

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA

RELAÇÕES METIONINA + CISTEÍNA:LISINA NA DIETA DE BEZERROS
MESTIÇOS LACTENTES

JUANA CATARINA CARIRI CHAGAS
- ZOOTECNISTA -

RECIFE - PE
NOVEMBRO/2016

JUANA CATARINA CARIRI CHAGAS

Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia (PDIZ), formado pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e Universidade Federal do Ceará (UFC), como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Comitê de orientação: Prof^o Marcelo de Andrade Ferreira, D.Sc.

Prof^o Marcos Inácio Marcondes, D.Sc.

RECIFE - PE
NOVEMBRO/2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Nome da Biblioteca, Recife-PE, Brasil

C433r Chagas, Juana Catarina Cariri
Relações metionina + cisteína: lisina na dieta de bezerros
mestiços lactentes / Juana Catarina Cariri Chagas. – 2016.
112 f. : il.

Orientador: Marcelo de Andrade Ferreira.
Coorientador: Marcos Inácio Marcondes.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia,
Recife, BR-PE, 2016.
Inclui referências e apêndice(s).

1. Sucedâneo 2. Metionina 3. Lisina 4. Desempenho de
bezerros 5. Abate comparativo 6. Composição corporal I. Ferreira,
Marcelo de Andrade, orient. II. Marcondes, Marcos Inácio, coorient.
III. Título

CDD 636

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes*

JUANA CATARINA CARIRI CHAGAS

Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

Tese defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em 09 de Novembro de 2016

Orientador:

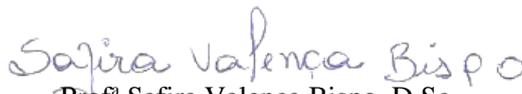


Prof^o Marcelo de Andrade Ferreira, D.Sc.
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Departamento de Zootecnia/DZ

Comissão Examindora:



Prof^a Antônia Sherlânea Chaves Vêras, D.Sc.
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Departamento de Zootecnia/DZ



Prof^a Safira Valença Bispo, D.Sc.
Universidade Federal da Paraíba, D.Sc.
Depatamento de Zootecnia/DZ



Pesquisadora. Ligia Maria Gomes Barreto, D.Sc.
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Depatamento de Zootecnia/DZ



Prof^o Airon Aperecido Silva de Melo, D.Sc.
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Depatamento de Zootecnia/DZ

RECIFE – PE
NOVEMBRO/2016

BIOGRAFIA

Juana Catarina Cariri Chagas, filha de Dielson Pessoa Chagas e Stella Maris de Miranda Cariri, nasceu em 21 de novembro de 1988, em Recife-PE. Em março de 2006, iniciou o curso de Graduação em Zootecnia na Universidade Federal Rural de Pernambuco, e concluiu o curso em agosto de 2011. Obteve título de mestre em Nutrição e Produção de Ruminantes em julho de 2013 na mesma instituição.

No mesmo ano, iniciou o curso de doutorado no Programa de Doutorado Integrado da Universidade Federal Rural de Pernambuco, sob orientação do professor Marcelo de Andrade Ferreira. Em agosto de 2014 ingressou no programa de mobilidade acadêmica, em que desenvolveu atividades de pesquisa na instituição de ensino, Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do professor Marcos Inácio Marcondes. E em novembro de 2016, submeteu-se à defesa da sua tese para obtenção do título de *Doctor Scientiae* em Nutrição de Ruminantes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as coisas que me proporcionou sempre, a saúde, a alegria de viver todos os dias e aos queridos amigos e familiares que dão sentido à minha vida.

Aos meus pais, Dielson e Stella, e meu avô, Abidias Cariri, que são tão pacientes e compreensivos com minha ausência. Eles são também a minha base mais sólida para realização de tantos sonhos.

À CAPES pela concessão da bolsa.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, por minha formação, e em especial, ao Departamento de Zootecnia e seus professores.

Ao professor Marcelo de Andrade Ferreira pela orientação, confiança, incentivo, paciência, dedicação aos seus alunos e ensinamentos.

Aos professores Francisco Carvalho, Marcílio de Azevedo, Sherlânea Vêras, Janaína Lima, Airon Melo e Safira Bispo, pelas atividades solicitadas e participação no exame de qualificação. Agradeço pelas valiosas considerações que foram essenciais para condução dos capítulos apresentados na presente tese e aprendizado.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial, ao Departamento de Zootecnia, aos seus professores e funcionários. A UFV foi onde cursei grande parte do doutorado sendo assim ambiente de grande aprendizado, aperfeiçoamento profissional e crescimento pessoal.

Ao professor Edenio Detmann por viabilizar as análises laboratoriais e os grandes ensinamentos.

Ao professor Juarez Donzele pelo apoio à nossa pesquisa e aos ensinamentos.

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiças lactentes

Ao amigo e professor, Marcos Inácio Marcondes, pelos ensinamentos, confiança, atenção, incentivo e sobre tudo, a oportunidade de desenvolver a pesquisa e orientação durante o período na UFV.

Ao amigo Luiz Fernando Costa e Silva pela paciência, ensinamentos e grande ajuda para o desenvolvimento da tese.

Aos estagiários e amigos Alexandre da Rocha, Adriana Oliveira, Ryoni Entjes, e o grupo de pesquisa GEPEL da UFV, sem a ajuda e apoio de vocês, seria impossível conduzir o experimento e desenvolver as etapas subsequentes para elaboração da tese.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA Gado de Leite, em especial às pesquisadoras Mariana Campos e Fernanda Machado.

À Marcia de Oliveira Franco pelo carinho, companheirismo, dedicação e apoio durante essa jornada.

À Érica Schultz pelo apoio durante a condução do experimento e a amizade.

Aos amigos do gado de leite, Alex, João, Dayanne, Dani Oss, Ronan, Marcelo Morcego, Marcelo Marcelin, Anderson, Wagner, Marta, Andreia, Laís, Anna e Luisa. Obrigada pela convivência tão construtiva.

Aos amigos, Palele, William, Gabriel, Polyana, Ana Clara, Diego Zanetti, Javier, Herlon, Rosana, Macaé, Julyana Sena, Michelle Siqueira, Jonas Inácio. Obrigada pelo companheirismo e ajuda nas horas de sufoco.

À Mariane Viterbo, pela atenção, paciência, apoio e carinho nos dias de luta e nos dias de glória.

Aos queridos amigos que me acompanharam durante tantas fases, Tobias Neto, Renan Rubens, Ana Beatriz e Cynthia Mayara. Obrigada pelo carinho, apoio e risadas.

Ao querido amigo Edson Júnior e tia Vilma, pelo apoio e carinho, principalmente nos momentos mais difíceis que enfrentei nessa jornada.

SUMÁRIO

	Página
Lista de Tabelas	x
Lista de Figuras	xi
Resumo Geral	13
Abstract	15
CAPÍTULO 1: Referencial Teórico	
Aminoácidos essenciais na dieta de animais lactentes	17
1. Introdução.....	17
2. Aminoácidos e suas funções.....	18
3. Aminoácidos para animais de produção em fase de aleitamento.....	23
4. Aminoácidos para bezerros lactentes.....	27
5. Papel dos aminoácidos na imunidade de bezerros lactentes.....	35
6. Considerações Finais.....	38
Referências bibliográficas.....	39
CAPÍTULO 2	
Relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina para bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial	46
Resumo.....	46
Abstract.....	48
Introdução.....	49
Material e Métodos.....	51
Resultados.....	57
Discussão.....	60
Referências Bibliográficas.....	66
CAPÍTULO 3	
Exigências de energia e proteína para bezerros mestiços Holandês x Gir lactentes alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico	79
Resumo.....	80
Abstract.....	81
Introdução.....	82

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

Material e Métodos.....	83
Resultados e Discussão.....	90
Conclusões.....	97
Referências Bibliográficas.....	98
Considerações Finais.....	107
Apêndices.....	109

Lista de Tabelas

	Páginas
<i>Capítulo 1</i>	
Tabela 1. Classificação nutricional dos aminoácidos de acordo com a essencialidade	19
Tabela 2. Principais funções dos aminoácidos essenciais	21
Tabela 3. Requerimentos de aminoácidos propostos por diferentes autores, para ganhos e idades distintas	30
<i>Capítulo 2</i>	
Tabela 1. Composição química do sucedâneo comercial e das dietas experimentais com diferentes relações Met+Cys:Lys para bezerros lactentes	70
Tabela 2. Relação de aminoácidos essenciais em função da lisina.	71
<i>Capítulo 3</i>	
Tabela 1. Análise descritiva dos dados de peso corporal (PC), ganho médio diário (GMD), peso de corpo vazio (PCVZ) e ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) para o banco de dados de 43 bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico	103
Tabela 2. Composição bromatológicas dos componentes dietéticos, consumo e digestibilidade dos nutrientes, matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM) e carboidratos totais (CT), para bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico	104

Lista de Figuras

<i>Capítulo 2</i>	Páginas
Figura 1. Digestibilidade aparente de nutrientes de bezerros mestiços lactentes em diferentes fases fisiológicas: neonatos (BNO) e pré-desmame (BPD), alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina + cisteína e lisina (RMCL)	72
Figura 2. Ganho de peso médio diário (GMD) de bezerros mestiço lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina (RMCL). Bezerros neonatos (BNO) e bezerros pré-desmame (BPD)	73
Figura 3. Ganho corporal em proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral de bezerros mestiços lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas metionina+cisteína e lisina (RMCL). Bezerros neonatos (BNO) e bezerros pré-desmame (BPD)	74
Figura 4. Ganho em proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral no componente corporal carcaça de bezerros mestiços lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina (RMCL). Bezerros neonatos (BNO) e bezerros pré-desmame (BPD)	75
Figura 5. Ganho em proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral no componente corporal órgãos e vísceras de bezerros mestiços lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina (RMCL). Bezerros neonatos (BNO) e bezerros pré-desmame (BPD)	76
Figura 6. Proteína bruta no corpo vazio de bezerros mestiços lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina (RMCL) para bezerros abatidos aos 60 dias.	77
Figura 7. Extrato etéreo no corpo vazio de bezerros mestiços lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina (RMCL) para bezerros abatidos aos 60 dias	78

Capítulo 3

- Figura 1.** Relação entre energia retida (ER) e consumo de energia metabolizável (CEM) para bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial e complexo aminoacídico 105
- Figura 2.** Relação entre nitrogênio aparente absorvido (NAA) e nitrogênio consumido (CN), como função do peso metabólico, para bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial e complexo aminoacídico 106
- Figura 3.** Relação de consumo de proteína metabolizável (CPM) e proteína retida para bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial e complexo aminoacídico 107

RESUMO

O trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da modificação do perfil de aminoácidos na dieta de bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial sobre a digestibilidade de nutrientes, desempenho, composição corporal, composição do ganho dos componentes corporais e prever as exigências nutricionais energia e proteína para bezerros de até 60 dias. A primeira parte do estudo teve como objetivo específico avaliar os efeitos do fornecimento de quatro relações dietéticas de metionina+cisteína:lisina para bezerros mestiços lactentes sobre o desempenho animal e a composição corporal para dois grupos de idades distintos. Trinta e seis bezerros machos Holandês x Gir foram separados em dois grupos de idades: dezesseis bezerros neonatos (BNO), que foram abatidos aos 30 dias de idade, representando a fase fisiológica de 8 a 30 dias de vida; e vinte bezerros pré-desmame (BPD), representando a fase fisiológica de 30 a 60 dias de vida. Ao oitavo dia de vida os bezerros foram distribuídos aleatoriamente entre os tratamentos experimentais: quatro relações dietéticas de metionina + cisteína e lisina (RMCL: 44; 48; 52; e 56%), que foram permitidas a partir da adição de aminoácidos adicionalmente ao fornecimento de 1,0 kg (matéria natural; MN) de sucedâneo comercial reconstituído à 13,8% matéria seca (MS), diariamente. Sete animais foram destinados para compor o grupo referência que foram abatidos aos oito dias de vida. Os dados de ganho médio diário, composição de ganho e composição corporal foram avaliados para os dois grupos de idade separadamente. As digestibilidades aparentes de MO (matéria orgânica; $P < 0,01$); PB (proteína bruta; $P < 0,01$) e EE (extrato etéreo; $P < 0,01$) foram menores para BNO. A digestibilidade de carboidratos totais não variou em função das RMCL ($P > 0,05$). Os BNO não apresentaram respostas significativas no desempenho em função dos tratamentos. Para os BPD, foi possível observar respostas no desempenho e a RMCL ótima estimada que proporcionou melhor performance situou-se entre 52,33 e

53,93%, em função do maior ganho médio diário e maior conteúdo de proteína no corpo. A segunda parte do estudo teve como objetivo específico apresentar informações sobre as estimativas de exigências de energia e proteína para bezerros mestiços alimentados com sucedâneo comercial. Além dos 43 bezerros descritos na primeira parte do estudo, foram introduzidos ao banco de dados mais sete bezerros que compuseram o grupo de animais manutenção, abatidos aos 30 dias de idade. A dieta utilizada, bem como os tratamentos experimentais foram os mesmos utilizados na primeira parte do estudo; contudo, os animais foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado nas RMCL e foram avaliados como um só grupo. As diferentes RMCL foram testadas para os modelos e não foi observado efeito significativo sobre as exigências de energia e proteína ($P > 0,05$). As exigências de energia líquida para manutenção (EL_m) foram de 75,2 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, com uma eficiência de utilização de energia para manutenção (k_m) de 67,38%. A equação de estimativa das exigências de energia líquida para ganho (EL_g; Mcal/dia) foi: $ER = 0,0879 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,7380}$, com eficiência de utilização da energia para ganho (k_g) de 47,57%. As exigências estimadas para proteína metabolizável para manutenção (PM_m) foram de 4,83 g/PCVZ^{0,75}/dia. A equação para obter a estimativa de exigências para proteína líquida para ganho (PL_g; g/dia) foi: $PLg = GPCVZ \times 246,73 \times PCVZ^{-0,1204}$, com eficiência de uso de proteína para ganho (k) de 71,55%. As exigências reportadas para energia e proteína se apresentaram maiores do que os valores reportados para bezerros alimentados com leite, sugerindo que sucedâneos são utilizados por bezerros com até 60 dias de vida de forma menos eficiente quando comparados com o leite integral.

Palavras-chave: suplemento aminoacídico, desempenho de bezerros, abate comparativo, composição corporal.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate effects of amino acid profile modification in crossbred calves diet fed milk replacer on nutrient digestibility, performance, body composition, gain composition of body components, and determine nutritional requirement for calves up to 60 days fed milk replacer. First part of the study aimed evaluating effects of four different dietary relationship of methionine + cysteine:lysine for crossbred calves on animal performance and body composition for two different ages' groups. Thirty-six Holstein-Gyr male calves were separated in two groups: sixteen newborn calves (NBC), which were slaughtered at 30 days-old, representing a physiological phase from 8 to 30 days-old; and twenty pre-weaned calves (PWC), which were slaughtered at 60 days-old, representing a physiological phase from 30 to 60 days-old. At eight days of age, the animals were randomly distributed among the experimental treatments: four methionine + cysteine: lysine dietary ratios (MCLR: 44; 48; 52; and 56%), that were provided by an amino acid supplement added to 1.0 kg (wet basis) of commercial milk replacer reconstituted at 13.8% (dry matter basis). The effect of MCLR on the digestibility of nutrients was not observed, as well as no significance was observed regarding the interactions between physiological phase and MCLR. For the NBC group, there were no responses observed in performance according to different MCLR. PWC responded positively to higher methionine + cysteine: lysine ratios; In conclusion, an optimal MCLR to allow the best performance and protein gain should be between 52.33 and 53.93%. The second part aimed presenting information on the estimates of energy and protein requirements for crossbred calves fed milk replacer. In addition to the 43 calves described in the first part of the study, there were introduced to the database studied, seven calves that made up the maintenance group, that were slaughtered at 30 days of age. The diet and the experimental treatments were the same used in the first part of the study; however,

the animals were distributed in a completely randomized design between MCLR and were evaluated as compound group. Different MCLR were tested for models and there was no significant effect on the energy and protein requirements ($P > 0.05$). The net energy requirements for maintenance were $75.2 \text{ kcal/EBW}^{0.75}/\text{day}$, energy utilization efficiency for maintenance of (k_m) 67.38%. The prediction equation of net energy requirements for gain (Mcal/day) was: $RE = 0.0879 \times \text{EBW}^{0.75} \times \text{EBWG}^{0.7380}$, as energy utilization efficiency for gain of (k_g) 47.74%. The requirements estimated for metabolizable protein for maintenance were $4.83 \text{ g/EBW}^{0.75}/\text{day}$. The equation for the estimated requirements for liquid protein to gain (g/day) was: $NP_g = \text{EBWG} \times 246.73 \times \text{EBW}^{-0.1204}$, as protein utilization efficiency for gain of (k) 71,55%. The requirements of energy and protein reported presented are higher than the values reported for calves fed with milk. It suggests that milk replacers are used, for calves up to 60 days, less efficiently when compared with whole milk.

Key words: amino acids supplement, calves performance, comparative slaughter, body composition.

CAPÍTULO 1: Referencial teórico**Aminoácidos essenciais na dieta de bezerros lactentes****1. Introdução**

As proteínas são as macromoléculas biológicas mais importantes para a manutenção da vida. O termo proteína deriva do grego, *protos*, que significa “a primeira” (Nelson & Cox, 2012). As proteínas são a chave de muitas funções biológicas, atuando como reguladoras do metabolismo, enzimas e hormônios (insulina, ocitocina e hormônios paratireoidianos); transportando elemento para as diferentes partes do corpo, hemoglobina (O₂) e citocromo (elétrons); compondo o tecido nucleico, como as nucleoproteínas; defendendo o organismo (imunoglobulinas); fonte de nutrientes e de reserva, servindo de fonte alternativa de energia quando a dieta é deficiente em fontes convencionais de energia (carboidratos e lipídios); e também compondo as estruturas celulares de membranas, músculos e tecido conjuntivo.

Por estar envolvida em diversos fatores vitais acima descritos, a disponibilidade da proteína na dieta dos animais de produção demanda cuidados e desafios, e a partir de diversos estudos, o conceito de fornecimento de proteína para os animais vem sendo modificado ao longo do tempo. Atualmente o conceito de proteína ideal (perfil aminoacídico) está bem definido para os monogástricos, como sendo mistura de aminoácidos ou de proteínas com total disponibilidade de digestão e metabolismo, capaz de fornecer, sem excessos nem deficiências, as necessidades absolutas de todos os aminoácidos exigidos para manutenção e produção animal, para favorecer a deposição proteica com máxima eficiência (Parsons & Baker, 1994). Ao passo que na nutrição de ruminantes, os cuidados com o perfil aminoácido nas dietas é mais discreto, uma vez que a fonte mais importante de proteína na dieta desses animais é a própria proteína

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes microbiana, com perfil aminoácido considerado de alta qualidade e alto valor biológico (Köster et al., 2002; Cheeke, 2002).

Isso não significa dizer que a suplementação aminoacídica ou estabilização de requerimentos de aminoácidos não se façam necessários para ruminantes. Dentre as diversas razões que demandam os estudos nessa área, poderíamos destacar desempenho de animais de reposição em fase de aleitamento. Isso se deve ao fato de os bezerros serem considerados pré-ruminantes até o desmame com subdesenvolvimento ruminal. Sendo assim, a modificação no perfil aminoacídico da dieta desses animais tem expressão maior do que em ruminantes adultos.

Outros dois aspectos chamam a atenção para o estudo de aminoácidos em animais lactentes que são a necessidade de aminoácidos essenciais para a alta atividade de deposição do tecido muscular nessa fase e o perfil de aminoácidos das fontes proteicas presentes no concentrado inicial e nos substitutos do leite. Ademais, aminoácidos específicos estão envolvidos nos processos imunes, como por exemplo, a metionina e a cistina, assim também se fazendo necessário o entendimento metabólico desses componentes para aplicação no manejo nutricional de bezerros neonatos.

Desta forma, objetivou-se por meio deste estudo, abordar as funções específicas, importância, metabolismo e interações dos aminoácidos; bem como a atividade imune e os efeitos adversos do desbalanço aminoacídico para bezerros lactentes.

2. Aminoácidos e suas funções

Plantas e vários microrganismos são capazes de sintetizar proteína a partir de simples compostos nitrogenados como, por exemplo, o nitrato. Já os animais não são capazes de sintetizar o grupo amina. Assim, para manter as funções do organismo, desde as vitais até as funções relacionadas a ganho e reprodução, os animais precisam ser

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes* alimentados com fontes de aminoácidos. Por outro lado, alguns aminoácidos podem ser produzidos a partir de outros, como é o caso da metionina que pode ser convertida em cistina em até 50%, ou até mesmo da tirosina, que é disponibilizada no organismo a partir da fenilalanina. Como base nessa diferenciação, os aminoácidos são classificados em essenciais e não essenciais.

