.* 28:634–641. doi:10.1590/S1516-35981999000300029.

- Rodrigues, J.P.P., J.C.M. Lima, M.M.D. Castro, S. de C.V. Filho, M.M. Campos, M.L. Chizzotti, and M.I. Marcondes. 2016. Energy and protein requirements of young Holstein calves in tropical condition. *Trop. Anim. Health Prod.* 48:1387–1394. doi:10.1007/s11250-016-1102-x.
- SAS Institute. 2008. SAS/STAT 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Schulz, E, H. J. Oslage, R. Daenicke. 1975. Body composition and deposition of nutrients and energy in growing, fattening bulls. *Fortschritte in der Tierphysiologie und Tierernährung* No. 4, 70.
- Signoretti, R.D., J.F.C. da Silva, S. de C. Valadares Filho, J.C. Pereira, G.G.L. de Araújo, P.R. Cecon, and A.C. de Queiroz. 1999. Body composition and net and dietary inorganic macroelements (Ca, P, Mg, K and Na) requirements of Holstein calves fed diets with different levels of forage. *Rev. Bras. Zootec.* 28:205–213. doi:10.1590/S1516-35981999000100029.
- Silva, A.L., M.I. Marcondes, E. Detmann, M.M. Campos, F.S. Machado, S.C.V. Filho, M.M.D. Castro, and J. Dijkstra. 2017. Determination of energy and protein requirements for crossbred Holstein × Gyr preweaned dairy calves. *J. Dairy Sci.* 100:1170–1178. doi:10.3168/jds.2016-11197.
- Suttle, N. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*. N. Suttle, ed. CABI, Wallingford.
- Underwood, E.J., N. F. Suttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*, 3rd ed. CAB International, Wallingford, UK.

- Valadares Filho S. C, L. F. Costa e Silva, M. P. Gionbelli, P. P. Rotta, M. I. Marcondes, M. L. Chizzotti, (2016) Nutrient Requirements of Zebu Beef Cattle – BR-CORTE. 3 ed. Viçosa, MG, Brazil: UFV, DZO, 2016.
- Véras, A, M.D.B.N., F. Ferreira, S. De Campos, V. Filho, L. Carlos, V. Ítavo, C.M. Veloso, M.F. Paulino, P.R. Cecon, P. Veiga, R. Paulino, E. Henrique, and B. Kling. 2002. Body Composition and Net and Dietary Macrominerals Requirements of Nellore Bulls. *Rev. Bras. Zootec.* 30:757–764.
- Wilson, B.K., M. Vazquez-Anon, D.L. Step, K.D. Moyer, C.L. Haviland, C.L. Maxwell, C.F. O'Neill, C.A. Gifford, C.R. Krehbiel, and C.J. Richards. 2016. Effect of copper, manganese, and zinc supplementation on the performance, clinical signs, and mineral status of calves following exposure to bovine viral diarrhea virus type 1b and subsequent *Mannheimia haemolytica* infection. *J. Anim. Sci.* 94:1123–1140. doi:10.2527/jas2015-9503.
- Yuangklang, C., T. Wensing, L. Van den Broek, S. Jittakhot, and A.C. Beynen. 2004. Fat digestion in veal calves fed milk replacers low or high in calcium and containing either casein or soy protein isolate.. *J. Dairy Sci.* 87:1051–6. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73251-8.