Em geral, animais não ruminantes recebem os aminoácidos essenciais na dieta, contidos nos grãos ou em forma de suplementação aminoacídica. Já os ruminantes, que também requerem esses aminoácidos, tem como fonte primária a proteína microbiana.

Na Tabela 1 estão apresentados os aminoácidos em função da condição de essencialidade ou não no organismo. D'Mello (2003) considerou a condicionalidade essencial aos aminoácidos cistina, tirosina, arginina, prolina e taurina. Glutamina e cisteína são condicionalmente essenciais para neonatos em condições estressantes. A arginina é considerada condicionalmente essencial para mamíferos jovens de forma geral incluindo humanos, suínos e ratos. A prolina é essencial para suínos e peixes e a taurina é essencial para carnívoros em geral, como por exemplo, gatos.

Tabela 1. Classificação nutricional dos aminoácidos de acordo com a essencialidade

Essencial		Não essencial
Comum	Condicionalmente essencial	
Lisina	Cisteína (neonatos)	Glutamato
Histidina	Arginina	Glutamina
Leucina	Glutamina	Glicina
Isoleucina	Arginina	Serina
Valina	Taurina (gatos)	Alanina
Metionina	Prolina (leitões)	Aspartato
Treonina		Asparagina
Triptofano		Cistina
Fenilalanina		Prolina
		Tirosina
		Taurina

Adaptado: D'Mello (2003).

Os aminoácidos são responsáveis por múltiplas funções no organismo, e vão além da síntese de tecidos e hormônios como fonte primária, como por exemplo: metabolismo imune, osmoregulação, degradação de proteína, síntese de DNA e RNA, regulação do metabolismo, pigmentação, reprodução, lactação, entre outros.

Uma dieta rica em aminoácidos irá estimular a síntese de tecido muscular, entretanto inicialmente esse processo anabólico se dará pelo fato de haver mais substrato disponível para formação muscular no sítio de síntese. É possível que aminoácidos individuais possam sinalizar moléculas reguladoras de tradução de RNA mensageiro (mRNA), como por exemplo, a leucina que tem a capacidade de estimular a síntese proteica muscular (Anthony et al., 2000).

Embora muitas das funções dos aminoácidos essenciais no organismo estejam bem estabelecidas (Tabela 2; Wu, 2009), as ações dos aminoácidos em nível molecular ainda continuam sendo uma das grandes áreas de interesse das pesquisas em nutrição animal da atualidade.

Além das funções individuais dos aminoácidos no metabolismo, são também descritos por Wu (2009), funções de produtos oriundos de dois ou mais aminoácidos no metabolismo:

- Arginina e a metionina: produzem poliaminas que tem como funções a expressão gênica, síntese de proteína e DNA, funções dos canais iônicos, sinal para transdução (conversão de estímulo em outro estímulo), autodestruição celular, antioxidantes, funções celulares, proliferação e diferenciação celular;
- Arginina, metionina e glicina: produzem creatinina que tem funções antioxidantes, antiviral, antitumoral, está envolvida no metabolismo energético do músculo e do cérebro e está relacionada com o desenvolvimento e função muscular e neurológica;

- Lisina, metionina e serina: produzem a carnitina que é responsável por transportar ácidos graxos de cadeia longa para dentro da mitocôndria para o processo de oxidação; também é responsável pelo estoque de energia na forma de acetilcarnitina e age como antioxidante.

Tabela 2. Principais funções dos aminoácidos essenciais

Aminoácidos	Produto formado	Funções relacionadas
Lisina	-	Regulação da síntese do óxido nítrico; atividade antiviral; proteína de metilação, acetilação, ubiquitinação, glicosilação.
Histidina	Heme	Hemoproteínas (hemoglobina, mioglobina, catalase); sinalização molecular.
	—	Metilação proteica; estrutura da hemoglobulina e funcionalidade; dipetítídeos antioxidativos.
	Histamina	Reação alérgica, vasodilatador; central de secreção de acetilcolina; regulação das funções do trato gastrointestinal.
	Ácido Urocânico	Modulador de respostas imunes na pele.
Isoleucina	—	Síntese de glutamina e alanina; balanço entre aminoácidos de cadeia ramificada.
Leucina	—	Regulação do <i>turnover</i> proteico através da sinalização e expressão gênica do mecanismo alvo da rapamicina; ativador de glutamato desidrogenase; balanço de aminoácidos de cadeia ramificada; intensificador de sabor.
Metionina	Hemoglobulinas	Regulação de respostas imunes.
	OH-Lisina	Estrutura e função do colágeno.
	Homocisteína	Oxidante; inibição da síntese de oxidação nítrica.
	Betaína	Metilação da homocisteína para metionina; metabolismo da unidade de carbono.
	Colina	Síntese de betaína, acetilcolina, fosfatilcolina e sarcosina.
	Cistina	Metabolismo celular e nutricional.
	Taurina	Antioxidante; osmorregulador; desenvolvimento dos órgãos; funções muscular, cardíaca, vascular e da retina; anti-inflamatório.
Fenilalanina	—	Ativador de síntese de BH ₄ que é cofator da oxidação nítrica; Síntese de tirosina; função e desenvolvimento neurológico.
Treonina	—	Síntese de mucina; funções imunes; síntese de glicina; glicosilação O-ligada e fosforilação proteica.
Triptofano	Serotonina	Neurotransmissor; inibidor inflamatório de citosinas e superóxidos.
	N-acetilserotonina	Inibidor de síntese de BH ₄ ; antioxidante; inibidor dos produtos inflamatórios de citocinas superóxidos.
	Melatonina	Antioxidante; inibidor de produtos inflamatórios de citosinas e superóxidos.
Valina	—	Síntese de glutamina e alanina; balanço entre aminoácidos de cadeia ramificada.

Adaptado: Wu (2009).

2.1. Aminoácidos como precursores de moléculas bioativas

Independentemente da posição bioquímica ou classificação nutricional, os aminoácidos estão envolvidos em diversas rotas condutoras de síntese de importantes moléculas bioativas. Alguns aminoácidos são precursores de neurotransmissores e certos hormônios, enquanto outros estão envolvidos no transporte de nitrogênio e na manutenção da integridade da membrana celular.

Os principais neurotransmissores são sintetizados por aminoácidos como ácido gama-aminobutírico (também relacionado com tônus muscular), serotonina, dopamina, noradrenalina e óxido nítrico. As concentrações dos neurotransmissores no cérebro estão sujeitas ao controle dos precursores desses na dieta. Assim, dietas desbalanceadas em aminoácidos também podem comprometer a produção e regulação dos neurotransmissores, no entanto os resultados que sustentam essa hipótese são bastante divergentes (D'Mello, 2003).

A arginina tem como principal direcionamento no metabolismo de mamíferos, a ação no ciclo da ureia permitindo a eliminação de nitrogênio em excesso no organismo. Além disso, desempenha papel importante no metabolismo das células intestinais e está envolvida na precursão de substratos que iniciam a síntese de proteína para deposição muscular.

Outra molécula bioativa importante é a homocisteína, chave intermediária no metabolismo de aminoácidos sulfurados. A homocisteína está envolvida no processo de síntese de cistina e taurina a partir da remetilação da metionina.

Os aminoácidos atuam como moduladores imunes, com destaque para os aminoácidos sulfurados, como o caso da cistina que funciona como sinal imunoregulatório entre macrófagos e linfócitos. Alguns estudos abordam as exigências desses aminoácidos em função da atividade imune e produção de anticorpos, como por

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

exemplo, para galinhas em que o nível ótimo de metionina seria maior para produção de anticorpos, do que o nível ótimo estimado para ganho e crescimento (Swain & Johri, 2000), no entanto essa área ainda demanda maiores elucidações (D’Mello, 2003).

Por fim, dentre as moléculas bioativas, tem-se a 3-metilhistidina, único aminoácido que ocorre nos filamentos actina e miosina da proteína muscular e é sintetizada a partir de processos anabólicos e catabólicos de proteína. É considerada um indicador, tanto da degradação quanto da síntese proteica, para espécie bovina (exceção urinária quantitativa) no evento de *turnover*, por ser um metabólito desse fenômeno, e assim não pode participar novamente do metabolismo proteico, sendo por fim excretado do organismo.

3. Aminoácidos para animais de produção em fase de aleitamento

O maior desafio para a produção animal é formular uma dieta que atenda às exigências em nível de manutenção e produção, de acordo com a fase fisiológica. Assim, o balanceamento de dietas é a base para sucesso da produção, mas também é, sem dúvidas, um dos componentes mais caros durante o processo. Na dieta animal são necessárias fontes de energia, vitaminas, minerais, fibra e proteína, sendo a última de grande importância, como já abordado, e de maior valor agregado. No entanto, maximização de eficiência do uso de proteína e aminoácidos é uma ferramenta para a redução de custos com alimentação, sendo possível ajustar muitas vezes o produto final às características mercadológicas específicas (Han & Lee, 2000).

Ao longo de 20 anos, muitos esforços têm sido direcionados para definição dos requerimentos ótimos de aminoácidos para animais de produção, incluindo suínos (Wu et al., 2004), ruminantes (Firkins et al., 2006), aves (Baker, 2008), peixes (Li et al., 2007) e humanos (Elango et al., 2009), sob várias condições nutricionais, de desenvolvimento,

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

ambientais e patológicas. Os aminoácidos considerados essenciais para animais ruminantes são os mesmos para animais não ruminantes (arginina, felilalanina, histidina, isoleucina, lisina, metionina, treonina, triptofano e valina), exceto a glicina, que é essencial para aves (NRC, 2001).

A principal vantagem de utilizar aminoácidos em perfeito balanço na dieta dos animais é promover melhor desempenho, aumento da deposição de músculo na carcaça de suínos, maior produção de ovos para aves poedeiras ou maior proporção de substratos para produção de leite em vacas, por exemplo. A maior parte dos estudos é voltada para animais em fase de crescimento e terminação ou em alta produtividade, negligenciando a fase neonatal. Essa é uma fase caracterizada pela onerosidade em função da qualidade dos ingredientes dietéticos e altos custos com manejo e sanidade (Drakley, 2008); no entanto retorno financeiro não imediato. Entretanto, esses animais serão posteriormente utilizados como animais de reposição no rebanho no caso das fêmeas, ou serão utilizados para terminação, no caso de bezerros ou leitões machos, havendo expressivamente a necessidade de esforços para atender às demandas nutricionais dessa fase.

Neonatos apresentam os sistemas regulatório e digestivo subdesenvolvidos e passam por fatores estressantes com o ambiente pós-nascimento (Wu & Knabe, 1994). Em função dos mamíferos recém-nascidos não consumirem alimentos sólidos, o leite da mãe é a única fonte de aminoácidos exógenos para síntese de proteínas, neurotransmissores, poliaminas, purinas, nucleotídeos, creatina, carnitina e outras moléculas biológicas importantes. Como exemplo, a glicina, histidina e taurina, são varredores de radicais livres e possivelmente ajudam na prevenção ou no alívio potencial de distúrbios intestinais. Assim, o leite tem papel vital na sobrevivência e crescimento dos neonatos.

3.1. *Lisina como primeiro aminoácido limitante para crescimento*

Os estudos com aminoácidos têm a lisina como referência nutricional, pois é um aminoácido estritamente essencial, não sintetizado pelo organismo de mamíferos, e também porque é o primeiro aminoácido limitante para síntese de proteína muscular, isto é, a síntese é limitada se não há lisina disponível para o metabolismo. Por não haver síntese endógena de lisina, esse aminoácido deve ser obrigatoriamente fornecido pela dieta.

A lisina não somente desempenha papel de síntese de proteína e diversos peptídeos a partir da síntese *de novo*, mas também é substrato para produção de diversas moléculas não peptídicas no organismo animal. O fornecimento adequado visa garantir alto ganho de peso na fase de cria e em função da deficiência estar relacionada à inibição de síntese proteica, e conseqüentemente redução de síntese de linfócitos e outros componentes imunes, o fornecimento da lisina para neonatos se faz ainda mais importante (Kidd et al., 1997; Konashi et al., 2000).

O excesso de lisina pode ser catabolizado e usado como energia, porém é considerado um processo desinteressante em nível de deposição tecidual para os animais na fase de crescimento; daí a importância do balanceamento dietético entre energia e proteína (Liao et al., 2015). E sob o ponto de vista regulatório, a lisina age no controle do metabolismo de diversos aminoácidos, podendo também atuar no controle do metabolismo de outros nutrientes como cálcio e colesterol. O efeito da dieta rica em lisina na produção hormonal e suas atividades é refletido por mudanças nas concentrações de insulina e IGF-1.

Em relação ao fornecimento da lisina na dieta, uma vez que a deficiência de lisina apresenta impacto negativo na saúde e no desempenho, e a superalimentação não é reportada como tóxica, a nutrição animal parece ter dado mais ênfase a esse aminoácido

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiços lactentes

evitando apenas a deficiência, utilizando-a como referência para estudo dos demais aminoácidos no organismo animal. Assim, a suplementação dietética com lisina industrial é muito explorada para monogástricos com objetivo de aumentar a deposição muscular, reduzindo as taxas de degradação para atender outros processos metabólicos no organismo, contudo, os estudos para ruminante ainda são escassos.

3.2. Metionina e demais aminoácidos sulfurados

A metionina desempenha um importante papel metabólico em humanos e animais, e os aminoácidos originados a partir da sua metabolização (aminoácidos sulfurados – cisteína) são considerados aminoácidos funcionais, uma vez que são chaves regulatórias de rotas metabólicas promovendo melhorias no desempenho e na saúde dos animais (Jankowski et al., 2014).

Como aminoácido essencial, a metionina interage com outros nutrientes envolvidos no metabolismo e desempenha papel único específico genético como doador do radical metil para reações de metilação nos mamíferos (Waterland, 2006), regulando a síntese de proteína e a expressão gênica (Wu et al., 2012). A metionina também produz outros aminoácidos sulfurados como homocisteína que são produtos indiretos da metilação e transulfuração (Troen et al., 2003), e também age como precursor de carnitina, glutatona, homocisteína e taurina, os quais participam ajudando na proteção de células contra o estresse oxidativo (Li et al., 2007). Assim, a metionina é considerada como nutricionalmente essencial baseado no crescimento e no balanço de nitrogênio e a cisteína é classificada como condicionalmente essencial por ser produzida a partir da metionina. Para neonatos, a cisteína é ainda mais indispensável, pois há baixa habilidade de conversão de metionina em cistina a partir dos processos de transmetilação e transulfuração.

A 2-hidroxi-4-metiltributirato (metabólito da metionina) tem sido recentemente reportada como reguladora de expressão de ácido nítrico sintetase, e fluxo e absorção de aminoácidos no intestino delgado de suínos (Fang et al., 2008).

Dado ao fato que aproximadamente 52% da metionina ingerida é metabolizada pelas células do lúmen intestinal (Wu, 1998), grande parte da cisteína convertida a partir da metionina é largamente metabolizada no intestino.

A cisteína, com várias funções no organismo, principalmente no nível imune (discorrido no Tópico 5), juntamente com a glicina e glutamina, gera o composto glutaciona, que por sua vez age eliminando radicais livres e na defesa antioxidativa (Wu et al., 2004), sendo relevante para leitões em início da vida, por combater patógenos e alguns corpos estranhos presentes no trato gastrointestinal. Ademais, o fornecimento de dietas que promovam substratos precursores de glutaciona, como a metionina, é considerada uma estratégia eficiente para melhorar as funções da mucosa intestinal podendo prevenir ou tratar distúrbios intestinais (Wu et al., 2004).

Outro produto sintetizado a partir da metionina é a taurina, o produto final dos aminoácidos sulfurados e está envolvida em vários processos fisiológicos como osmoregulação, respostas anti-oxidativas, estabilização membranar, detoxificação, bem como atividades cardíacas e da retina. Tem importância nas atividades imunes e nas respostas pró-inflamatórias. Para neonatos também é importante, pois está presente na mucosa intestinal 100 vezes mais que no plasma (Huxtable, 1992; Ahlman et al., 1993; Redmond et al., 1998).

4. Aminoácidos para bezerros lactentes

Ruminantes não possuem requerimentos específicos para inclusão de aminoácidos na dieta, entretanto suas necessidades fisiológicas precisam ser consideradas

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes para alcançar níveis ótimos de desempenho. A fermentação ruminal atua sobre a dieta e modifica os substratos que chegam ao intestino delgado tornando os estudos de exigências de aminoácidos mais difíceis, pois os aminoácidos absorvidos não são exatamente os aminoácidos dietéticos fornecidos, já que sofrem modificação pelos microrganismos ruminais (Titgemeyer, 2003). Uma vez que a maior parte dos aminoácidos absorvidos no intestino delgado é oriunda da proteína microbiana e essa tem perfil aminoacídico de alta qualidade, quando comparada ao leite e a carne, os esforços acerca de se estabelecer os requerimentos individuais de aminoácidos parecem ter sido reduzidos, sendo considerada uma abordagem de pouca relevância por diversos autores (Abe et al., 1997; Abe et al., 1998; Abe et al., 1999; Titgemeyer, 2003).

No entanto, bezerros em fase de aleitamento são considerados pré-ruminantes, por apresentar o rúmen subdesenvolvido. Ao nascimento os bezerros são funcionalmente não ruminantes (Drackley, 2008). O desenvolvimento pós-natal do sistema digestivo ocorre em três fases: a primeira, conhecida como fase pré-ruminante, compreende o período que vai do nascimento até a 2^a ou 3^a semanas de idade e é caracterizada por haver consumo discreto de dietas secas e sucedâneo; com a inclusão do concentrado (*starter*) e elevação do consumo, passa-se a identificar a segunda fase de desenvolvimento, pois nesse período que vai até o desmame, há o início da fermentação ruminal de alimento seco no rúmen-retículo subdesenvolvido; a terceira fase se inicia a partir do desmame até o resto da vida do animal, com rúmen desenvolvido principalmente em função das papilas, pois o desenvolvimento muscular se dá com o passar do tempo e em função da inclusão de volumoso na dieta (Davis & Drackley, 1998).

Enquanto os bezerros não atingem a terceira fase apresentando completo desenvolvimento ruminal, é possível que a dieta fornecida seja pobre em algum aminoácido essencial, porém poucos estudos contemplam esse tema.

4.1. Predições de aminoácidos para bezerros lactentes

Em estudo conduzido por Roy et al. (1977), os autores chamaram atenção para a determinação das exigências de aminoácidos para bezerros, uma vez que havia aumento da utilização de sucedâneo na dieta desses animais buscando aumentar o nível de proteína ingerido na fase de aleitamento. Alguns trabalhos com lisina e metionina sugeriram que esses dois aminoácidos seriam limitantes para bezerros pré-ruminantes, porém as determinações das exigências não foram alcançadas (Patureau-Mirand et al., 1973; Patureau-Mirand et al., 1974; Williams & Smith, 1975; Patureau-Mirand et al., 1976; Foldager et al., 1977).

Williams & Hewitt (1979) realizaram estudo a fim de determinar a concentração plasmática dos aminoácidos a partir de dietas deficientes ou não em lisina para bezerros. Esse estudo copilou os resultados obtidos com resultados de experimento anterior (Williams, 1978), assim sugerindo requerimentos de aminoácidos essenciais para bezerros pré-ruminantes (Tabela 3) com base na composição de lisina corporal desses animais (Williams et al., 1954).

Van Weerden & Huisman (1985) sugeriram que as pesquisas anteriores acerca da determinação de requerimentos de aminoácidos seriam para animais já em fase de crescimento ou apresentando taxa de ganho médio diário igual ou acima de 0,250 kg/dia. Assim, os mesmos autores buscaram estudar os requerimentos dos aminoácidos essenciais de vitelos com rápida taxa de ganho. O estudo teve como objetivo determinar os requerimentos para retenção de nitrogênio em função da proteína dietética. Os autores concluíram que vitelos com ganho médio diário de 900 g/dia e idades entre cinco e sete semanas apresentam requerimentos de metionina + cisteína e lisina de 9,2 g/dia e 23 g/dia, respectivamente. Os autores ainda afirmaram que esses dois aminoácidos são limitantes para crescimento.

Tabela 3. Requerimentos de aminoácidos propostos por diferentes autores, para ganhos e idades distintas

Itens	Williams & Hewitt (1979)	Toullec (1989)	Garrits et al. (1997)		Hill et al. (2008)	
Idade em semanas	6 a 14	8 a 20	8 a 20		0 a 4	
GMD ¹ , kg	0,250	1,0 – 1,600	0,932	1,056	0,450 - 0,470	0,570
AAE²						
Lisina	7,8	18,0-22,5	16,3	18,0	15,9	15,9
Metionina + Cisteína	3,7	9,0-11,5	7,6	8,4	8,7	6,7
Treonina	4,9	10,0-13,5	10,8	12,0	12,5	9,9
Valina	4,8	13,0-16,0	10,4	11,5	10,2	11,8
Isoleucina	3,4	12,0-15,0	7,1	8,0	10,2	9,5
Leucina	8,4	18,5-23,0	18,4	20,3	18,0	16,8
Fenilalanina	7,4	13,0-16,0	9,7	10,6	10,5	16,1
Histidina	3,0	5,5-7,0	6,4	7,1	3,3	4,6
Arginina	8,5	7,5-10,0	6,6	7,3	4,5	6,0
Triptofano	1,0	2,1	2,1	2,3	30,0	2,7

¹GMD: Ganho médio diário; ²AAE: Aminoácidos essenciais, g/dia. Compilação de dados das referências apresentadas.

Toullec (1989) sugere dados de requerimentos de aminoácidos essenciais para bezerros entre 50 e 200 kg com ganho de 1.100 a 1.600 g/dia (Tabela 3). Gerrits et al. (1997) calcularam o requerimento de aminoácidos a partir de modelo de predição de nutrientes proposto pelos mesmos autores. Assim, para máxima retenção de nitrogênio com ganhos médios diários de 932 g/d (bezerros de 80 kg) a 1.056 g/dia (bezerros de 100 kg), os autores encontram requerimentos de 7,6 e 8,4 g/dia para metionina + cisteína e de 16,3 e 18,0 g/dia para lisina, respectivamente (Tabela 3).

Dentre os estudos atuais sobre requerimentos de aminoácidos para bezerros, se destaca o estudo de Hill et al. (2008), sugerindo que a proteína total da dieta seria consequência do perfil aminoacídico total, pois uma dieta com 26% de proteína bruta e perfil aminoacídico modificado com nível elevado de metionina gerou melhor desempenho para os bezerros do que uma dieta com 28% de proteína bruta sem alteração do perfil aminoacídico. E, concluíram que bezerros com menos de 5 semanas de idade,

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

peso médio de 48 kg e ganho médio de 460 g/dia, consumiram 17 g de lisina e 9 g de metionina + cisteína compondo 204 g de proteína bruta. De acordo com os dados estudados na pesquisa como retenção de nitrogênio, eficiência alimentar e relações ótimas entre os aminoácidos, os níveis médios de inclusão dos aminoácidos essenciais para diferentes ganhos também são apresentados na Tabela 3.

Todos os trabalhos abordados refletem a falta de consenso sobre a determinação de exigências nutricionais de aminoácidos, o que propõe estudos em função de níveis ótimos e relações ótimas entre os aminoácidos considerados mais limitantes para essa fase. Alguns desses trabalhos serão abordados no tópico a seguir.

4.2. Desempenho e níveis ótimos de aminoácidos na dieta de bezerros lactentes

O manejo nutricional para fase de cria tem como objetivo manter o animal saudável, reduzindo taxas de mortalidade, bem como o uso de medicamentos; permitir ganho de peso adequado a fim de garantir uma fase de recria e produção de qualidade. O manejo nutricional de fase inicial influencia toda a vida produtiva e reprodutiva do animal (Soberon et al., 2012).

A base da dieta para bezerros até os 60 dias é o leite integral, sendo indiscutivelmente a melhor fonte de nutrientes para esses animais, mas o leite também é a principal fonte de renda da propriedade leiteira, inviabilizando o fornecimento desse produto de forma adequada aos bezerros, quanto à quantidade e qualidade.

Assim, como alternativa muito difundida atualmente, tem-se a inclusão de sucedâneos lácteos (Nahms, 2007). Porém, um dos maiores entraves da utilização do sucedâneo comercial é a qualidade do produto, onde parte da proteína é de origem vegetal. Lee et al. (2008) afirmam que a soja é deficiente em aminoácidos como metionina e lisina, indispensáveis para o crescimento. E especificamente para o gado leiteiro, a metionina e

lisina foram identificadas como aminoácidos limitantes na proteína metabolizável para animais em crescimento e para produção de proteína do leite (NRC, 2001). Porém, mesmo que a proteína contida no sucedâneo fosse isenta de proteína de soja ou trigo, ainda assim o produto base seria o soro de leite, que também não apresentaria o mesmo perfil aminoacídico do leite integral (Rutherford & Moughan, 1998), havendo a necessidade de suplementação ou adição de aminoácidos industriais na dieta.

O NRC (2001), principal sistema de avaliação de dietas, não aborda os requerimentos individuais de aminoácidos para bezerros. Nesse cenário, alguns estudos discutem níveis ótimos ou relações ótimas para inclusão desses aminoácidos na dieta de bezerros, respeitando o conceito de proteína ideal, onde os aminoácidos são ajustados em função da lisina, sendo esse o aminoácido mais limitante para o crescimento (Hays et al., 1959; Williams & Smith, 1975; Erickson et al., 1989; Wu et al., 2014).

Hill et al. (2008), como anteriormente citados, sugeriram requerimentos de aminoácidos para diferentes níveis de ganho de peso para bezerros machos holandeses (Tabela 3). Além disso, o estudo também abordou relações ótimas entre lisina, metionina e treonina para esses animais em fase de aleitamento. Os autores consideram a treonina como também sendo um aminoácido limitante, pois se apresenta com baixo teor na proteína da soja. Os autores realizaram quatro estudos, dos quais três tratavam especificamente dos níveis de inclusão de metionina, lisina e treonina na dieta, onde dois estudos utilizaram níveis crescentes de metionina (estudo 1 - 0,64%; 0,68%; 0,72%; e estudo 2 - 0,64%; 0,72% e 0,80%) e o último estudo abordou níveis crescentes de treonina (estudo 3 - 1,06%; 1,43%; 1,80%).

Com base nos resultados obtidos, os autores concluíram que o nível de inclusão de metionina de 0,72% no estudo 2 foi o mais indicado a partir da lisina incluída na dieta. Nesse nível, os animais apresentaram maior ganho de peso do que alimentados ao nível

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes de 0,80% de metionina na dieta, o que demonstra relação entre metionina + cistina em função da lisina de 54% como ótima para ganhos médios entre 450 e 470 g/dia. Já em relação à treonina, como o consumo e ganho de peso não variaram em função do aumento da treonina na dieta, isso indica que o melhor nível de treonina na dieta é o menor (1,06%), apresentando relação de 45% Thr:Lys. No entanto, para esse nível, a fosfatase alcalina se apresentou baixa, indicando menor formação do tecido ósseo ou construção corporal. Desta forma, resultados mais altos de fosfatase alcalina foram encontrados para a concentração de 1,43% de treonina na dieta, promovendo relação Thr:Lys de 60%.

Partindo da mesma hipótese dos níveis insuficientes de aminoácidos na dieta de bezerros lactentes, Wang et al. (2012) também estudaram relações entre lisina, metionina e treonina para bezerros e buscaram determinar qual desses aminoácidos teria maior impacto sobre o crescimento, a partir de concentrações plasmáticas de metabólitos e utilização dos nutrientes da dieta. Foram ofertadas quatro dietas distintas para os grupos experimentais: 1 – controle; 2 – deficiência de lisina; 3 – deficiência de metionina; 4 – deficiência de treonina. Para ajustar as dietas, os autores se basearam no estudo de Hill et al. (2008), já abordado na presente revisão.

Os animais foram alimentados com concentrado, feno e sucedâneo. Não foi observada diferença entre os consumos de matéria seca, porém para o tratamento com deficiência em lisina, o consumo de matéria seca foi menor do que para os outros tratamentos. O ganho médio diário durante as 8 semanas experimentais foi maior para o tratamento controle. A excreção de nitrogênio foi maior para o tratamento deficiente em lisina, quando comparado com o tratamento controle. E a eficiência de utilização de nitrogênio foi menor nos tratamentos com deficiência em lisina e treonina, quando comparados ao tratamento controle, provavelmente em função do desbalanço existente na dieta. A partir do balanço de nitrogênio, foi possível avaliar a retenção de nitrogênio

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

em função do consumo individual de cada aminoácido. Assim, os autores encontraram que na dieta controle, onde houve maior retenção de nitrogênio e maior ganho de peso médio diário, o aminoácido mais limitante foi a lisina.

Os autores ainda comparam os resultados obtidos com os propostos por Hill et al. (2008) e sugeriram que bezerros alimentados com dieta contendo 22% de proteína bruta excretaram menos nitrogênio (13,0 a 17,1 g/dia) comparados com animais alimentados com dietas com teor de 28% proteína bruta (19,3 a 34,9 g/dia). Com esse último resultado, os autores chamam atenção da retenção de nitrogênio a fim de diminuir a excreção de nitrogênio para o meio ambiente, mitigando impactos negativos da poluição. Por fim, os autores concluem que a relação ideal entre Met (sem cisteína): Lys seria de 29% para alimentação apenas com sucedâneo e de 30% para dietas com sucedâneo, concentrado e feno. E a relação entre Thr:Lys seria de 70% para dietas apenas com sucedâneo e de 60% para dietas com sucedâneo, concentrado e feno.

Chagas et al. (dados não publicados), ao estudar diferentes níveis entre Met+Cys:Lys (44%; 48%; 52%; 56%), observaram maior ganho de peso médio diário para animais com idades entre 30 a 60 dias alimentados com a relação dietética metionina+cisteína:lisina de 52,56%, apresentando ganho médio diário (GMD) de até 594 g por dia. A relação ótima identificado para maior GMD foi obtida a partir do consumo de metionina de 9,55 g/dia e lisina de 18,15 g/dia. O estudo ainda sugere que o leite de vaca pode ser deficiente em aminoácidos sulfurados, e sucedâneos comerciais acrescidos de aminoácidos essenciais industriais podem aumentar o desempenho de bezerros lactentes e a deposição de proteína no corpo.

A metionina foi considerada o aminoácido limitante para dietas com milho e farelo de soja para animais entre seis e 11 semanas de vida pós-desmame, sendo a lisina considerada o segundo aminoácido limitante (Abe et al., 1998). Ao passo que a lisina foi

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes considerada como aminoácido limitante em dietas ricas em milho e glúten principalmente por restringir a síntese proteica (Abe et al., 1997).

5. Papel dos aminoácidos na imunidade de bezerros lactentes

O cuidado com a sanidade de animais neonatos é de suma importância uma vez que esses não apresentam suas funções bem desenvolvidas, principalmente imunológicas. No início da vida, os mamíferos dependem da imunidade exclusiva oriunda do colostro (imunidade passiva), e a partir daí podem desenvolver o sistema imune (imunidade ativa) e lidar com as adversidades do ambiente. A mortalidade em bezerros representa incisiva perda para indústria todos os anos. Além das adversidades às quais esses animais são impostos, o que pode agravar esse cenário seria a o fornecimento do colostro e manejo nutricional inadequado.

A suplementação aminoacídica para bezerros ainda não é uma técnica de manejo comum em grandes produções, ao passo que na criação de suínos comerciais várias intervenções nutricionais são utilizadas. Os neonatos são muito sensíveis às intempéries do ambiente e sofrem bastante o estresse pós-natal, dessa forma intervenções nutricionais buscando resposta imune têm reflexo em melhorar o desempenho e retorno financeiro na produção.

Para que essa estratégia de manejo possa ser empregada de forma mais ampla na dieta das demais espécies de mamíferos, é importante entender o papel individual dos aminoácidos no metabolismo imune do organismo.

Estudos indicam que dieta com deficiência em proteína reduz a maior parte da concentração de aminoácidos no plasma e componentes do sistema imune, representando um significativo problema nutricional para animais de produção (Wu et al., 1998; Dasgupta et al., 2005). Uma vez que os leucócitos são alvos importantes para as ações

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes dos aminoácidos (Li et al., 2007), o cenário abre portas para o grande interesse do papel dos aminoácidos nas funções imunes de mamíferos, aves, peixes e outras espécies (Roch, 1999; Calder, 2006; Grimble, 2006; Kim et al., 2007).

O sistema imunológico protege o animal de vários patógenos e consiste na adaptação de sistemas adquiridos (adaptativos e específicos) e sistemas inatos (não específico natural; Calder, 1995). O sistema imunológico é regulado por uma rede de comunicação bioquímica interativa, que inclui a síntese de antígenos, imunoglobulinas e citocinas (Calder, 2006). Ambos os sistemas imunes (adquiridos ou inatos) são altamente dependentes da disponibilidade adequada de aminoácidos para a síntese dessas proteínas e polipéptidos, bem como outras moléculas com enorme importância biológica (Kim et al., 2007). Assim, os aminoácidos afetam as respostas imune individualmente de forma direta e indireta.

5.1. Atividade imune dos aminoácidos individualmente

Os aminoácidos de forma geral produzem proteínas específicas com a função hormonal, fatores de imunidade celular e enzimas. De acordo com D'Mello (2003), os aminoácidos estão envolvidos na atividade imune como:

- A alanina produz óxido nítrico que age inibindo a morte celular, estimulando a proliferação de linfócitos e aumentando a produção de anticorpos provavelmente via mecanismo de sinalização celular.
- Os aminoácidos de cadeia ramificada regulam a ativação da citosina e produção de anticorpos através da sinalização celular da mTOR (mecanismo alvo da rapamicina). Dentro dos aminoácidos de cadeia ramificada tem-se a glutamina, maior combustível para as células do sistema imune e que regula a proliferação de linfonodos, bem como a produção de citocinas e anticorpos.

- A cistina tem como principal produto envolvido na imunidade, a taurina que age como antioxidante e anti-inflamatório. O glutamato está envolvido com processos inibitórios de inflamações. A glicina atua no influxo de cálcio através de um canal fechado-glicina na membrana e ao produzir a serina (antioxidante) e hemoproteínas, e está relacionada com a produção de hemogloblina e miogloblina.
- A histidina está relacionada com reações alérgicas, produz o ácido urocânico que desempenha o papel de modulador das respostas imunes da pele. A leucina age regulando as respostas imunes e assim como a lisina também irá regular a oxidação nítrica. Já a metionina age de forma antagônica, inibindo a síntese de óxido nítrico e tem ação antioxidante, desempenhando papel importante de fornecer ao organismo aminoácidos como a cistina, betaína, colina e homocisteína que estão relacionadas com sistema de sinalização celular e modulação de ações imunes.
- A prolina é muito importante, pois age atenuando os patógenos, mantém a integridade intestinal e aumenta as respostas autoimunes. A treonina absorvida de forma direta no organismo é importante na síntese de mucina garantindo as atividades imunes no intestino. É também inibidor de morte celular e estimula a síntese de linfócitos e por fim, a tirosina age modulando as respostas imunes.
- A disposição dietética adequada de todos os aminoácidos é necessária para assegurar a normal imunocompetência e a proteção do animal contra várias doenças em todas as espécies. Devido ao impacto negativo do desequilíbrio de aminoácidos e antagonismo sobre o consumo e utilização de nutrientes, um fornecimento em excesso de aminoácidos na dieta pode ser prejudicial para o sistema imunológico. Assim, o cuidado deve ser exercido no desenvolvimento de estratégias eficazes de suplementação enteral ou parenteral para alcançar o máximo de benefícios de saúde.

Dada a crescente disponibilidade comercial de aminoácidos em nível de *feed-* e *food-grades* para suplementação dietética animal, há estimativa de grande utilização desses elementos para promoção de alimentos nutracêuticos rentáveis à melhoria da saúde animal (Li et al., 2007) e consequente desempenho.

6. Considerações Finais

Os aminoácidos são indispensáveis para manutenção de diversas atividades do organismo, os essenciais precisam ser fornecidos na dieta e os não essenciais se apresentam com condicionalidade essencial dependendo da espécie animal, havendo assim a necessidade de serem incluídos na dieta total. O fornecimento de dietas balanceadas em aminoácidos visa maiores desempenho e retenção de nitrogênio reduzindo o despendimento de energia para sua excreção em excesso no organismo, atendendo assim aos princípios do conceito de proteína ideal. No entanto, essas pesquisas são bem estabelecidas para não-ruminantes. Já estudos relacionados com ruminantes ainda são escassos.

Por fim, a suplementação aminoacídica além de ser usada como ferramenta para aumentar as taxas de desempenho ao desmame e deposição de tecido proteico em neonatos, também pode ser aplicada no manejo alimentar para aumentar a atividade imune, reduzindo as taxas de mortalidade na fase neonatal.

Tendo em vista a crescente substituição do leite por sucedâneos, muito ainda necessita ser explorado para melhorar a qualidade desses produtos, principalmente em se tratando de ruminantes.

Referências Bibliográficas

- Abe, M.; Iriki, T., Funaba, M. et al. Limiting amino acids for a corn and soybean meal diet in weaned calves less than three months of age. **J. Anim. Sci.**, 76, 628-636, 1998.
- Abe, M.; Iriki, T.; Funaba, M. Lysine deficiency in postweaned calves fed corn and corn gluten meal diets. **J. Anim. Sci.**, 75, 1974-1982, 1997.
- Abe, M.; Iriki, T.; Koresawa, Y. et al. Adverse effects of excess DL-methionine in calves with different body weights. **J. Anim. Sci.**, 77, 2837-2845, 1999.
- Ahlman, B.; Leijonmarck, C.E.; Wernerman, J. The content of free amino acids in the human duodenal mucosa. **Clin. Nutr.**, 12, 226-271, 1993.
- Anthony, J.C.; Anthony, T.G.; Kimball, S.R. et al. Orally administered leucine stimulates protein synthesis in skeletal muscle of postabsorptive rats in association with increased eIF4F formation. **J. Nutr.**, 130, 139-145, 2000.
- Baker, D.H. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry. **Amino Acids**, 37, 29-41. 2008.
- Calder, P.C. Branched-chain amino acid and immunity. **J Nutr.**, 136, 288S-293S, 2006.
- Calder, P.C. Fuel utilization by cells of the immune system. **Proc. Nutr. Soc.**, 54, 65-82, 1995.
- Chagas, J.C.C.; Marcondes, M.I.; Ferreira, M.A. et al. Effect of different methionine plus cysteine to lysine ratios on performance and body composition of suckling crossbred calves fed a commercial milk replacer. 2016 (*under review*).
- Cheeke, P.R. **Applied Animal Nutrition – Feeds and Feeding**. 3rd ed. Upper Saddle River, New Jersey, 2002.

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

D'Mello, J.P.F. **Amino acids in animal nutrition**. 2nd ed. CABI Publishing, United Kingdom, Edinburgh, 2003.

Dasgupta, M.; Sharkey, J.R.; Wu, G. Inadequate intakes of indispensable amino acids among homebound older adults. **J. Nutr. Elderly**, 24, 85-99, 2005.

Davis, C.L.; Drackley, J.K. **The development, nutrition, and management of the young calf**. Iowa State University Press, Ames, IA, 1998.

Drackley, J.K. Calf nutrition from birth to breeding. **Vet. Clin. Food Anim.**, 24, 55-86, 2008.

Elango, R.; Ball, R.O.; Pencharz, P.B. Amino acid requirements in humans: with a special emphasis on the metabolic availability of amino acids. **Amino Acids**, 37, 19-27, 2009.

Erickson, P.S.; Schauff, D.J.; Murphy, M.R. Diet digestibility and growth of Holstein calves fed acidified milk replacers containing soy protein concentrate. **J. Dairy Sci.**, 72, 1528-1533, 1989.

Fang, Z.F.; Luo, J.; Qi, Z.L. et al. Effects of 2-hydroxy-4-methylthiobutyrate on portal plasma flow and net portal appearance of amino acids in piglets. **Amino Acids**, 36, 501-509, 2008.

Firkins, J.L.; Hristov, A.N.; Hall, M.B. et al. Integration of ruminal metabolism in dairy cattle. **J Dairy Sci.**, 89, E31-E51. 2006.

Foldager, J.; Huber, J.T.; Bergen, W.G. Methionine and sulfur amino acid requirement in the preruminant calf. **J. Dairy Sci.**, 60, 1095-1104, 1977.

Gerrits, W.J.J.; France, J.; Dijkstra, J. et al. Evaluation of a model integrating protein and energy metabolism in preruminant calves. **J. Nutr.**, 127, 1243-1252, 1997.

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiços lactentes*

Grimble, R.F. The effects of sulfur amino acids intake on immune function in humans. **J. Nutr.**, 136:1660S-1665S, 2006.