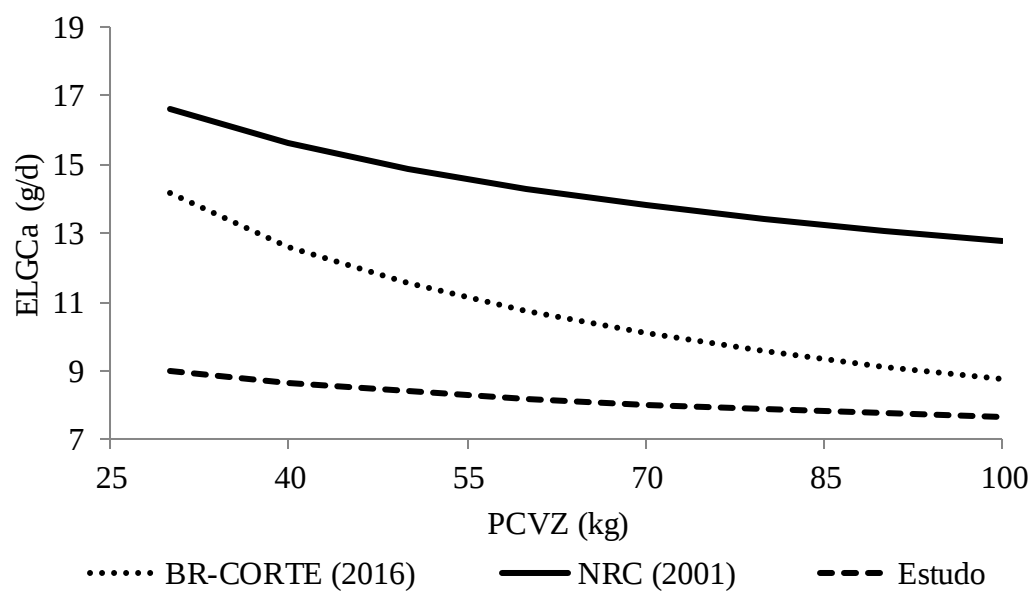


Figura 1: Representação gráfica das exigências líquidas de cálcio para ganho propostas pelo presente estudo, BR-CORTE 3.0 (2016) e NRC (2001), considerando GPCVZ = 1,0 kg/dia.

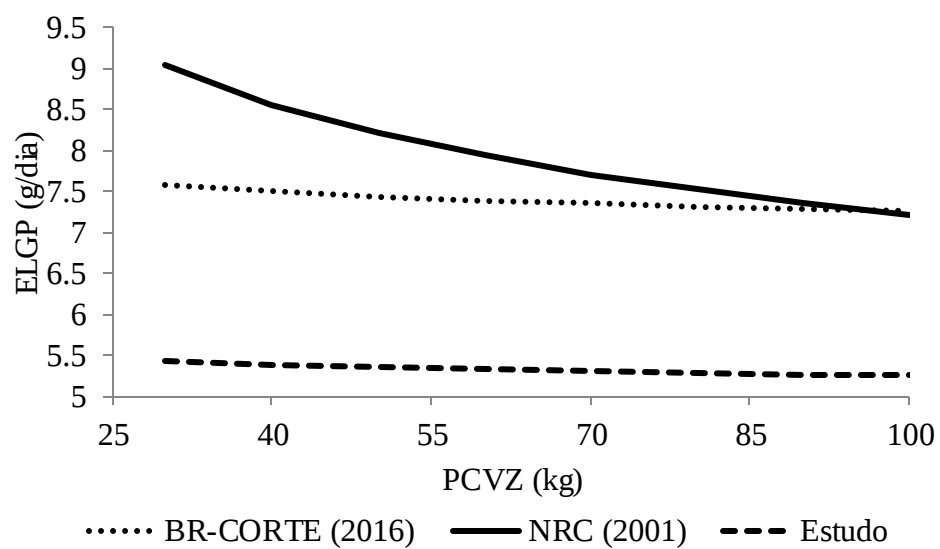


Figura 2: Representação gráfica das exigências líquidas de fósforo para ganho propostas pelo presente estudo, BR-CORTE 3.0 (2016) e NRC (2001), considerando GPCVZ = 1,0 kg/dia.

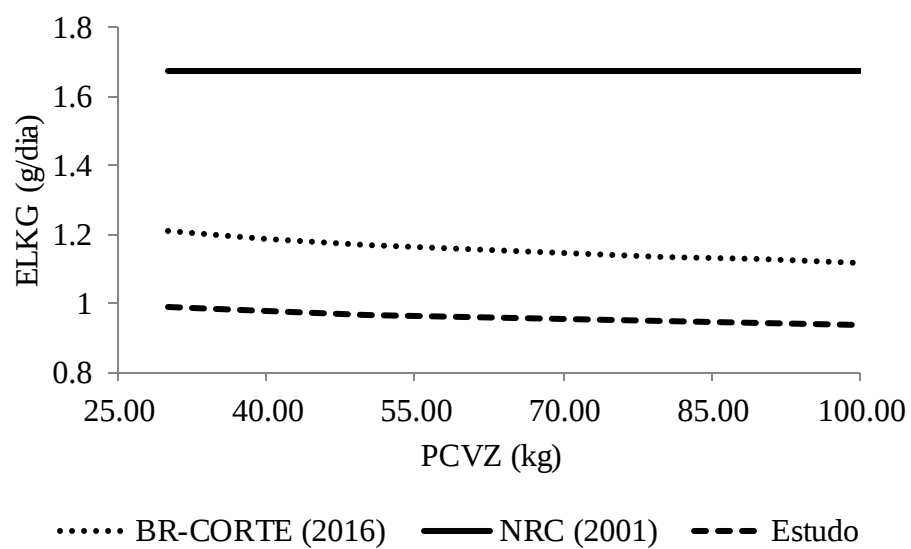


Figura 3: Representação gráfica das exigências líquidas de potássio para ganho propostas pelo presente estudo, BR-CORTE 3.0 (2016) e NRC (2001), considerando $GPCVZ = 1,0 \text{ kg/dia}$.

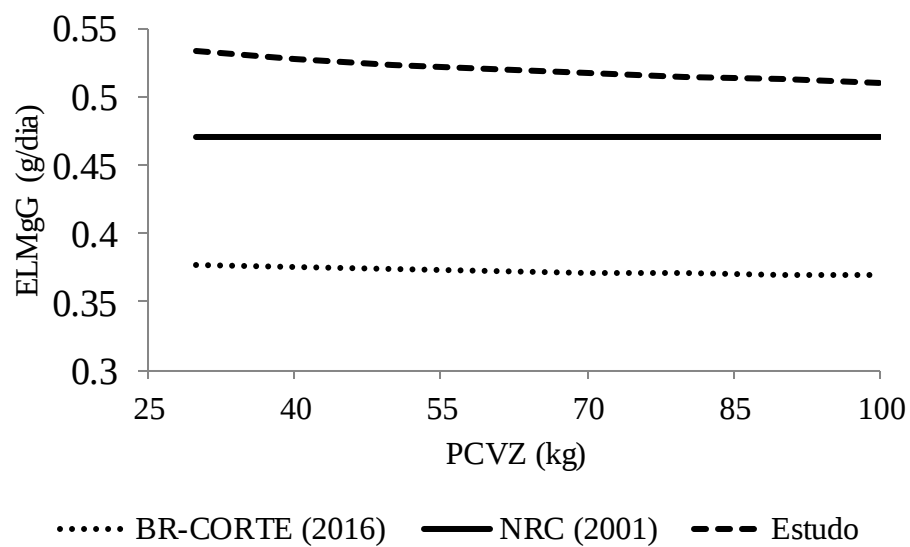


Figura 1: Representação gráfica das exigências líquidas de magnésio para ganho propostas pelo presente estudo, BR-CORTE 3.0 (2016) e NRC (2001), considerando GPCVZ = 1,0 kg/dia.