Han, K.; Lee, J.H. The role of synthetic amino acids in monogastric animal production – Review. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.**, 13, 543-560, 2000.

Hays, V.W.; Speer, V.C.; Hartman, P.A. et al. The effect of age and supplemental amino acids on the utilization of milk and soya proteins by the young pig. **J. Nutr.**, 69, 179-184, 1959.

Hill, T.M.; Bateman, H.G.; Aldrich, J.M. et al. Optimal concentration of lysine, methionine, and threonine in milk replacers for calves less than five weeks of age. **J. Dairy Sci.**, 91, 2433-2442, 2008.

Huxtable, R.J. Physiological actions of taurine. **Physiol Rev.**, 72, 101-163, 1992.

Jankowski, J.; Kubińska, M.; Zduńczyk, Z. Nutritional and immunomodulatory function of methionine in poultry diets - a review. **Ann. Anim. Sci.**, 14, 17-31, 2014.

Kidd, M.T.; Kerr, B.J.; Anthony, N.B. Dietary interaction between lysine and threonine in broilers. **Poultry Sci.**, 76, 608-614, 1997.

Kim, S.W.; Mateo, R.D.; Yin, Y.L. et al. Functional amino acids and fatty acids for enhancing production performance of sows and piglets. **Asian-Aust J Anim Sci.**, 20, 295-306, 2007.

Konashi, S.; Takahashi, K.; Akiba, Y. Effects of dietary essential amino acid deficiencies on immunological variables in broiler chickens. **Br. J. Nutr.**, 83, 449-456, 2000.

Köster, H.H.; Woods, B.C.; Cochran, R.C. et al. Effects of increasing proportion of supplemental N from urea in prepartum supplements on range beef cow performance

- Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiços lactentes* and forage intake and digestibility by steers fed low-quality forage. **J. Anim. Sci.**, 80, 1652-1662, 2002.
- Lee, H.J.; Khan, M.A.; Lee, W.S. et al. Growth, blood metabolites, and health of Holstein calves fed milk replacer containing different amounts of energy and protein. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.**, 21, 198-203, 2008.
- Li, P.; Yin, Y.L.; Li, D.F. et al. Amino acids and immune function. **Br. J. Nutr.**, 98, 237-252, 2007.
- Liao, S.F.; Wang, T.; Regmi, N. Lysine nutrition in swine and the related monogastric animals: muscle protein iosynthesis and beyond. **SpringerPlus**, 4, 147-159, 2015.
- National Animal Health Monitoring System - NAHMS. **Heifer calf health and management practices in the United States**. USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, Veterinary Services, Fort Collins, CO, USA, 2007.
- National Research Council – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th rev. ed. The National Academies Press, Washington, DC, USA, 2001.
- Nelson, D.L.; Cox, M.M. **Lehninger Principles of Biochemistry**. 6th rev. ed. W. H. Freeman & Co Ltd, NY, USA, 2012.
- Parsons, C.M.; Baker, D.H. The concept and use of ideal proteins in the feeding of nonruminants. In Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. **Anais...** Sociedade Brasileira de Zootecnia, Maringá, 120-128, 1994.
- Patureau-Mirand, P.; Grizard, J.; Prugnaud, J. et al. Utilisation d'un aliment riche en produits amylacés par le veau préruminant de poids élevé. **Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys.**, 16, 579-592, 1976.

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiços lactentes*

Patureau-Mirand, P.; Prugnaud, J.; Pion, R. Influence of the supplementation of sulfur amino acids of a milk substitute on blood amino acids. Estimation of methionine requirement of the pre-ruminant calf. **Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys.**, 13, 225-246, 1973.

Patureau-Mirand, P.; Toullec, R.; Paruelle, J.L. et al. Influence de la nature des matières azotées des aliments d'allaitement sur l'amino-acidémie du veau préruminant. I. Matières azotées du lait du lactosérum, du poisson et des levures d'alcanes. **Ann. Zootech.**, 23, 343-358, 1974.

Redmond, H.P.; Stapleton, P.P.; Neary, P. et al. Immunonutrition: the role of taurine. **Nutr.**, 14, 599-604, 1998.

Roch, P. Defense mechanisms and disease prevention in farmed marine invertebrates. **Aquaculture**, 172, 125-145, 1999.

Roy, J.H.B.; Stobo I.J.F.; Shotton S.M. et al. The nutritive value of non-milk proteins for the preruminant calf. The effect of replacement of milk protein by soy-flour or fish-protein concentrate. **Br. J. Nutr.**, 38, 167-187, 1977.

Rutherford, S.M.; Moughan, P.J. The digestible amino acid composition of several milk proteins: application of a new bioassay. **J. Dairy Sci.**, 81, 909-917, 1998.

Soberon, F.; Raffrenato, E.; Everett, R.W. et al. Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. **J. Dairy Sci.**, 95, 783-793, 2012.

Swain, B.K.; Johri, T.S. Effect of supplemental methionine, choline and their combinations on the performance and immune response of broilers. **Br. Poultry Sci.**, 41, 83-88, 2000.

- Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes*
- Titgemeyer, E.C. **Amino acid utilization by growing and finishing ruminants**. 2nd ed. In Amino Acids in Animal Nutrition – Ed. D’Mello, J.P.F. CAB International, Wallingford, UK, 329-346, 2003.
- Toullec, R. **Veal calves**. In Ruminant Nutrition-Recommended Allowances and Feed Tables – Ed. Jarrige, R. INRA, London, UK, 109-119, 1989.
- Troen, A.M.; Lutgens, E.; Smith, D.E.; Rosenberg, I.H.; Selhub, J. The atherogenic effect of excess methionine intake. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA.**, 100, 15089–94, 2003.
- Van Weerden, E.J.; Huisman, J. Amino acid requirements of the young veal calf. **J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.**, 53, 232-244, 1985.
- Wang, J.; Diao, Q.; Tu, Y. et al. The limiting sequence and proper ratio of lysine, methionine and threonine for calves fed milk replacers containing soy protein. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.**, 25, 224-233, 2012.
- Waterland, R.A. Assessing the effects of high methionine intake on DNA methylation. **J. Nutr.**, 136, 1706-1710, 2006.
- Williams, A.P. The amino acid, collagen and mineral composition of pre-ruminant calves. **J. Agric. Sci.**, 90, 617-624, 1978.
- Williams, A.P.; Hewitt, D. The amino acid requirements of the preruminant calf. **Br. J. Nutr.**, 41, 311-318, 1979.
- Williams, A.P.; Smith, R.H. Concentrations of amino acids and urea in the plasma of the preruminant calf and estimation of the amino acid requirements. **Br. J. Nutr.**, 33, 149-158, 1975.
- Williams, H.H.; Curtin, L.V.; Abraham, J. et al. Estimation of growth requirements for amino acids by assay of the carcass. **J. Biol. Chem.**, 208, 277-286, 1954.

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes*

Wu, B.; Cui, H.; Peng, X. et al. Effect of methionine deficiency on the thymus and the subsets and proliferation on peripheral blood T-cell, and serum IL-2 in broilers. **J. Int. Agri.**, 11, 1009-1019, 2012.

Wu, G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. **Amino Acids**, 37, 1-17, 2009.

Wu, G. Intestinal mucosal amino acid catabolism. **J. Nutr.**, 128, 1249-1252, 1998.

Wu, G.; Bazer, F.W.; Dai, Z. et al. Amino acid nutrition in animals: protein synthesis and beyond. **Annu. Rev. Anim. Biosci.**, 2, 387-417, 2014.

Wu, G.; Jaeger, L.A.; Bazer, F.W. et al. Arginine deficiency in premature infants: biochemical mechanisms and nutritional implications. **J. Nutr. Biochem.**, 15, 442-451, 2004.

Wu, G.; Knabe, D.A. Free and protein-bound amino acids in sow's colostrum and milk. **J. Nutr.**, 124, 415-424, 1994.

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes*

CAPÍTULO 2. Artigo científico formatado de acordo com as normas da revista Animal¹

Efeitos de diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína: lisina para bezerros lactentes alimentados com sucedâneo comercial

J.C.C. Chagas¹, M.A. Ferreira¹, A. Faciola², F.S. Machado³, M.M. Campos³, R. M. Entjes⁴, J.L. Donzele⁵ e M.I. Marcondes⁵

¹ Departamento de Zootecnia – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Pernambuco, Brasil.

² Department of Agriculture, Nutrition, & Veterinary Sciences - University of Nevada – Nevada, United States of America.

³ Department of Applied Animal Sciences – Van Hall Larentein/ Wageningen University - Velp, The Netherlands.

⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Gado de Leite – Minas Gerais, Brasil.

⁵ Departamento de Zootecnia – Universidade Federal de Viçosa – Minas Gerais, Brasil.

Autor correspondente: Juana Chagas: juanachagas@gmail.com

Short title: Metionina e lisina para bezerros lactentes

Resumo

Relações ótimas entre aminoácidos essenciais preconizam a inclusão de aminoácidos estritamente necessária às atividades de manutenção e ganho; contudo estas ainda não estão

¹ Algumas adaptações foram realizadas, quanto à formatação do texto, a partir das normas propostas pela Revista Científica *Animal*, para adequação do artigo às normas de formatação de Tese propostas pelo Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia (UFREPE), (UFPB) e (UFC).

bem estabelecidas para bezerros lactentes. O experimento foi conduzido objetivando avaliar os efeitos do fornecimento de quatro relações dietéticas de metionina+cisteína : lisina para bezerros mestiços lactentes sobre o desempenho animal e a composição corporal. Trinta e seis bezerros macho Holandês x Gir foram separados em dois grupos de idade: dezesseis bezerros neonatos (BNO), que foram abatidos aos 30 dias de idade, representando a fase fisiológica de 8 a 30 dias de vida; e vinte bezerros pré-desmame (BPD), representando a fase fisiológica de 30 a 60 dias de vida. Ao oitavo dia de vida os bezerros foram distribuídos aleatoriamente entre os tratamentos experimentais: quatro relações dietéticas de metionina e lisina (RMCL: 44; 48; 52; e 56%), que foram permitidas a partir da adição de aminoácidos adicionalmente ao fornecimento de 1,0 kg (matéria natural; MN) de sucedâneo comercial reconstituído à 13,8% matéria seca (MS), diariamente. Sete animais foram destinados para compor o grupo referência que foram abatidos aos 8 dias de vida. As dietas experimentais foram fornecidas sem permissão de sobras. Assim, os consumos de matéria seca, proteína bruta (PB) e extrato etéreo (EE) foram os mesmos para todos os animais independente das RMCL. Os dados de ganho médio diário, composição de ganho e composição corporal foram avaliados para os dois grupos de idade separadamente. As digestibilidades aparentes de MO (matéria orgânica; $P < 0,01$); PB ($P < 0,01$) e EE ($P < 0,01$) foram menores para BNO. A digestibilidade de carboidratos totais não variou em função das RMCL ($P > 0,05$). Os bezerros neonatos não apresentaram respostas significativas no desempenho em função dos tratamentos. Para os bezerros pré-desmame, foi possível observar respostas no desempenho e a RMCL ótima estimada que proporcionou melhor performance situou-se entre 52,33 e 53,93%, em função do maior ganho médio diário, maior ganho de proteína bruta e, conseqüentemente, maior conteúdo de proteína no corpo.

Palavras-chave: composição corporal, aminoácidos essenciais, ganho de proteína, desempenho de bezerros.

Abstract

This experiment aimed to evaluate the effects of supplying four dietary ratios of methionine + cysteine: lysine to crossbred suckling calves on animal performance and body composition. Thirty-six Holstein x Gyr male calves were separated in two groups: sixteen newborn calves (NBC), which were slaughtered at 30 days-old, representing a physiological phase from 8 to 30 days-old; and twenty pre-weaned calves (PWC), which were slaughtered at 60 days-old, representing a physiological phase from 30 to 60 days-old. At eight days of age, the animals were randomly distributed among the experimental treatments: four methionine + cysteine : lysine total dietary ratios (MCLR: 44; 48; 52; and 56%), that were provided by an amino acid supplement added to 1.0 kg (wet basis) of commercial milk replacer reconstituted at 13.8% (dry matter basis). The experimental diets were supplied without allowingorts, so that the dry matter (DM), crude protein (CP), and ether extract (EE) intakes were the same for all animals, independent of MCLR. Total weight gain, average daily gain, gain composition and body composition were evaluated for both age groups separately. The digestibility of organic matter, CP and EE were lower for NBC than PWC. The effect of MCLR on the digestibility of nutrients was not observed, as well as no significance was observed regarding the interactions between physiological phase and MCLR. For the NBC group, there were no responses observed in performance according to different MCLR. PWC responded positively to higher methionine + cysteine: lysine ratios; In conclusion, an optimal MCLR to allow the best performance and protein gain should be between 52.33 and 53.93%.

Key words: body composition, essential amino acids, protein gain, calves performance

Implicações

Estudos sugerem que a modificação do perfil aminoacídico para dieta de bezerros pode promover maior desempenho. Assim, o estudo objetivou avaliar o efeito da suplementação de diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína : lisina (RMCL) sobre o desempenho e composição corporal de bezerros lactentes. Foi observado que o aumento das relações metionina+cisteína : lisina influencia positivamente o desempenho de bezerros lactentes. No entanto, os bezerros passam a responder à suplementação de metionina dietética a partir de 30 dias de vida. A RMCL que promove maior desempenho para bezerros na fase de pré-desmame, bezerros entre 30 e 60 dias de vida, está situada entre 52,33 e 53,93%, o que promoveu maior ganho médio diário e maior deposição de proteína corporal.

Introdução

A proteína do leite é considerada a melhor fonte de proteína para bezerros em função da alta digestibilidade e do balanço de aminoácidos. Assim, recentes estudos sugerem que a modificação do perfil de aminoácidos na dieta líquida de bezerros pode promover maior desempenho (Castro *et al.*, 2016). Contudo, poucos estudos abordam o tema relacionado à composição de aminoácidos na dieta de bezerros.

AFRC (1993), NRC (2001) e CSIRO (2007), principais sistemas de predição das exigências nutricionais para bovinos leiteiros, não apresentam os requerimentos de aminoácidos para bezerros. Nesse cenário, Hill *et al.* (2008) e Wang *et al.* (2012) sugerem relações ótimas de aminoácidos essenciais na dieta de bezerros, como metionina ou treonina em função da lisina, uma vez que a lisina é considerada o aminoácido essencial mais limitante para o crescimento (Erickson *et al.*, 1989; Abe *et al.*, 1997; Wu, *et al.*, 2014). A relação ótima entre os aminoácidos parte do conceito de proteína ideal (Corzo

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes et al.*, 2014), que preconiza a inclusão dos aminoácidos estritamente necessários às exigências de manutenção e ganho, de modo a melhorar a eficiência de uso da energia que seria necessária para excreção dos aminoácidos excedentes (Htoo *et al.*, 2003).

Hill *et al.* (2008) e Wang *et al.* (2012) que demonstraram relações ótimas de metionina: lisina: treonina, são baseados em ensaios do tipo dose reposta, podendo causar efeitos de confundimento, uma vez que os mesmos não apresentam a retenção final de proteína e energia dos animais. Além disso, as dietas utilizadas nos estudos citados foram compostas de sucedâneo, concentrado inicial e feno, o que pode estimular a produção de proteína microbiana na fase inicial de vida dos bezerros (Drackely *et al.*, 2008), modificando o perfil de aminoácidos que chega ao intestino delgado, também aumentando o confundimento das respostas apresentadas.

A partir de estudos prévios que apontam, além da lisina, a metionina como limitante para neonatos (Lee *et al.*, 2012), hipotizou-se que é possível encontrar uma relação ótima entre metionina e lisina para bezerros mestiços em aleitamento, que permita o máximo desempenho dos animais, indicando a relação aminoácido metionina+cisteína : lisina em que a inclusão de metionina deixaria de ser limitante. Ainda, animais de até quatro semanas apresentariam respostas de desempenho distintas aos animais entre quatro e oito semanas para alimentação líquida com sucedâneo e para suplementação aminoacídica. Portanto, o experimento foi conduzido objetivando avaliar os efeitos do fornecimento de quatro relações dietéticas entre metionina+cisteína e lisina para bezerros mestiços lactentes sobre o desempenho animal e a composição corporal para dois grupos de idade.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, unidade Gado de Leite (Embrapa/CNPGL), Coronel Pacheco, MG, Brasil. As amostras foram processadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia (DZO) da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Todos os procedimentos foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa, registrado sob o protocolo número 27/2013.

Animais e manejo alimentar

Quarenta e três bezerros machos de grau de sangue variando de 1/2 a 15/16 Holandês-Gir, com peso corporal (PC) ao nascimento de $36,43 \pm 5,09$ kg, foram utilizados no experimento. Imediatamente após o nascimento, os bezerros foram separados das vacas, pesados, identificados e tiveram umbigo curado com solução de iodo a 10%. Os bezerros foram alojados em baias individuais com cama de areia e livre acesso a água, e foram alimentados com colostro (10% PC, > 50g de IgG/L) nas primeiras 6 horas após o nascimento. Os animais continuaram a receber colostro até o 3º dia de vida a 10% PC, fornecido em mandadeiras adaptadas de garrafas *pet*. Do 4º ao 7º dia de vida, os bezerros foram alimentados com 8 L/dia de leite integral ofertados em baldes de alumínio, fracionados em duas porções iguais (08h00 e 16h00).

O teste de proteína sérica foi realizado entre 24 e 48h de vida através de refratômetro *brix* (Serum protein REF-301, Biocotek, Beilun, Nigbo, China) para assegurar nível mínimo de imunidade transferida do colostro para os bezerros (7 mg de proteína por mL de soro sanguíneo, dados não apresentados) garantindo que estes pudessem ser incluídos no experimento, de acordo com recomendação de Deelen *et al.* (2014).

Ao oitavo dia de vida o grupo de 43 animais apresentou PC médio de $42,06 \pm 4,7$ kg e sete bezerros foram abatidos inicialmente com essa idade para compor o grupo de animais referência. A composição corporal desses animais foi usada para estimar a composição inicial dos demais animais do experimento. Trinta e seis bezerros divididos em dois grupos de idades representado: 1 – Bezerros Neonatos (BNO), dezesseis bezerros que foram abatidos com 30 dias de idade, representando a fase fisiológica de 8 a 30 dias; 2 – Bezerros pré-desmame (BPD), vinte bezerros que foram abatidos com 60 dias de idade, representando a fase fisiológica de 30 a 60 dias. Os trinta e seis bezerros foram distribuídos em delineamento experimental de blocos inteiramente casualizados (BNO, n = 16 e 4 repetições; BPD, n = 20 e 5 repetições) entre os tratamentos experimentais que consistiram em suplementação aminoacídica de quatro relações dietéticas de metionina + cisteína: lisina (RMCL: 44; 48; 52 e 56%; Tabela 1).

Ao iniciar o período experimental com 8 dias de vida, os bezerros passaram a ser alimentados com 1,0 kg de sucedâneo (Lacthor[®], DSM Company – Holanda) na base da matéria natural (% MN; composição química apresentada na Tabela 1), que foram diluídos a 13,8% de matéria seca (MS) em água morna, preparados individualmente em baldes de alumínio. As relações dietéticas de metionina + cisteína: lisina foram permitidas a partir do fornecimento de suplemento aminoacídico composto de aminoácidos cristalinos (Ajinomoto[®] Company – Japão) que apresentou níveis crescentes de metionina e níveis decrescentes de ácido glutâmico, promovendo o mesmo nível de proteína para todas as dietas experimentais, e por fim apresentaram inclusão fixa de lisina e demais aminoácidos essenciais (Tabela 1). A suplementação aminoacídica (10g MN por refeição) foi diluída em 400 mL de água morna e ofertados aos bezerros em mamadeira individuais, para evitar sedimentação do material nos baldes de alumínio; a suplementação de

aminoácidos foi ofertada imediatamente antes da oferta do sucedâneo. A dieta foi ofertada às 08h00 e 16h00.

Os aminoácidos foram incluídos nas dietas (Tabela 2) com base no perfil aminoacídico da proteína do leite (Rutherford e Moughan, 1998) e adaptados para o perfil de aminoácidos apresentado pelo sucedâneo comercial utilizado neste estudo (Tabela 1). A lisina utilizada foi ajustada ao nível sub-ótimo (Conde-Aguilera *et al.*, 2010) partindo do pressuposto que o nível ótimo de lisina fornecida pela proteína do leite (Rutherford e Moughan, 1998) seria estimado em 19,75 g/dia. O fornecimento de lisina em nível sub-ótimo na dieta foi utilizado para aumentar a sensibilidade das respostas aos níveis crescentes de metionina (Conde-Aguilera *et al.*, 2010).