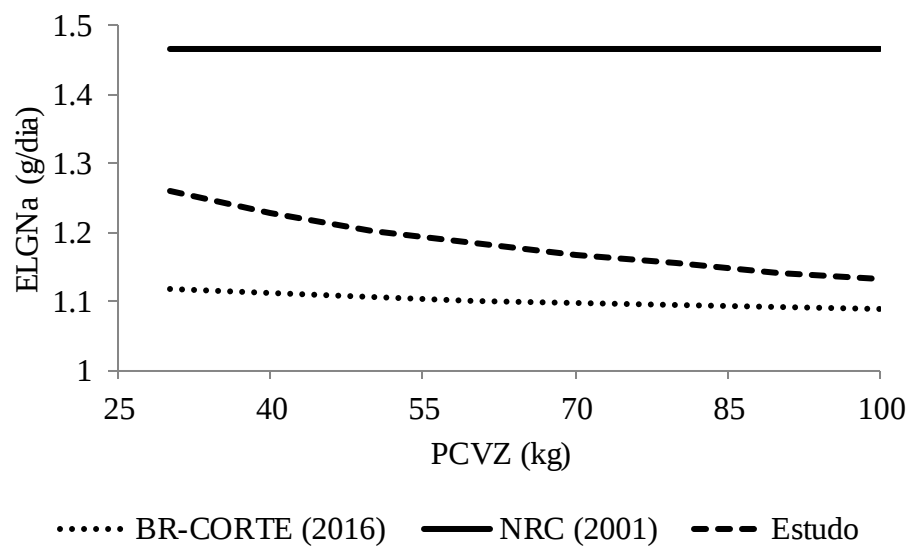


Figura 2: Representação gráfica das exigências líquidas de sódio para ganho propostas pelo presente estudo, BR-CORTE 3.0 (2016) e NRC (2001), considerando GPCVZ = 1,0 kg/dia.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados utilizados para estimar as exigências de macrominerais (Ca, P, K, Mg e Na) para manutenção, ganho e dietética de bezerras leiteiras

Grupo Genético	n	Item	kg		kg/d		Mineral retido (mg/PCVZ/d)					Mineral consumido (mg/PCVZ/d)					Conteúdo corporal final (g)				
			PCVZi	PCVZf	GMD	GPCVZ	Ca	P	K	Mg	Na	Ca	P	K	Mg	Na	Ca	P	K	Mg	Na
Holandes × Gir	97	Média	35,8	59,4	0,45	0,44	107,06	53,88	12,80	4,3	16,43	147,69	95,37	251,70	27,95	126,95	609,81	377,94	72,46	43,09	174,70
		Máximo	46,7	92,3	1,02	1,00	350,51	64,43	52,61	16,90	49,57	243,75	144,27	353,26	79,75	251,18	2330,97	1090,13	176,71	115,02	546,63
		Mínimo	21,5	35,5	-0,1	0,07	-54,91	-10,93	-32,12	-2,30	-21,97	56,40	51,29	138,39	12,36	48,96	298,93	164,39	10,68	5,71	22,01
		DP	5,23	16,5	0,3	0,28	78,88	34,12	16,19	3,74	15,64	41,15	24,79	62,22	14,97	55,85	307,58	166,22	51,20	31,64	121,35
Holandês	113	Média	34,6	60,4	0,45	0,43	98,89	53,83	15,70	5,38	18,73	165,29	108,31	273,40	29,27	122,88	594,06	328,24	90,87	35,11	66,54
		Máximo	47,9	93,5	0,89	0,86	316,63	122,47	64,42	19,13	89,77	256,86	165,55	401,89	59,02	255,56	1489,67	756,24	192,23	105,14	164,58
		Mínimo	23,7	20,5	-0,1	-0,08	-32,48	7,01	-10,93	-0,18	-18,35	75,37	53,95	127,26	8,93	50,93	289,77	146,36	25,15	9,92	6,40
		DP	5,32	16,7	0,24	0,22	86,57	26,49	11,95	5,78	19,92	39,42	23,43	54,79	13,88	61,38	243,92	116,95	37,57	27,56	40,97

PCVZi = peso de corpo vazio inicial (kg); PCVZf = peso de corpo vazio final (kg); GMD= ganho médio diário (kg/d) ; GPCVZ = Ganho de peso de corpo vazio (kg/d) e DP = desvio padrão e P-valor = efeito de grupo genético sobre as variáveis analisadas.

Tabela 2: Parâmetros das equações para estimar as exigências líquidas de manutenção (β_0) e o coeficiente de retenção (β_1) dos macrominerais cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na).

Minerais	β_0	EPM	P-valor ¹	β_1	EPM	P-valor ²	RQME	R ²
Ca	-12,725	22,359	0,739	0,7318	0,200	0,452	62,294	0,189
P	-11,805	13,339	0,572	0,6520	0,154	0,633	22,493	0,334
K	-20,280	9,021	0,495	0,1316	0,024	0,404	10,329	0,360
Mg	-3,500	0,970	0,137	0,2955	0,048	0,087	1,942	0,827
Na	-6,373	4,892	0,377	0,2428	0,144	0,054	24,218	0,018

p-valor¹ = efeito de grupo genético sobre a exigência líquida de manutenção; p-valor² = efeito de grupo genético sobre o coeficiente de retenção; EPM = erro padrão da estimativa do parâmetro; RQME = raiz do quadrado médio do erro; R² = coeficiente de determinação ajustado.

Tabela 3: Parâmetros das equações para estimar o logaritmo do conteúdo dos macrominerais cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na) no corpo

Minerais	β_0	EPM	β_1	EPM	RQME	R^2
Ca	1,223	0,166	0,862	0,097	0,106	0,436
P	0,779	0,205	0,973	0,117	0,109	0,499
K	0,075	0,128	0,958	0,122	0,079	0,650
Mg	-0,203	0,183	0,964	0,067	0,094	0,630
Na	0,198	0,250	0,955	0,095	0,082	0,659

β_0 e β_1 = parâmetros da equação; EPM = erro padrão da estimativa do parâmetro;

RQME = raiz do quadrado médio do erro; R^2 = coeficiente de determinação ajustado.

Tabela 4: Equações para estimativas das exigências líquidas de Ca, P, K, Mg e Na para ganho

Mineral	Equações para cálculo das exigências líquidas para ganho (g/dia)
Ca	$ELG_{Ca} = 14,402 \times PCVZ^{-0,139} \times GPCVZ$
P	$ELG_P = 5,849 \times PCVZ^{-0,027} \times GPCVZ$
K	$ELG_K = 1,140 \times PCVZ^{-0,048} \times GPCVZ$
Mg	$ELG_{Mg} = 0,603 \times PCVZ^{-0,036} \times GPCVZ$
Na	$ELG_{Na} = 1,508 \times PCVZ^{-0,045} \times GPCVZ$

em que: ELG_{Ca} = exigência líquida de Ca para ganho; ELG_P = exigência líquida de P para ganho; ELG_K = exigência líquida de K para ganho; ELG_{Mg} = exigência líquida de Mg para ganho; ELG_{Na} = exigência líquida de Na para ganho; PCVZ = peso de corpo vazio (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia).

Tabela 5: Exigências dietéticas (g/dia) dos macrominerais cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na) com base nas estimativas proposta pelo BR-CORTE, NRC (2001) e pelo presente estudo, para diferentes pesos corporais; considerando GPCVZ=1kg/dia

Estudo	PCVZ (kg)	Exigência dietética (g/d)				
		Ca	P	K	Mg	Na
Presente estudo	40	12,53	8,81	2,00	2,25	6,10
BR-CORTE 3.0 (2016)	40	23,18	11,91	4,52	1,76	3,72
NRC (2001)	40	23,28	13,64	3,76	3,56	2,38
Presente estudo	70	12,18	9,26	2,67	2,58	6,65
BR-CORTE 3.0 (2016)	70	19,45	12,30	5,95	2,27	4,21
NRC (2001)	70	21,44	13,18	5,18	4,16	2,94
Presente estudo	100	12,17	9,74	3,35	2,90	7,28
BR-CORTE 3.0 (2016)	100	17,80	12,78	7,40	2,78	4,72
NRC (2001)	100	20,69	13,25	6,60	4,75	3,50

Tabela S1: Comparação das variáveis utilizadas para estimativas das exigências dos macrominerais entre os grupos genéticos estudados

item	Holandês × Gir	Holandês	P-Valor
PCVZi (kg)	35,649	34,619	0,395
PCVZF (kg)	59,095	61,358	0,501
GMD (kg/d)	0,432	0,474	0,467
GPCVZ (kg/d)	0,422	0,446	0,529
Mineral consumido (mg/PCVZ/dia)			
Ca	147,490	164,240	0,206
P	97,843	104,807	0,279
K	251,770	276,164	0,278
Mg	34,657	32,762	0,765
Na	104,840	121,073	0,131
Mineral retido (mg/PCVZ/dia)			
Ca	108,684	97,727	0,443
P	42,429	49,690	0,393
K	12,953	15,735	0,67
Mg	7,711	6,521	0,284
Na	15,702	16,324	0,908
conteúdo de mineral final (g)			
Ca	606,790	594,974	0,814
P	365,750	328,251	0,260
K	77,373	76,427	0,919
Mg	41,619	40,483	0,732
Na	118,440	113,205	0,576

PCVZ_i = peso de corpo vazio inicial; PCVZ_f = peso de corpo vazio final; GMD = ganho médio diário; GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio; Ca = cálcio; P = fósforo; K = potássio; Mg = magnésio; Na = sódio.