Coletas

Os animais foram pesados ao nascimento, 8°, 30° e 60° dia de vida, a depender da idade de abate, para acompanhamento do desempenho. O consumo não foi avaliado, pois a oferta de sucedâneo a partir do 8° dia de vida foi igual para todos os animais, independentemente do grupo de idade e das RMCL. Assim, como a oferta da dieta não permitiu sobras, houve o consumo total da quantidade ofertada ao longo do experimento.

Para os ensaios de digestibilidade, os animais foram submetidos às coletas totais de fezes por 72 h, iniciadas 5 dias antes do abate. Para tanto, os animais foram alojados em gaiolas metabólicas e, ao final de cada dia, as fezes foram pesadas e resfriadas para posterior homogeneização do conteúdo total ao final de cada período de coleta. A partir do conteúdo total, uma amostra composta foi retirada para análises laboratoriais.

Abate

Os animais foram abatidos após restrição alimentar por 12h. Os bezerros foram insensibilizados por concussão cerebral, seguidos de sangramento total da veia jugular. O sangue foi coletado separadamente, pesado e amostrado. Subsequentemente, componentes do trato gastrointestinal (rúmen, retículo, omaso, abomaso, e intestinos delgado e grosso) foram lavados e pesados. A gordura interna, mesentério, fígado, coração, rins, língua, baço, pulmão, diafragma, esôfago, traqueia, aparelho reprodutivo e rabo foram pesados, e em seguida, juntamente com trato gastrointestinal, foram triturados em *cutter* industrial por 20 min para compor as amostras de órgãos e vísceras.

Todos os componentes, tais como cabeça, membros, couro, sangue, carcaça, órgãos e vísceras, que foram pesados livres de conteúdo gástrico, foram utilizados para compor o peso de corpo vazio (PCVZ).

O couro foi pesado, e amostrado em: duas partes da região da escápula; três partes da linha dorsal; duas partes da linha ventral; duas partes da região traseira; uma parte representando cada pé; e uma da cabeça, totalizando amostragem representativa de couro inteiro. As patas e cabeça foram moídas em moedor de ossos industrial para compor amostras de cabeça e membros. A carcaça de cada animal foi dividida em duas metades sendo em seguida pesadas. As meias carcaças direitas foram moídas em *cutter* industrial por 20 min e uma amostra foi retirada. Todas as amostras foram armazenadas em freezer a -80°C para posteriores análises laboratoriais.

Análises laboratoriais

As amostras de fezes foram secas em estufa de ventilação forçada (55 °C) por 72 h e posteriormente moídas a 1 mm. As amostras de componentes corporais foram desidratadas por liofilização e moídas a 1 mm em moinho de facas (Detmann *et al.*, 2012).

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiças lactentes

As amostras de sucedâneo comercial, fezes e corpo foram avaliadas quanto aos teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), cinzas, e proteína bruta (PB) de acordo com AOAC (2005), métodos 934.01, 942.05, 942.05, 990.13, respectivamente, e extrato etéreo (EE) de acordo com AOCS (2005). O valor de carboidratos totais (CT) do sucedâneo foi estimado a partir da equação:

$$CT = 100 - (PB + EE + MM), [1]$$

Para calcular a composição corporal dos animais, os valores de proteína, extrato etéreo e cinzas foram corrigidos para 100%, a partir da equação abaixo, eliminando erros analíticos inerentes aos procedimentos laboratoriais.

$$\%CC_y = C_y / (CCP + CG + CMM) \times 100, [2]$$

Onde CC_y = composição corporal de proteína, gordura ou cinzas (com base na matéria seca); C_y = constituintes proteicos, de gordura ou cinzas no peso de corpo vazio; CCP = constituinte proteico no corpo vazio (kg/kg de MS); CG = constituinte de gordura no corpo vazio (kg/kg de MS); CMM = constituinte de cinzas no corpo vazio (kg/kg de MS).

A média da relação obtida entre PCVZ e PC e a composição corporal dos sete animais referência foi usada para estimar o PCVZ e composição corporal inicial dos BNO (8-30 dias de vida), e a média obtida entre PCVZ e PC e composição corporal dos animais do grupo BNO foi usada para estimar o PCVZ e composição corporal dos BPD (30-60 dias de vida). Do grupo de 16 animais BNO havia quatro animais de cada tratamento experimental (RMCL), assim a composição média dos quatro animais referentes a cada

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

tratamento experimental (RMCL) foi utilizada para estimar a composição corporal inicial do grupo BPD e a relação PCVZ e PC do grupo BPD.

Variáveis estudadas e análises estatísticas

Considerando que, dezesseis animais foram abatidos aos 30 dias de idade e vinte animais foram abatidos aos 60 dias de idade, os dados de desempenho, composição corporal, e ganhos de proteína, extrato etéreo e minerais foram avaliados separadamente para cada fase fisiológica desses bezerros (8-30 dias, BNO); e 30-60 dias, BPD). Os dados foram avaliados de acordo com o delineamento de blocos casualizados, onde as RMCL foram incluídas como efeito fixo no modelo. Além disso, os grupos genéticos foram incluídos como efeito aleatório no modelo descrito abaixo:

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 \times X_i + \beta_2 \times X_i^2 + G_j + \epsilon_{ijk},$$

Onde: Y_{ijk} é a variável resposta, X_i é o efeito fixo das RMCL, G_j é o efeito aleatório dos grupos genéticos, ϵ_{ijk} é o erro experimental, e β_0 , β_1 , e β_2 são parâmetros do modelo.

Dois grupos foram estabelecidos para bloquear os animais em função do efeito grau de sangue: 1 quando a composição genética variou de 1/2 a 3/4 Holandês x Gir, e 2 quando a composição variou de 7/8 a 15/16 Holandês x Gir.

Portanto, as RMCL foram avaliadas em relação aos efeitos linear e quadrático e graus de liberdade do denominador a partir da aproximação de Kenward-Roger. Quando foi observado comportamento linear platô para as variáveis estudadas, o procedimento linear platô foi testado pelo PROC NLIN (SAS 9.4, 2008) de acordo com o modelo:

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 \times X_i + G_j + \epsilon_{ijk}, \text{ quando } X_i < X_{\text{plateau}}, \text{ e}$$

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 \times X_{\text{plateau}} + G_j + e_{ijk}, \text{ quando } X_i > X_{\text{plateau}},$$

Onde: Y_{ijk} é a variável resposta, X_i é o efeito fixo das RMCL, X_{plateau} é a RMCL a partir da qual não há mais efeito resposta em Y_{ijk} , G_j é o efeito aleatório dos grupos genéticos, e_{ijk} é o erro experimental, e β_0 e β_1 são parâmetros do modelo.

Foram conduzidos dois ensaios de digestibilidade (um entre 25 e 29 dias e outro entre 55 e 59 dias de idade dos bezerros). No primeiro ensaio, todos os 36 animais foram usados, ao passo que no segundo ensaio, apenas os 20 animais abatidos aos 60 dias foram envolvidos. Assim, os dados de digestibilidade foram estudados a partir do delineamento inteiramente casualizado, com medidas repetidas no tempo incompleto. O efeito de tratamento foi considerado como significativo quando $P < 0,05$ e tendência quando $0,10 > P > 0,05$.

Resultados

Consumo e digestibilidade

Os consumos médios de matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta, extrato etéreo, carboidratos totais e matéria mineral foram: 985; 895; 221; 130; 559 e 90 g/dia, respectivamente. As digestibilidades dos nutrientes variaram em função dos diferentes grupos de idade (Figura 1). As digestibilidades aparentes médias dos nutrientes para os BNO e BPD foram, respectivamente: 94,56 e 96,50% MO ($P < 0,01$); 86,79 e 92,28% PB ($P < 0,01$); 94,25 e 96,77 % EE ($P < 0,01$); e 97,78 e 98,22 % CT ($P > 0,05$). Não houve efeito das RMCL sobre a digestibilidade aparente dos nutrientes (Figura 1; $P > 0,05$), bem como não foi observada interação entre idade e tratamentos experimentais (RMCL; Figura 1; $P > 0,05$).

Peso corporal e ganho médio diário

Os animais foram distribuídos entre as RMCL e as diferentes RMCL não influenciaram no peso corporal médio final dos animais para os dois grupos de idades estudados.

O ganho médio diário (GMD) dos BNO não variou em função das RMCL ($P = 0,656$), com ganho médio diário de 0,480 kg/dia (Figura 2). O GMD para os BPD apresentou comportamento linear-platô, alcançando um ganho máximo de 0,594 kg/dia, verificado para RMCL de 52,56%, ao passo que as RMCL 44 e 48% promoveram ganhos de 0,500 e 0,542 kg/dia, respectivamente ($P = 0,001$; Figura 2).

Composição corporal

O ganho dos componentes PB, EE e MM no PCVZ para os diferentes grupos de idades pode ser observada na Figura 3. Para o grupo mais jovem BNO não foi observado efeito das RMCL no ganho PB ($P = 0,803$), EE ($P = 0,338$) ou MM ($P = 0,129$), apresentando médias de 0,054; 0,054; 0,009 kg/dia de ganho médio dos respectivos componentes. Já os BPD expressaram o ganho de proteína de forma linear-platô, com ganho máximo de 0,089 kg para RMCL estimada de 52,33% ($P = 0,087$; Figura 3). Os ganhos de EE ($P = 0,163$) e MM ($P = 0,168$) não variaram com o aumento das RMCL (Figura 3), apresentando médias de 0,046 e 0,018 kg/dia para os respectivos componentes.

Os ganhos de PB, EE, e MM no componente corporal carcaça dos bezerros para diferentes idades está apresentada na Figura 4. Para o grupo BNO os ganhos de PB ($P = 0,622$), EE ($P = 0,844$) e MM ($P = 0,654$) não variaram em função do incremento das RMCL, apresentando médias de 0,148; 0,055; e 0,019 kg/dia para os respectivos componentes. Foi observado comportamento quadrático para o ganho de proteína na carcaça do grupo BPD ($P = 0,053$), onde o ganho máximo estimado foi de 0,137 g/dia

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

com uma RMCL de 53,75%. O ganho de EE não variou em função das RMCL ($P = 0,970$) ganho médio de 0,049 kg/dia, e o ganho médio diário de MM apresentou comportamento linear crescente em função do aumento das RMCL ($P = 0,004$).

Também foi avaliado o ganho dos componentes PB, EE e MM nos órgãos e vísceras dos bezerros para os dois diferentes grupos de idade (Figura 5). Para o grupo BNO os ganhos de PB ($P = 0,495$), EE ($P = 0,880$) e MM ($P = 0,420$) não variaram em função do incremento das RMCL, apresentando ganhos médios de 0,024, 0,020 e 0,03 kg/dia para os respectivos componentes. Foi observado comportamento linear-platô para o ganho de proteína nos órgãos e vísceras do grupo BPD ($P = 0,038$), apresentando ganho de 0,010 kg/dia para RMCL de 52,82 %. Não foi observada influência para os ganhos de EE ($P = 0,127$) e MM ($P = 0,783$) em função das diferentes RMCL ($P = 0,970$), apresentando ganhos médios de 0,014 e 0,001 kg/dia para os respectivos componentes.

A composição corporal final em proteína e extrato etéreo do grupo BPD não variou em função das RMCL ($P = 0,099$; $P = 0,752$), com valores médios de 8,81 e 4,09 kg, respectivamente. Já os animais do grupo BPD a proteína no corpo apresentou comportamento quadrático em função das RMCL e o maior valor de proteína corporal observado foi de 11,72 kg, para a RMCL de 53,93% ($P = 0,088$; Figura 6). O extrato etéreo corporal também apresentou resposta quadrática em função das RMCL, contudo este teve comportamento contrário à proteína, com menor valor estimado de 5,27 kg, verificado para a RMCL de 49,29% ($P = 0,005$; Figura 7). A composição corporal de matéria mineral para os dois grupos de idade não variou em função das RMCL, com valores médios de 1,83 e 2,35 kg, para os grupos BNO ($P = 0,129$) e BPD ($P = 0,163$), respectivamente.

Discussão

Peso corporal

O peso corporal médio final dos bezerros não variou em função das RMCL, possivelmente pelo curto tempo existente para a fase de cria, uma vez que os animais foram abatidos com 30 ou 60 dias. Essa é uma limitação natural desse tipo de trabalho, uma vez que a fase de cria tradicionalmente termina próximo aos 60 dias de vida e que, a partir desse ponto, há maior desenvolvimento ruminal, podendo levar outros problemas de confundimento, como a alteração no perfil de aminoácidos que chegam ao intestino delgado. Contudo, para as demais variáveis estudadas foi verificada mudança nas respostas em função das RMCL.

Ganho médio diário e digestibilidade

Os animais mais jovens, do grupo BNO, não apresentaram incremento no GMD em função das RMCL (0,480 kg/dia), que foi considerado abaixo do esperado para bezerros mestiços alimentados exclusivamente com dieta líquida, 0,794 kg/dia (Silva, *et al.*, 2015), principalmente em função do aporte de nutrientes por kg de PC dos animais mais novos. Para o grupo BNO esse fato pode ser explicado pelas baixas digestibilidades da MO e PB para os bezerros na fase inicial, cujas médias foram de 94,56 e 86,79%, respectivamente; quando comparados com as respostas dos animais do grupo BPD, que foram de 96,50 e 92,28% para MO e PB, respectivamente (Figura 1).

A dieta líquida composta por sucedâneo não apresenta o mesmo comportamento digestivo quando comparada com leite, e a baixa digestibilidade dos nutrientes podem estar associadas à maior taxa de passagem desse alimento no trato digestivo para bezerros neonatos. O leite por ser um alimento líquido é melhor aproveitado uma vez que no abomaso, a partir de enzimas como renina e pepsina, ocorre o fracionamento desse

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes alimento em soro e coágulo. A fração de coágulo assim, é lentamente digerida, apresentando menor taxa de passagem e apresentando assim maior digestibilidade dos nutrientes dietéticos (Campos, 1995). Contudo, a coagulação do leite é permitida a partir da fração da proteína chamada caseína (Mylrea, 1966), proteína essa pouco presente na composição de sucedâneos pelo alto valor comercial agregado desse produto na indústria de lácteos.

Associada a problemática descrita acima, a proteína total da dieta foi composta de 26% do complexo aminoacídico e 74% do sucedâneo, que por sua vez possui proteína de trigo e soja em sua composição, caracterizadas por baixa digestibilidade para neonatos e conferem a essas animais desordens digestivas nas fases iniciais de vida (França *et al.*, 2011).

A partir das premissas abordadas, entende-se que com o passar do tempo e maior desenvolvimento do trato gastrointestinal, os bezerros passaram a ser mais eficientes em digerir componentes dietéticos principalmente do sucedâneo. Dessa forma as digestibilidades dos componentes dietéticos foram maiores para o grupo BPD quando comparados com o grupo BNO.

O GMD para os animais de até 60 dias também foi abaixo (0,556 kg/dia) de valores reportados por Silva *et al.* (2015). No entanto, a dieta total do presente estudo promoveu menos energia e proteína do que dietas a base do leite integral (Khan *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2015). Como os bezerros não tinham acesso ao concentrado inicial, não foi possível que estes aumentassem o consumo de matéria seca, e conseqüentemente, o GMD, uma vez que o aumento da disponibilidade de nutrientes tem efeito direto no desempenho (Miller-Cushon *et al.*, 2013).

As RMCL de 52 e 56% apresentaram aporte de metionina maior do que as demais relações (44 e 48%), sendo assim esperado maior desempenho para os animais

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes alimentados com essas relações, independentemente do grupo de idade. No entanto, só observou-se efeito das RMCL sobre o desempenho do grupo BPD. Acredita-se que esse maior GMD pode ter sido promovido pelo papel único específico que a metionina desempenha como doador do radical metil para reações de metilação nos mamíferos (Waterland *et al.*, 2006). Além disso, a metionina é importante para regulação da expressão gênica, regulação de funções proteicas e metabolismo do RNA, aumentando assim as atividades de crescimento corporal (Wu *et al.*, 2009).

No entanto, o crescimento corporal de bovinos tem comportamento sigmoide, com taxa de crescimento muito discreta e limitada nas fases iniciais de vida (Berg e Butterfield, 1978), podendo o baixo desempenho do grupo BNO estar associado, além do baixo aproveitamento dos componentes dietéticos a partir da baixa digestibilidade, também à etapa imunológica desafiadora que é conferida aos neonatos nas semanas iniciais após o nascimento (Poulsen *et al.*, 2010). Assim, é possível inferir que bezerros com até 30 dias de idade apresentam outras prioridades metabólicas, o que os inviabilizou de expressar o maior desempenho em função do aumento do aporte de metionina dietética; contudo é sugerido que outros estudos sejam desenvolvidos, avaliando taxa de metilação e expressão gênica da síntese proteica no tecido muscular para comprovar as hipóteses aqui levantadas.

A inferência acima pode ser reafirmada a partir dos dados encontrados para os animais do grupo BPD. O GMD apresentou comportamento linear- platô com maior ganho de 0,594 kg/dia para a RMCL estimada em 52,56% (Figura 2) e promovida a partir do consumo de 9,55 g/dia de metionina e 18,15 g/dia de lisina. O platô indica que a partir do nível de 52,56% a metionina deixou de ser limitante para o desempenho de bezerros mestiços com até 60 dias de vida. Até a RMCL 52,56%, para cada grama de metionina adicionada à relação, houve incremento de 10,9 g no peso corporal do animal (Figura 2).

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

O menor aporte de metionina fornecido aos animais nas RMCL de 44% e 48%, promoveram GMD de 0,500 e 0,542 g/dia, que são 15,8% e 8,75% menores, respectivamente, do que o ganho conferido em função da relação ótima observada.

Composição corporal

Para o grupo BPD foi também possível observar comportamento linear-platô para o ganho de proteína, havendo deposição de até 0,089 kg de proteína por dia para os animais alimentados com a relação estimada de 52,33% (Figura 3), onde para cada grama de metionina acrescida à RMCL os bezerros depositaram 2,7 g de proteína. Para o ganho de proteína na carcaça dos bezerros pré-desmame foi observado que a relação de 53,75% proporcionou o maior ganho, estimado em 0,137 kg/dia (Figura 4). Para o componente corporal órgãos e vísceras houve deposição de até 0,010 kg/dia de proteína com a RMCL de 52,82%, em que a cada g de metionina adicionada às RMCL os bezerros depositaram 0,8 g de proteína (Figura 5).

A metionina é essencialmente requerida para atividade de síntese proteica, expressão gênica e metabolismo energético do músculo (Tesseraud *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2014). A adição de metionina industrial na dieta dos bezerros com mais de 30 dias de idade permitiu maior deposição de proteína em quilos por dia no corpo vazio e esse comportamento também foi observado quando os componentes corporais carcaça e órgãos e vísceras foram avaliados separadamente. Acreditava-se, em um primeiro momento, que esse ganho de proteína no corpo estivesse concentrado nos órgãos e vísceras dos animais, em virtude da alta demanda de AA sulfurados desses órgãos (Fang *et al.*, 2010; Jankowski *et al.*, 2014), principalmente nos primeiros meses de vida, meses de alta taxa de desenvolvimento de órgãos. Todavia, percebe-se que RMCL entre 52 e

54% não só potencializaram o ganho de órgãos e vísceras, mas também de deposição muscular nas carcaças desses animais.

A composição corporal dos animais abatidos com 60 dias refletiu os dados observados para ganho médio de proteína, em que a proteína corporal alcançou maior valor de 11,72 kg para a RMCL estimada em 53,91% (Figura 6), e, conseqüentemente, a medida que a composição de proteína no corpo foi maior o extrato etéreo diminuiu; o menor valor de extrato etéreo corporal observado foi de 5,27 kg para a RMCL de 49,29% (Figura 7).

Assim, a partir dos dados observados, entende-se a relação ótima de metionina e lisina que garante melhor performance de bezerros lactentes de até 60 dias de vida situa-se entre 52 e 54%. Estudo com bezerros raça Holandesa, sugeriu RMCL ótima de 51% para GMD de 1,0 kg/dia, maior do que o observado no presente estudo (Toullec *et al.*, 1978). Contudo, a taxa de ganho de peso, que depende da retenção de nitrogênio, varia em função do fornecimento de energia metabolizável na dieta. A utilização de proteína pelo organismo depende da disponibilidade de energia, e o balanço de nitrogênio é fortemente influenciado, não apenas pelo consumo de aminoácidos, mas também por condições ambientais e mudanças nas condições endócrinas (Wu *et al.*, 2014). O intervalo para a relação ótima de metionina e lisina encontrado neste estudo foi bastante próximo aos dados propostos por outros autores (Hill *et al.*, 2008), que sugeriram RMCL ótima variando de 51 a 54% para GMD de 0,460 kg/dia para bezerros da raça Holandesa, alimentados com sucedâneo e concentrado inicial “*starter*”.

Ainda em função dos valores de GMD e ganho de proteína encontrados neste estudo, é possível que a relação de Met:Lys presente na proteína do leite integral de vaca de 41,4% (Willians, 1994) e 47% (Rutherford e Moughan *et al.*, 1998) sejam baixas (Tabela 2), sugerindo que o leite, mesmo considerado a melhor fonte de proteína e energia

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes
para bezerros, é deficiente em aminoácidos sulfurados, sendo o sucedâneo comercial utilizado neste estudo ainda mais deficiente em metionina e cisteína, como pode ser observado na Tabela 2. Portanto, acredita-se que empresas fabricantes de substitutos do leite podem adicionar metionina industrial à sua composição, garantindo produto de melhor qualidade para bezerro, a fim de melhorar os índices produtivos nessa fase.

Como conclusões, relações crescentes de metionina+cisteína e lisina influenciam positivamente o desempenho de bezerros lactentes alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico. No entanto, os animais passam a responder ao maior aporte de metionina na dieta apenas a partir de 30 dias de vida, uma vez que o baixo valor biológico do sucedâneo comercial, associado às adversidades imunes dos neonatos de até quatro semanas, podem inviabilizar a expressão do desempenho nessa fase.

Para os bezerros pré-desmame, foi possível observar respostas no desempenho e a RMCL ótima estimada que proporcionou melhor performance situou-se entre 52,33 e 53,93%, em função do maior ganho médio diário, maior ganho corporal em proteína bruta e, conseqüentemente, maior conteúdo de proteína no corpo.

Agradecimentos

Os autores são gratos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal (INCT-CA) e à EMBRAPA Gado de Leite pelo suporte à condução da pesquisa. Também, os autores agradecem à Ajinomoto® por proporcionar os aminoácidos e a empresa DSM® pelo fornecimento do sucedâneo para condução do estudo.

Referências bibliográficas

- Abe M, Iriki T, Funaba M 1997. Lysine deficiency in postweaned calves fed corn and corn gluten meal diets. *Journal of Animal Science* 75, 1974-1982.
- Agricultural and Food Research Council (AFRC) 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Response to Nutrients. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- American Oil Chemist's Society (AOCS) 2005. Official methods and recommended practices. 5th edition. Champaign, IL, USA.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2005. Official methods of analysis 18th edition. AOAC, Gaithersburg, MA, USA.
- Bauchart-Thevret C, Stoll B, Burrin DG 2009. *Nutritional Research Reviews* 22, 175-187.
- Berg RT, Butterfield RM 1976. *New Concepts of Cattle Growth*. 1st edition. Sydney University Press, Sydney, AUS.
- Campos OF 1995. Alimentação de bovinos jovens. *Cadernos técnicos da Escola de Veterinária, Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)* 14, 73- 100.
- Castro JJ, Hwang GH, Saito A, Vermeire DA, Drackley JK 2016. Assessment of the effect of methionine supplementation and inclusion of hydrolyzed wheat protein in milk protein-based milk replacers on the performance of intensively fed Holstein calves. *Journal of Dairy Science* 99, 6324-6333.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) 2007. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. Australia Agricultural Council, CSIRO Publishing, Victoria, AUS.

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

Conde-Aguilera JA, Barea R, Le Floc'h N, Lefaucheur L, van Milgen J 2010. A sulfur amino acid deficiency changes the amino acid composition of body protein in piglets. *Animal* 4, 1349-1358.

Deelen SM, Ollivett TL, Haines DM, Leslie KE 2014. Evaluation of a Brix refractometer to estimate serum immunoglobulin G concentration in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science* 97, 3838-3844.

Detmann E, Souza MA, Valadares Filho SC, Berchielli TT, Saliba EOS, Cabral LS Pina, et al. 2012. Métodos para análise de alimentos. Suprema, Visconde do Rio Branco, MG, BRA.

Dorigam JCDP, Sakomura NK, Hauschild L, Silva EPD, Bendezu HCP, Fernandes JBK 2014. Reevaluation of the digestible lysine requirement for broilers based on genetic potential. *Scientia Agricola* 71, 195-203.

Erickson PS, Schauff DJ, Murphy MR 1989. Diet digestibility and growth of Holstein calves fed acidified milk replacers containing soy protein concentrate. *Journal of Dairy Science* 72, 1528-1533.

Fang Z, Yao K, Zhang X, Zhao S, Sun Z, Tian G, et al. 2010. Nutrition and health relevant regulation of intestinal sulfur amino acid metabolism. *Amino Acids* 39, 633-640.

França SRA, Coelho SG, Carvalho AU, Martins RGR, Ribeiro SLM 2011. Desempenho de bezerros alimentados usando de sucedâneo até 56 dias de idade. *Revista Ceres* 58, 790-793.

Hill TM, Bateman HG, Aldrich JM, Schlotterbeck RL, Tanan KG 2008. Optimal concentration of lysine, methionine, and threonine in milk replacers for calves less than five weeks of age. *Journal of Dairy Science* 91, 2433-2442.

Htoo JK, Araiza BA, Sauer WC, Rademacher M, Zhang, Y, Cervantes M, Zijlstra RT 2007. Effect of dietary protein content on ileal amino acid digestibility, growth

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiços lactentes*

performance, and formation of microbial metabolites in ileal and cecal digesta of early-weaned pigs. *Journal of Animal Science* 85, 3303-3312.

Jankowski J, Kubińska M, Zduńczyk Z 2014. Nutritional and immunomodulatory function of methionine in poultry diets – A Review. *Annals of Animal Science* 14, 17-31.

Khan MA, Lee HJ, Lee WS, Kim HS, Kim SB, Ki Ks, et al. 2007 Pre- and postweaning performance of Holstein female calves fed milk through step-down and conventional methods. *Journal of Dairy Science* 90, 876–885.

Lee C, Hristov AN, Cassidy TW, Heyler KS, Lapierre H, Varga GA, et al. 2012. Rumen-protected lysine, methionine, and histidine increase milk protein yield in dairy cows fed a metabolizable protein-deficient diet. *Journal of Dairy Science* 95, 6042-6056.

Miller-Cushon EK, Bergeron R, Leslie KE, DeVries TJ 2013. Effect of milk feeding level on development of feeding behavior in dairy calves. *Journal of Dairy Science* 96, 551–564.

Mylrea PJ 1966. Digestion of milk in young calves. I. Flow and acidity of the contents of the small intestine. *Research in Veterinary Science* 7, 333-41.

National Research Council (NRC) 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th edition. National Academies Press, Washington, DC, USA.

Poulsen KP, Foley AL, Collins MT, McGuirk SM 2010. Comparison of passive transfer of immunity in neonatal dairy calves fed colostrum or bovine serum-based colostrum replacement and colostrum supplement products. *Journal of American Veterinary Medical Association* 237, 949-954.

Rutherford SM, Moughan PJ 1998. The digestible amino acid composition of several milk proteins: application of a new bioassay. *Journal of Dairy Science* 81, 909-917.

- Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiços lactentes*
- SAS Institute 2008. SAS/STAT 9.4 User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Silva AL, Marcondes MI, Detmann E, Machado FS, Valadares Filho SC, Trece AS, Dijkstra J 2015. Effects of raw milk and starter feed on intake and body composition of Holstein × Gyr male calves up to 64 days of age. *Journal of Dairy Science* 98, 2641-2629.
- Tesseraud S, Bouvarel I, Collin A, Audouin E, Crochet S, Seiliez I, Leterrier C 2009. Daily variations in dietary lysine content alter the expression of genes related to proteolysis in chicken pectoralis major muscle. *Journal of Nutrition* 139, 38-43.
- Toullec R, Thivend P, Vermorel M, Guégnen L 1978. Veaux: veau préruminant. In *Alimentation des Ruminants* (ed. R Jarrige), pp. 245-295. INRA Publication, Versailles, FRA.
- Wang J, Diao Q, Tu Y, Zhang N, Xu X 2012. The limiting sequence and proper ratio of lysine, methionine and threonine for calves fed milk replacers containing soy protein. *Asian-Aust. Journal of Animal Science* 25, 224-233.
- Waterland RA 2006. Assessing the effects of high methionine intake on DNA methylation. *Journal of Nutrition* 136, 1706-1710.
- Williams AP 1994. Amino acid requirements of the veal calf and beef steer. In *Amino Acids in Farm Animal Nutrition* (ed. JPF D'Mello), pp. 329-349. CAB International, Wallingford, UK.
- Wu G, Bazer FW, Dai Z, Li D, Wang J, Wu Z 2014. Amino acid nutrition in animals: protein synthesis and beyond. *Annual Review of Animal Bioscience* 2, 387- 417.
- Wu, G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition 2009. *Amino Acids* 37, 1-17.

Tabela 2 Composição química do sucedâneo comercial e das dietas experimentais com diferentes relações Met+Cys:Lys para bezerros lactentes

Composição do Sucadâneo		Ingestão de Alimentos ³				
MS, g/100g	96,5	Relação Met+Cys:Lys, %	44	48	52	56
PB, g/100g MS	21,5	PB, g/dia	221	221	221	221
Energia bruta ¹ , kcal/100g	453	Energia Digestível, Mcal/dia	4,54	4,54	4,54	4,54
<i>Aminoácidos essenciais², g/100g de PB</i>		<i>Aminoácidos essenciais totais das dietas experimentais⁴, g</i>				
Lisina	17,1	Lisina	18,2	18,2	18,2	18,2
Triptofano	2,91	Triptofano	3,09	3,09	3,09	3,09
Treonina	8,56	Treonina	9,09	9,09	9,09	9,09
Metionina + Cisteína	5,93	Metionina + Cisteína	7,98	8,71	9,44	10,16
Valina	8,12	Valina	8,63	8,63	8,63	8,63
Isoleucina	8,28	Isoleucina	8,80	8,80	8,80	8,80
Leucina	14,9	Leucina	15,8	15,8	15,8	15,8
Tirosina	4,50	Tirosina	4,78	4,78	4,78	4,78
Fenilalanina + Tirosina	11,7	Fenilalanina + Tirosina	12,4	12,4	12,4	12,4
Arginina	5,80	Arginina	6,16	6,16	6,16	6,16
Histidina	3,71	Histidina	3,94	3,94	3,94	3,94
Ácido Glutâmico	43,0	Ácido Glutâmico	58,3	55,4	54,7	49,2

¹Energia bruta do sucedâneo, ²perfil aminoacídico do sucedâneo, ³ingestão de alimentos: 0,965 kg de sucedâneo/animal/dia na base da matéria seca + 0,019 kg de aminoácidos/animal/dia na base da matéria seca. ⁴Dados corrigidos para equivalente proteico e matéria seca.

Tabela 2 Relação de aminoácidos essenciais em função da lisina

Aminoácidos essenciais	Relação dos aminoácidos essenciais em função da lisina				
	Dieta experimental ¹	Sucedâneo ²	Proteína do leite		Proteína da soja ⁴
			Estudo A ³	Estudo B ⁴	
Lys	100	100	100	100	100
Met+Cys	52,6	35,0	41,4	47,0	47,0
Thr	50,0	17,0	57,0	68,0	61,0
Arg	34,0	34,0	44,0	44,0	121,0
Hist	22,0	22,0	33,0	42,0	45,0
Ile	48,0	48,0	72,0	65,0	74,0
Leu	87,0	87,0	119,0	124,0	127,0
Phe+Tyr	68,0	68,0	122,0	133,0	142,0
Val	47,0	48,0	81,0	81,0	79,0

¹Resultados encontrados no presente estudo para dieta que promoveu GMD de 0,594 kg/dia; ²Relações dos aminoácidos essenciais em função da lisina na proteína do sucedâneo comercial base da dieta experimental; ³Relações dos aminoácidos essenciais em função da lisina na proteína do leite integral de vaca (Williams, 1994); ⁴Relações dos aminoácidos essenciais em função da lisina na proteína do leite integral de vaca e na proteína da soja (Rutherford e Moughan, 1998).

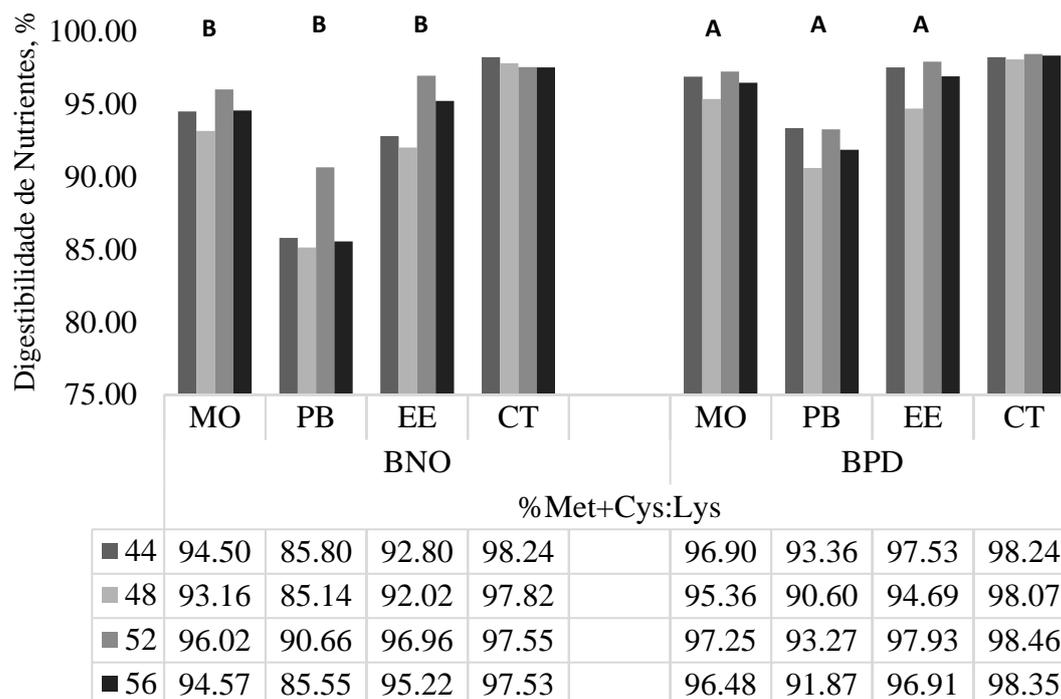


Figura 1 Digestibilidade aparente de nutrientes de bezerros mestiços lactentes em diferentes fases fisiológicas: neonatos (BNO; 8 a 30 dias de vida) e pré-desmame (BPD; 30 a 60 dias de vida), alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina + cisteína e lisina (RMCL). Os valores *P* das interações entre grupo de idade (I) e tratamentos experimentais (RMCL; T): matéria orgânica (MO; $I < 0,01$; $T = NS$; $T \times I = 0,724$), proteína bruta (CP; $I < 0,01$; $T = NS$; $I \times T = 0,342$), extrato etéreo (EE; $I = 0,010$; $T = NS$; $I \times T = 0,435$) e carboidratos totais (CT; $I = 0,209$; $T = NS$; $I \times T = 0,481$). *NS* = não significativo.

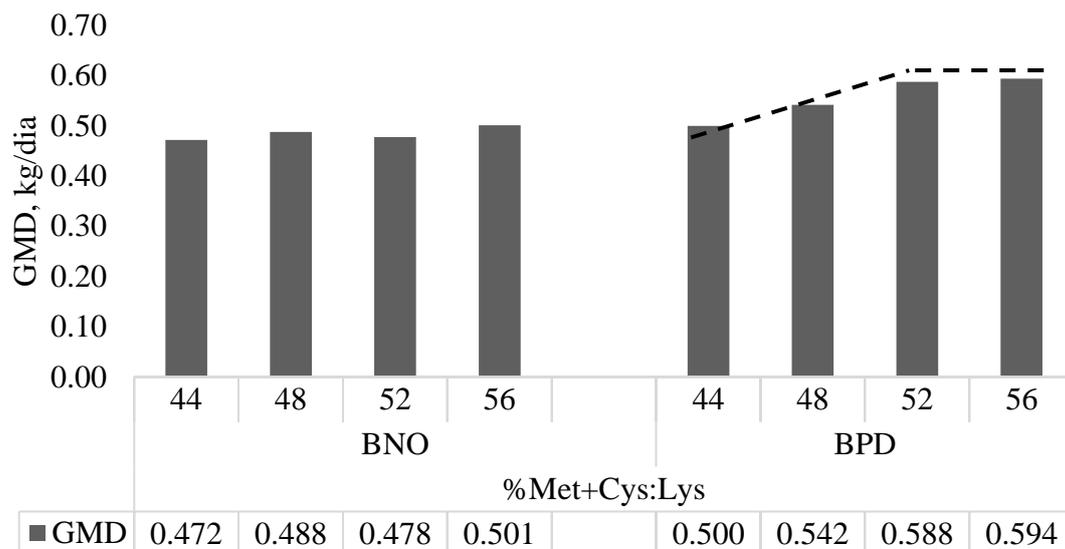


Figura 2 Ganho de peso médio diário (GMD) de bezerros mestiço lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina (RMCL). Bezerros neonatos (BNO; 8 a 30 dias de vida; $P = 0,656$) e bezerros pré-desmame (BPD; 30 a 60 dias de vida; $Y = 0,0189 + 0,0109 \times \text{RMCL}$; $P = 0,001$; $R^2 = 0,600$; $\text{MSE} = 0,001$; $X_{\text{platô}} = 52,56\%$).

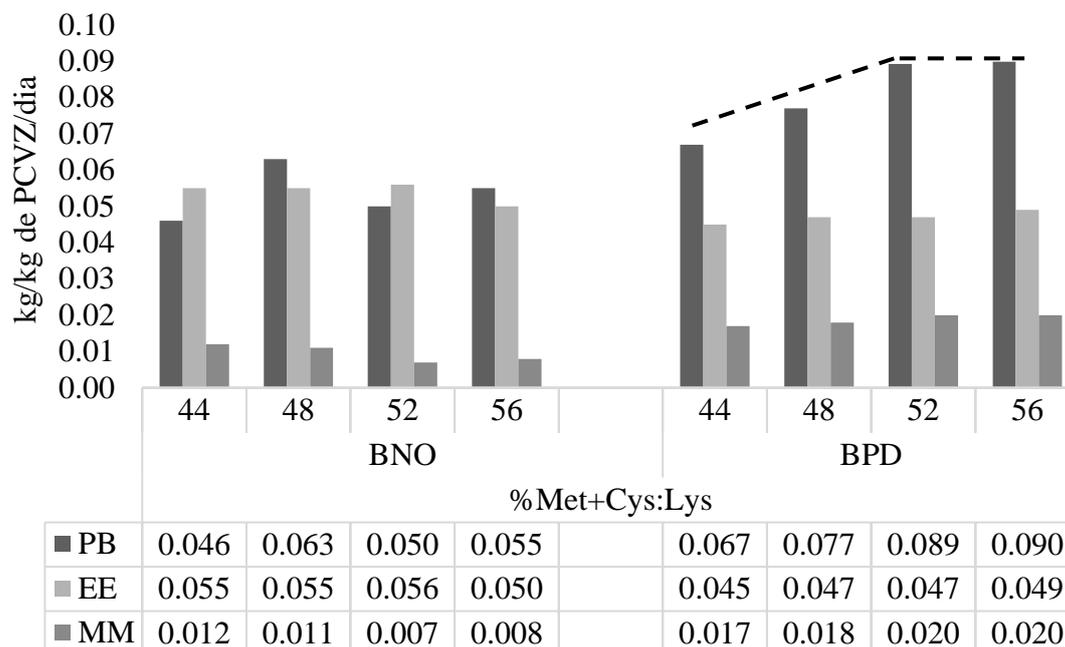


Figura 3 Ganho do peso de corpo vazio (PCVZ) em proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM) de bezerros mestiços lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas metionina+cisteína e lisina (RMCL). Bezerros neonatos (BNO; 8 a 30 dias de vida): ganhos em PB ($P = 0,803$), EE ($P = 0,338$) e MM ($P = 0,129$); bezerros pré-desmame (BPD; 30 a 60 dias de vida): ganhos em PB ($Y = - 0,0528 + 0,0027 \times RMCL$; $P = 0,0874$; $R^2 = 0,1693$; $MSE = 0,0181$; $X_{\text{platô}} = 52,33$), EE ($P = 0,163$) e MM ($P = 0,168$).

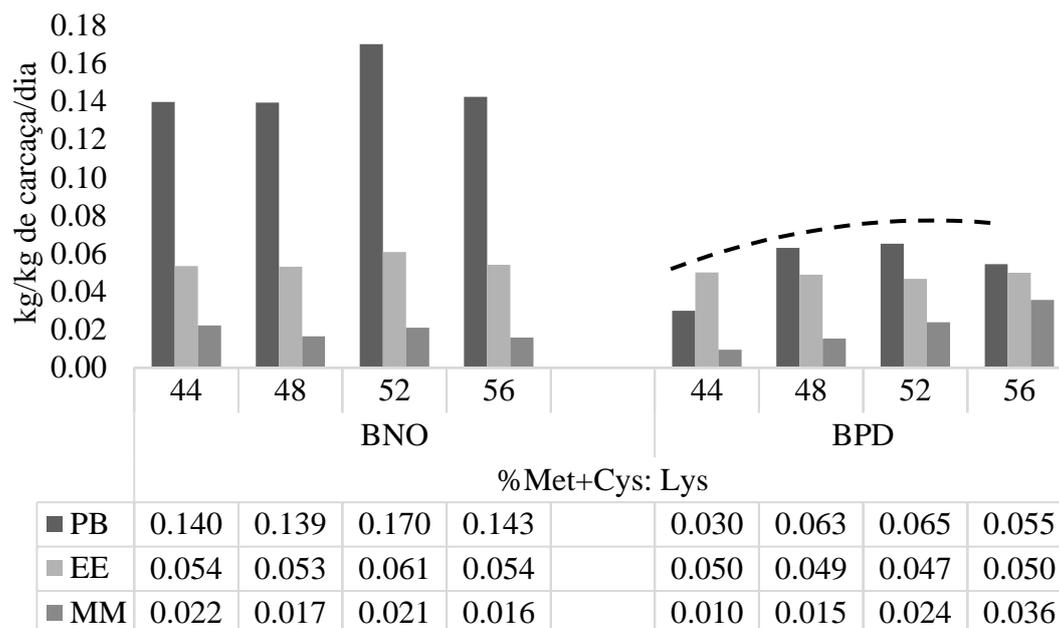


Figura 4 Ganho médio diário em proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM) no componente corporal carcaça de bezerros mestiços lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina (RMCL) para bezerros neonatos (BNO; 8 a 30 dias de vida): ganhos em PB ($P = 0,622$), EE ($P = 0,844$) e MM ($P = 0,654$); e bezerros pré-desmame (BPD; 30 a 60 dias de vida): ganhos em PB ($Y = -0,0006 \times RMCL^2 + 0,0645 \times RMCL - 1,5966$; $P = 0,053$; $R^2 = 0,845$; $MSE = 0,014$), EE ($P = 0,879$) e MM ($Y = 0,0019 \times RMCL - 0,075$; $P = 0,004$; $R^2 = 0,329$; $MSE = 0,004$).

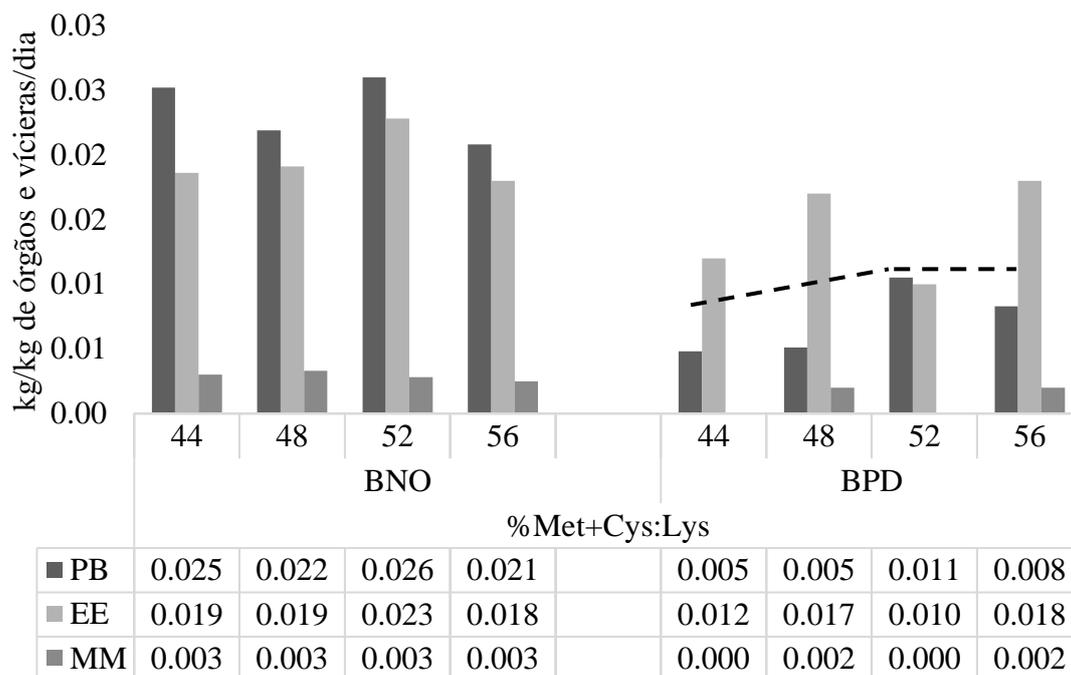


Figura 5 Ganho em proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM) no componente corporal órgãos e vísceras de bezerros mestiços lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina (RMCL) para bezerros neonatos (BNO; 8 a 30 dias de vida): ganhos em PB ($P = 0,495$), EE ($P = 0,880$) e MM ($P = 0,420$); e bezerros pré-desmame (BPD; 30 a 60 dias de vida): ganhos em GPB ($Y = - 0,0303 + 0,00076 \times \text{RMCL}$; $P = 0,038$; $R^2 = 0,550$; $\text{MSE} = 0,0000043$; $X_{\text{plató}} = 52,82\%$), EE ($P = 0,127$) e MM ($P = 0,783$).

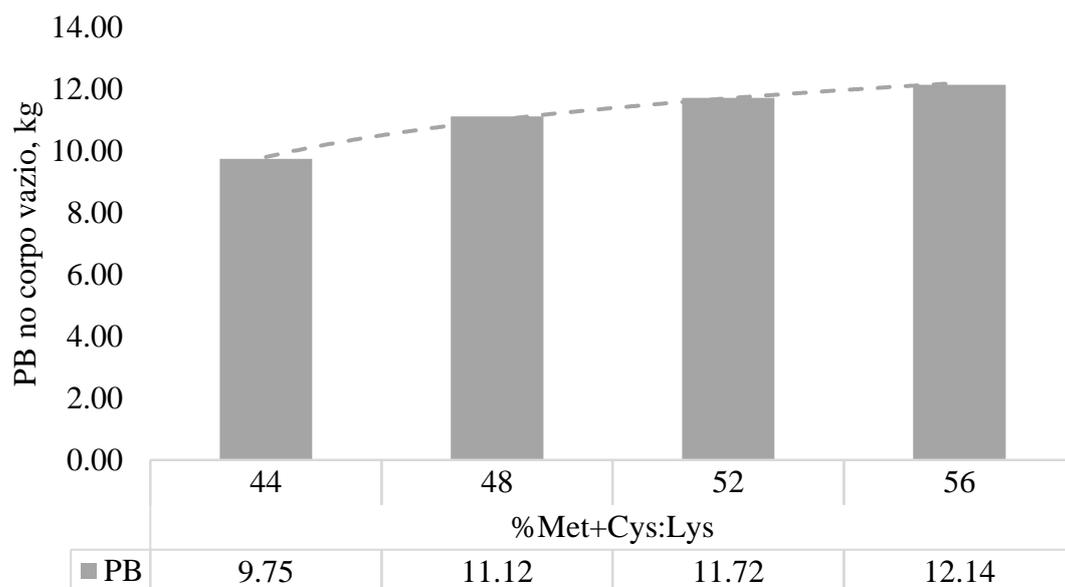


Figura 6 Proteína bruta no corpo vazio de bezerros mestiços lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina (RMCL) para bezerros abatidos aos 60 dias. $Y = -0,021 \times RMCL^2 + 2,221 \times RMCL - 48,162$ ($P = 0,088$; $R^2 = 0,632$; $MSE = 0,289$).

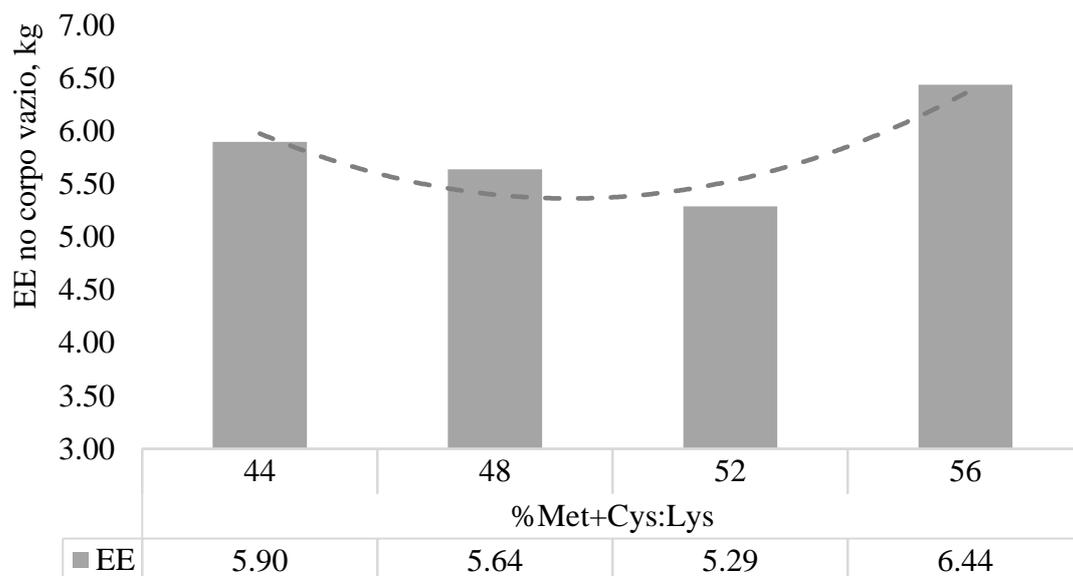


Figura 7 Extrato etéreo no corpo vazio de bezerros mestiços lactentes alimentados com diferentes relações dietéticas de metionina+cisteína e lisina (RMCL) para bezerros abatidos aos 60 dias. $Y = 0,0214 \times RMCL^2 - 2,1136 \times RMCL + 57,463$ ($P = 0,005$; $R^2 = 0,478$; $MSE = 0,140$).

Exigências de energia e proteína para bezerros mestiços Holandês x Gir lactentes alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico. By Chagas et al.

Requerimentos nutricionais para bezerros ainda não são bem estabelecidos e aspectos como ambiente, composição genética do rebanho e características dos alimentos devem ser considerados. Para tanto, o referido trabalho buscou apresentar informações sobre as estimativas de exigências de energia e proteína para bezerros mestiços alimentados com sucedâneo comercial. Bezerros de até 60 dias de vida podem apresentar requerimentos de energia e proteína mais elevados em função de desafios imunológicos e o sucedâneo, embora suplementado com aminoácidos, é aproveitado de forma menos eficientemente por bezerros quando comparado com o leite.

**EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE BEZERROS LACTENTES ALIMENTADOS
COM SUCEDÂNEO****Exigências de energia e proteína para bezerros mestiços Holandês x Gir lactentes alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico.**

J. C. C. Chagas*, M. A. Ferreira*, M. M. Campos†, F. S. Machado†, L. F. Costa e Silva, M. I. Marcondes‡

*Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 52171-900 Recife, Pernambuco, Brasil.

†Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 36038-330 Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

‡Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 36570-000 Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

²Algumas adaptações foram realizadas, quanto à formatação do texto, a partir das normas propostas pela Revista Científica *Journal of Dairy Science*, para adequação do artigo às normas de formatação de Tese propostas pelo Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia (UFREPE), (UFPB) e (UFC).

RESUMO: O experimento objetivou estimar as exigências de energia e proteína para bezerros Holandês x Gir lactentes, com até 60 dias de idade, alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico. Foram utilizados cinquenta bezerros machos (1/2 a 15/16 Holandês-Gir), dos quais sete foram aleatoriamente destinados para o grupo referência, abatidos com oito dias de vida, sete foram aleatoriamente destinados para o grupo manutenção, abatidos com 30 dias de vida, e os 36 bezerros remanescentes foram introduzidos no experimento no 8º dia de vida e distribuídos aleatoriamente entre quatro relações dietéticas de metionina+cisteína: lisina (**RMCL**; 44, 48, 52 e 56%), proporcionadas a partir do fornecimento de suplemento aminoacídico adicionado a 1,0 kg/dia de sucedâneo comercial, reconstituído à 13,8% de matéria seca (**MS**). As diferentes RMCL foram testadas para os modelos e não foi observado efeito significativo sobre as exigências de energia e proteína ($P > 0,05$). As exigências de energia líquida para manutenção (ELm) foram de 75,2 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, com uma eficiência de utilização de energia para manutenção (k_m) de 67,38%. A equação de estimativa das exigências de energia líquida para ganho (ELg; Mcal/dia) foi: $ER = 0,0879_{\pm 0,00808} \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,7580}_{\pm 0,1265}$, com eficiência de utilização da energia para ganho (k_g) de 47,57%. As exigências estimadas de proteína metabolizável para manutenção (PMm) foram de 4,83 g/PCVZ^{0,75}/dia. A equação para obter a estimativa de exigências para proteína líquida para ganho (PLg; g/dia) foi: $PLg = GPCVZ \times 246,73_{\pm 26,8186} \times PCVZ^{-0,1204}_{\pm 13,6492}$, com eficiência de uso de proteína para ganho (k) de 71,55%. As exigências reportadas para energia e proteína foram maiores do que os valores reportados para bezerros alimentados com leite, sugerindo que sucedâneos são utilizados por bezerros com até 60 dias de vida de forma menos eficiente, quando comparado com o leite integral. Estudos futuros precisam ser conduzidos para melhor entendimento dos efeitos dietéticos do sucedâneo sobre as exigências nutricionais de bezerros lactentes.

Palavras-chave: abate comparativo, bezerros pré-desmame, composição corporal, eficiência de utilização de energia

INTRODUÇÃO

Estudos recentes abordam a importância do manejo alimentar de bezerros e efeitos dietéticos sobre o desempenho na fase de cria (Castro et al., 2016; Chapman et al., 2016; Soberon et al., 2012). O sucesso do manejo nutricional depende do atendimento das demandas nutricionais desses animais; contudo, estudos de predição de requerimentos de energia e proteína para bezerros pré-desmame ainda são escassos.

Dentre os sistemas de estimativa de exigências nutricionais, o NRC (2001) é um dos mais utilizados no Brasil; porém, o banco de dados disponível para bezerros é escasso e pouco representativo para as condições de exploração de animais nos trópicos, principalmente em função de divergências climáticas e das raças e cruzamentos utilizados. Em função da demanda de estudos nos últimos anos, alguns trabalhos reportam dados de exigências nutricionais para bezerros criados sob condições tropicais (Diaz et al., 2001; Bartlett et al., 2006; Rodrigues et al., 2016; Silva et al., 2016); no entanto, os modelos ainda não são totalmente estabelecidos para a categoria.

O sucedâneo lácteo, vastamente utilizado na dieta de bezerros em rebanhos comerciais (Silper et al., 2013), é menos energético e apresenta valor biológico para a proteína menor do que o do leite integral. Substitutos do leite, mesmo com alto nível de inclusão de proteína de soro do leite, apresentam concentrações baixas de aminoácidos essenciais como a metionina, que é considerado o segundo aminoácido mais limitante para crescimento de neonatos depois da lisina (Lee et al., 2012), sendo necessário maior investigação relacionada à eficiência de uso de energia e proteína quando substitutos do leite são utilizados na dieta de bezerros (Silva et al., 2016).

Partindo da premissa que a composição dietética pode alterar os requerimentos nutricionais dos animais (NRC, 2007), hipotetizamos que a modificação do perfil aminoacídico, bem como a utilização de sucedâneo na dieta de bezerros, proporcionem exigências de energia e proteína diferentes dos requerimentos postulados para bezerros alimentados com leite integral.

Assim, o experimento foi conduzido objetivando estimar as exigências de energia e proteína para bezerros Holandês x Gir lactentes, com até 60 dias de idade, alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, unidade Gado de Leite (CNPGL/Embrapa), Coronel Pacheco, MG, Brasil. As amostras foram analisadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia (DZO) da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. O experimento foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa, registrado sob o protocolo número 27/2013.

Animais e manejo alimentar

Cinquenta bezerros machos, da raça girolando, com peso corporal (**PC**) ao nascimento de $36,43 \pm 5,09$ kg, foram utilizados no experimento. Imediatamente após o nascimento, os bezerros foram separados das vacas, pesados, identificados e tiveram o umbigo curado com solução de iodo a 10%. Os bezerros foram alojados em baias individuais com cama de areia e livre acesso à água, e foram alimentados com colostro (10% PC, > 50g de IgG/L) nas primeiras 6 horas após o nascimento. Os animais continuaram a receber colostro até o 3º dia de vida ao nível de 10% PC, e entre o 4º e 7º

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

dia de vida, os bezerros foram alimentados com 8 L/dia de leite integral ofertados em baldes de alumínio fracionados em duas porções iguais (08h00 e 16h00).

Aos oito dias de vida, o grupo de 50 animais apresentou PC médio de $41,97 \pm 4,09$ kg e sete bezerros foram aleatoriamente sorteados e abatidos inicialmente com essa idade para compor o grupo de animais referência. A composição corporal desses animais foi usada para estimar a composição inicial dos demais animais do experimento. Dos quarenta e três bezerros remanescentes, sete foram aleatoriamente destinados para compor o grupo manutenção que foi abatido com 30 dias de idade, enquanto que os demais 36 bezerros foram divididos em dois grupos de abate, aos 30 dias de vida ($n = 16$) e aos 60 dias de vida ($n = 20$). Esses 36 bezerros foram distribuídos aleatoriamente em delineamento inteiramente casualizado (**DIC**) entre os tratamentos experimentais ($n = 9$ por tratamento experimental), que consistiram em quatro relações dietéticas de metionina+cisteína: lisina (**RMCL**: 44; 48; 52 e 56%).

Ao iniciar o período experimental com oito dias de vida, os bezerros passaram a ser alimentados com 1,0 kg de sucedâneo (Lactor[®], DSM Company – Holanda) na base da matéria natural (% **MN**; Tabela 1), que foram diluídos em água morna até atingir o teor de 13,8% de matéria seca (**MS**), sendo preparados individualmente em baldes de alumínio. As relações dietéticas de metionina+cisteína: lisina foram determinadas a partir do fornecimento de suplemento aminoacídico composto de aminoácidos cristalinos (Ajinomoto[®] Company – Japão). As dietas apresentaram níveis crescentes de metionina e decrescentes de ácido glutâmico, proporcionando o mesmo nível de proteína para todas as dietas experimentais (Chagas et al., *under review*).

O suplemento aminoacídico (10g **MS** por refeição) foi diluído em 400 mL de água morna e ofertado aos bezerros em mamadeiras adaptadas de garrafas pet, a fim de evitar sedimentação do material nos baldes de alumínio; sendo a suplementação de aminoácidos

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes ofertada imediatamente antes da oferta do sucedâneo. A dieta foi ofertada às 08h00 e 16h00. Os aminoácidos foram incluídos nas dietas com base no perfil aminoacídico da proteína do leite (Rutherford e Moughan, 1998) e adaptados para o perfil de aminoácidos apresentado pelo sucedâneo (dados publicados por Chagas et al., *under review*).

O consumo não foi avaliado, pois a oferta de sucedâneo a partir do 8º dia de vida foi igual para todos os animais, independentemente da idade de abate ou RMCL. Assim, como a oferta da dieta não permitiu sobras, houve o consumo total da quantidade ofertada ao longo do experimento.

Ensaio de digestibilidade

Para os ensaios de digestibilidade, os animais foram submetidos à coletas totais de fezes por 72 h iniciadas aos 25 dias e 55 dias, para os grupos abatidos aos 30 e 60 dias, respectivamente. Para tanto, os animais foram alojados em gaiolas metabólicas e, ao final de cada dia, as fezes foram pesadas e resfriadas para posterior homogeneização do conteúdo total. Ao final de cada período de coleta, uma amostra composta foi retirada para análises laboratoriais.

Abate

Os animais foram abatidos após restrição alimentar por 12 h. Os bezerros foram insensibilizados por concussão cerebral, seguidos de sangramento total da veia jugular. O sangue foi coletado separadamente, pesado e amostrado. Subsequentemente, os componentes do trato gastrointestinal (rúmen, retículo, omaso, abomaso, e intestinos delgado e grosso) foram lavados e pesados. A gordura interna, mesentério, fígado, coração, rins, língua, baço, pulmão, diafragma, esôfago, traqueia, aparelho reprodutivo e rabo foram pesados e, juntamente ao trato gastrointestinal lavado, foram triturados em *cutter* industrial por 20 min, para compor as amostras de órgãos e vísceras.

Todos os componentes, tais como cabeça, membros, couro, sangue, carcaça, órgãos e vísceras, foram pesados livres de conteúdo gástrico e utilizados para compor o peso de corpo vazio (**PCVZ**).

O couro foi pesado e amostrado em: duas partes da região da escápula; três partes da linha dorsal; duas partes da linha ventral; duas partes da região traseira; uma parte representando cada pé; e uma da cabeça, o que representou o couro inteiro. As patas e cabeça foram moídas em moedor de ossos industrial para compor amostras de cabeça e membros. A carcaça de cada animal foi dividida em duas metades sendo em seguida pesadas. As meias carcaças direitas foram moídas em *cutter* industrial por 20 min e uma amostra foi retirada. Todas as amostras foram armazenadas em freezer a -80°C para posteriores análises laboratoriais.

Análises laboratoriais

As amostras de fezes foram secas em estufa de ventilação forçada (55 °C) por 72 h e posteriormente moídas a 1 mm. As amostras de componentes corporais foram parcialmente desidratadas por liofilização e moídas a 1 mm em moinho de facas (Detmann et al., 2012). As amostras de sucedâneo comercial, fezes e componentes corporais foram avaliadas quanto aos teores de MS, matéria orgânica (**MO**), matéria mineral (**MM**) e proteína bruta (**PB**) de acordo com os métodos AOAC (2005) 934.01, 942.05, 942.05 e 990.13, respectivamente, e o extrato etéreo (**EE**) de acordo com AOCS (2004), enquanto que o valor de carboidratos totais (**CT**), dos alimentos e fezes, foi estimado pela diferença entre a MO e a soma da PB e EE.

A energia digestível (**ED**) da dieta foi calculada multiplicando-se a fração digestível de cada componente energético da dieta pelo seu respectivo valor energético (ARC, 1980):

$$ED = (5,6 \times \text{PBd}) + (9,4 \times \text{EEd}) + (4,2 \times \text{CTd}), \quad [1]$$

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiças lactentes

onde: ED = concentração de energia digestível (Mcal/kg); PBd = concentração de proteína bruta digestível (kg/d); EEd = concentração de extrato etéreo digestível (kg/d); CTd = concentração de carboidratos totais digestível (kg/d).

O conteúdo de energia metabolizável da dieta (**EM**) foi calculado a partir da ED de acordo com equação proposta pelo NRC (2001):

$$EM = 1,01 \times ED - 0,45, \quad [2]$$

onde: EM = concentração de energia metabolizável (Mcal/dia); ED = concentração de energia digestível (Mcal/dia).

O peso corporal foi convertido em peso de corpo vazio a partir da relação entre o PCVZ e PC dos animais submetidos aos tratamentos. O peso de corpo vazio inicial (**PCVZi**) foi estimado a partir da relação de PC e PCVZ do grupo referência. A partir destes valores, o ganho de peso de corpo vazio foi calculado, podendo-se, então, obter-se a relação entre ganho médio diário (**GMD**) e ganho de peso de corpo vazio (**GPCVZ**).

A produção de calor (**PCalor**) foi calculada pela diferença entre o CEM e a energia retida (**ER**) no corpo do animal, e as exigências de energia líquida para manutenção (**ELm**) fossem estimadas a partir do intercepto (β_0) da regressão entre a PCalor e o CEM, a partir da equação descrita por Ferrell e Jenkins (1998):

$$PCalor = \beta_0 \times e^{\beta_1 \times CEM}, \quad [3]$$

onde: PCalor = produção de calor (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia); CEM = consumo de energia metabolizável (Mcal/PCVZ^{0,75}/dia), “ β_0 ” e “ β_1 ” são parâmetros da equação e “e” = número de Euler (2,718281).

As exigências de energia metabolizável para manutenção (**EMm**) foram estimadas a partir do método iterativo e foi obtido no momento em que o CEM e a PCalor se igualaram, ou seja, EMm é o CEM para o qual não há retenção de energia no corpo. A

eficiência de utilização de energia metabolizável para manutenção (k_m , %) foi obtida pela razão entre ELM e EMm.

As exigências de energia líquida para ganho (ELg) foram estimadas pela regressão entre a ER e o PCVZ metabólico e GPCVZ (NRC, 1984):

$$ER = \beta_0 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{\beta_1}, \quad [4]$$

onde: ER = energia retida ou energia líquida para ganho (Mcal/dia); $PCVZ^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia), e “ β_0 ” e “ β_1 ” são parâmetros da equação.

Para determinação das exigências de energia metabolizável para ganho (EMg) é necessário estimar a eficiência do uso da EM para ganho (k_g , %), sendo o k_g estimado a partir do coeficiente de inclinação (β_1) da equação de regressão entre ER e CEM para ganho, conforme modelo proposto por Ferrell e Jenkins (1998):

$$ER = \beta_0 + \beta_1 \times CEMg, \quad [5]$$

onde: ER = energia retida (Mcal/ $PCVZ^{0,75}$ /dia); CEMg = consumo de energia metabolizável para ganho (Mcal/ $PCVZ^{0,75}$ /dia); e “ β_0 ” e “ β_1 ” são parâmetros da equação.

Para determinar o nitrogênio metabólico fecal (NMF) foi utilizado o consumo de nitrogênio (N) e o N aparente absorvido para cada animal, calculados a partir dos dados de digestibilidade. O NMF foi assumido como o intercepto (β_0) da equação de regressão entre o N aparente absorvido e o consumo de N, de acordo com modelo (Kohn et al., 2005):

$$NAA = \beta_1 \times CN + \beta_0, \quad [6]$$

Onde: NAA = nitrogênio aparente absorvido (g/ $PC^{0,75}$ /dia); CN = consumo de nitrogênio (g/ $PC^{0,75}$ /dia), e “ β_0 ” e “ β_1 ” são parâmetros da equação de regressão.

As exigências de proteína metabolizável para manutenção foram estimadas de acordo com Wilkerson et al. (1993), pela regressão linear entre consumo de proteína metabolizável (**CPM**) e do ganho de peso de corpo vazio, como:

$$\text{CPM} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{GPCVZ}, \quad [7]$$

onde: CPM = consumo de proteína metabolizável (g/dia); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); “ β_0 ” e “ β_1 ” são parâmetros da equação.

As exigências de proteína metabolizável para manutenção (**PMm**) foram calculadas a partir da relação entre o intercepto (β_0) obtido no modelo acima e a média do peso corporal médio metabólico dos animais (**PCm^{0,75}**) conforme descrito no NRC (2000):

$$\text{PMm} = \beta_0 / \text{PCm}^{0,75}, \quad [8]$$

onde: PMm = exigências de proteína metabolizável para manutenção (g/PC^{0,75}/dia); β_0 = intercepto da Eq. [7]; PCm^{0,75} = peso corporal médio metabólico (kg).

O conteúdo de proteína no corpo em função do PCVZ foi estimado a partir da equação alométrica (ARC, 1980):

$$\text{PBcorpo} = \beta_0 \times \text{PCVZ}^{\beta_1}, \quad [9]$$

onde: PBcorpo = proteína do corpo (kg); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); “ β_0 ” e “ β_1 ” são parâmetros da equação.

Assim, as exigências de proteína líquida para ganho de peso (**PLg**) foram estimadas com base na derivada da Eq. [9], como modelo a seguir:

$$\text{PLg} = \text{GPCVZ} \times \beta_0 \times \beta_1 \times \text{PCVZ}^{\beta_1-1}, \quad [10]$$

onde: PLg = exigências de proteína líquida para ganho (g/dia); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); “ β_0 ” e “ β_1 ” são parâmetros da equação.

A eficiência de utilização de proteína metabolizável para ganho (k , %) foi determinada a partir da regressão expressa de proteína retida (**PR**) em função do consumo de proteína metabolizável (**CPM**), em que β_1 foi assumido como k :

$$PR = \beta_0 + \beta_1 \times CPM, \quad [11]$$

onde: PR = proteína retida (g/PC^{0,75}/dia); CPM = consumo de proteína metabolizável (g/PC^{0,75}/dia); “ β_0 ” e “ β_1 ” são parâmetros da equação.

Análises estatísticas

Os modelos lineares e não lineares foram analisados pelos procedimentos PROC MIXED e PROC NLIN do SAS (SAS University Edition, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), respectivamente, sendo as idades de abate consideradas como efeito fixo. Os dados analisados como modelos não lineares foram ajustados pelo método de Gauss-Newton. As diferentes relações de metionina e lisina foram testadas para todos os modelos, e quando os parâmetros foram equivalentes ($P > 0,05$), uma equação combinada foi gerada. Observações que apresentaram resíduo acima de 2,5 ou abaixo de -2,5 foram considerados “*outliers*” e foram excluídos do modelo. Para todos os procedimentos estatísticos, o nível de significância adotado foi de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Peso de corpo vazio e ganho de peso de corpo vazio

As relações PCVZ/PC e GPCVZ/GMD foram estimadas a partir das equações [12] e [13], em que o PCVZ foi 94,51% do PC e o GPCVZ foi 98,54% do GMD (Tabela 1).

As equações são apresentadas como:

$$PCVZ = 0,9451_{\pm 0,011} \times PC, \quad [12]$$

$$GPCVZ = 0,9854_{\pm 0,06} \times GMD, \quad [13]$$

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

onde: PCVZ = peso de corpo vazio (kg); PC = peso corporal (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); GMD = ganho médio diário (kg/dia).

A relação PCVZ:PC encontrada de $0,94 \pm 0,011$ é coerente com valores reportados por Silva et al. (2016), de 0,94, para bezerros mestiços Holandeses x Gir, e Rodrigues et al. (2016), de 0,95, para bezerros Holandeses. O NRC (2001) adota relação PCVZ:PC de 0,89 para novilhas com mais de 100 kg. No entanto, os valores reportados no presente estudo e os demais citados para bezerros parecem ser mais condizentes, pois relações entre PCVZ:PC próximas de 1 indicam que a diferença entre PCVZ e PC é baixa em função do menor efeito de enchimento do trato gastrointestinal, o que é observado para bezerros com dieta estritamente líquida, como é o caso dos animais deste estudo.

Esse fato foi refletido na relação de GPCVZ:GMD que foi de $0,98 \pm 0,06$. Os valores de PCVZ e GPCVZ devem ser considerados a partir de mudanças na dieta, pois as alterações parecem ser significativas para animais em fase de desenvolvimento, com consumo ou não de concentrado e volumoso na dieta.

Exigências nutricionais

Os efeitos das relações dietéticas de metionina+cisteína: lisina sobre as exigências de energia e proteína, bem como as respectivas eficiências foram testadas e não foi observado efeito significativo para nenhuma das variáveis estudadas ($P > 0,05$). Como hipotetizado, era esperado que fosse verificado efeito significativo das RMCL sobre as exigências, principalmente de proteína, uma vez que que o perfil de aminoácidos é um dos fatores que determinam a forma de utilização da proteína no crescimento de bezerros (NRC, 2001), e que os tratamentos experimentais apresentavam níveis crescentes de metionina, aminoácido considerado como limitante para o crescimento de neonatos (Lee et al., 2012). Assim, entende-se que é necessário a condução de mais estudos abordando

o tema, para o maior entendimento do efeito da suplementação de aminoácidos sobre as exigências nutricionais de bezerros.

Exigências de energia para manutenção

Os efeitos das RMCL foram testados sobre os requerimentos de energia para manutenção e não foram encontradas diferenças significativas ($P = 0,072$), e assim uma equação combinada foi gerada a partir dos valores de PCalor e CEM:

$$PCalor = 0,0752_{\pm 0,00553} \times e^{(3,5369_{\pm 0,3607} \times CEM)}, \quad [14]$$

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

A estimativa da ELM foi de 75,2 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, valor próximo ao observado por Silva et al. (2016), de 74,3 kcal/PCVZ^{0,75}/dia para, bezerros mestiços com até 64 dias de vida, alimentados com leite e concentrado. Dados apresentados pelo NRC (2001), de 86 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, e Rodrigues et al. (2016), de 85 kcal/ PCVZ^{0,75}/dia, ambos para bezerros holandeses com mais de 80 dias, foram superiores ao encontrados no presente estudo, possivelmente em função do grupo genético estudado.

A EMm calculada a partir do método iterativo foi de 111,6 kcal/PCVZ^{0,75}/dia. O valor reportado é condizente com outros valores sugerido para bezerros na literatura (Gerrits et al., 1996; NRC, 2001; Silva et al., 2016) de 107; 104 e 105,2 kcal/PCVZ^{0,75}/dia, respectivamente.

As divergências encontradas para as ELM apresentadas e as postuladas pelo NRC (2001), mas que não foram observadas para a EMm, podem ser explicadas pela eficiência de utilização de energia para manutenção. A k_m calculada foi de 67,38%, valor próximo ao proposto por Silva et al. (2016), de 70,6%, e menor do que o observado pelo NRC (2001) que para dieta exclusivamente com leite foi de 86%. A k_m pode ser influenciada por diversos fatores, como por exemplo, idade ou fase fisiológica e sanidade. Os neonatos

apresentam o desenvolvimento da atividade imune como umas das prioridades metabólicas, já que a partir da segunda semana de vida os bezerros passam a substituir a imunidade passiva promovida pelo colostro pela imunidade ativa desenvolvida pelo organismo (Poulsen et al., 2010). A média de idade dos animais do banco de dados apresentado pelo NRC (2001), (acima de 8 semanas) é superior à média de idade dos animais deste estudo, apresentando fases fisiológicas distintas, possivelmente explicando a divergência dos valores encontrados.

Associado a esse fato, bezerros alimentados com sucedâneos lácteos apresentam em sua composição parte da proteína de origem vegetal, que podem ocasionar distúrbios digestivos a esses animais (França et al., 2011), consequentemente reduzindo a eficiência de utilização de energia para manutenção nessa fase.

Exigências de energia para ganho

Os efeitos das RMCL foram testados sobre os requerimentos de energia para ganho e não foram encontradas diferenças significativas ($P = 0,167$), e assim uma equação combinada foi gerada a partir da regressão da ER em função do PCVZ e do GPCVZ:

$$ER = 0,0879_{\pm 0,00808} \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,7380}_{\pm 0,1265}, \quad [15]$$

onde: ER = energia retida ou exigência de energia líquida para ganho, que representa a ELg (Mcal/dia); $PCVZ^{0,75}$ = peso de corpo vazio metabólico (kg); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia).

A partir da Eq. [15], considerando a média de $PCVZ^{0,75}$ e GPCVZ dos animais deste estudo (18,5 kg e 0,460 kg/dia), estimou-se a ELg de 0,91 Mcal/dia. Aplicando os dados deste estudo na equação proposta por Fonseca et al. (2012; $ELg = 0,0932 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,9157}$), que trabalharam com bezerros Nelore, as ELg seriam estimadas em 0,85 Mcal/dia, e as ELg verificadas a partir da equação proposta por Silva et al. (2016; $ELg = 0,0882 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{0,9050}$) para bezerros mestiços seriam

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

estimadas em 0,81 Mcal/dia, sendo esses valores próximos aos encontrados no presente estudo. No entanto, Diaz et al. (2001), trabalhando com animais puros Holandeses, propuseram equação ($ELg = 0,0635 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{1,0973}$) que estima ELg muito abaixo do observado nesse estudo (0,50 Mcal/dia).

Os dados apresentados demonstram a importância que as divergências entre grupos genéticos raças apresentam sobre as exigências de energia dos animais, uma vez que os modelos preditos por estudos com animais de origem zebuína ou que apresentem o Zebu na constituição sanguínea (Fonseca et al., 2012; Silva et al., 2016) foram mais condizentes com o reportado nesse estudo, diferentemente da equação proposta por estudo com bezerros Holandeses puros (Diaz et al., 2001).

Os efeitos das RMCL também foram testados sobre a eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho e não foi observado efeito significativo ($P = 0,706$), assim o valor único foi obtido para k_g de 47,57% (Figura 1), menor do que a k_g proposta pelo NRC (2001) de 65,2%. Estudos como os do NRC (2001) que se baseiam em técnicas de câmara de respiração para ELg e k_g podem apresentar valores superestimados (Johnson, 1986); contudo, dados reportados com técnicas utilizando abate comparativo para determinação das exigências nutricionais apresentaram valores mais condizentes com o presente estudo como Blome et al. (2003), de 58%, e Silva et al. (2016), de 57,4% para bezerros alimentados com leite, e 51,6% para dietas de leite e concentrado.

As divergências encontradas entre os valores apresentados entre o referente estudo e os da literatura podem ser explicadas em função da metabolizabilidade da dieta, que pode ser um dos fatores que influenciam a eficiência de utilização de energia (ARC, 1998), sendo o impacto dessa característica dietética maior para o uso de energia para ganho do que para manutenção (Garrett e Johnson, 1983). Tendo como base a EM da dieta experimental (Tabela 2) e a EM do leite (Silva et al., 2015), 4,1 Mcal/kg MS e 4,8 Mcal/kg

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

MS, respectivamente, podemos inferir que bezerros com até 60 dias de vida utilizam a energia disponibilizada do sucedâneo menos eficientemente quando comparado com energia disponível pelo leite integral.

Excreção de nitrogênio metabólico fecal

Para determinar as exigências de proteína é necessária a determinação da excreção do NMF. O NRC (2001) sugere fração de 1,9 a 3,3 g/kg MS ingerida, contudo o presente estudo apresentou limitações para o uso dos valores sugeridos. O intercepto da relação entre a excreção e consumo de nitrogênio não foi alterado em função das RMCL ($P > 0,05$), assim o nitrogênio endógeno fecal foi estimado como $0,083 \text{ g/PC}^{0,75}$ (Figura 2). Resultados próximos foram observados por Silva et al. (2016) para NMF de $0,073 \text{ g/PC}^{0,75}$ para bezerros alimentados com leite. Contudo, dados para estimativas NMF para bezerros ainda são escassos na literatura e valores postulados devem ser adotados apenas para bezerros com até 60 dias de vida alimentados exclusivamente com leite ou sucedâneo.

Exigências de proteína para manutenção

As exigências de proteína líquida para manutenção não foram alteradas pela diferentes RMCL ($P = 0,572$) e assim uma equação de regressão conjunta foi estimada:

$$\text{CPM} = 89,44_{\pm 4,7708} + 193,0_{\pm 11,1037} \times \text{GPCVZ}, \quad [16]$$

onde: CPM = consumo de proteína metabolizável (g/d); GPCZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia).

O intercepto da equação (89,44) foi dividido pela média do PCVZ metabólico dos animais utilizados neste estudo (18,5), o que estimou PMm como $4,83 \text{ g/PCVZ}^{0,75}/\text{dia}$. O valor encontrado para PMm está acima dos apresentados pelo NRC (2001; $3,8 \text{ g/PCVZ}^{0,75}/\text{dia}$).

Como já previamente abordado, substitutos do leite podem ocasionar desordens digestivas para bezerros neonatos (França et al., 2011), conferindo a esses animais maior fragilidade imune principalmente nas quatro primeiras semanas de vida. Dentro das atividades de manutenção que compreendem as atividades vitais, a fração responsável pelo sistema imune está inserida e a proteína é requerida em diversos processos imunológicos (Wu et al., 2014). Dessa forma, a idade dos animais avaliados e as condições fisiológicas sugerem maior PMm, como é o caso do valor observado nesse estudo. Todavia, outros trabalhos contemplando especificamente fatores como condição fisiológica devem ser desenvolvidos para evidenciar o real impacto desses fatores sobre as estimativas de PMm e comprovar essa hipótese.

Exigências de proteína para ganho

Não foi observado efeito das RMCL sobre as exigências de proteína para ganho ($P = 0,335$), assim a equação foi descrita para PLg como:

$$PLg = GPCVZ \times 246,73_{\pm 26,8186} \times PCVZ^{-0,1204}_{\pm 13,6492}, \quad [17]$$

onde: PLg = exigências líquidas de proteína para ganho (g/dia); GPCVZ = ganho de peso de corpo vazio (kg/dia); PCVZ = peso de corpo vazio (kg).

A eficiência de utilização da proteína para ganho (k , %) foi de 71,55 (Figura 3); valor menor do que reportado no NRC (2001; 80%). No entanto, os dados do NRC (2001) foram apontados como superestimados, uma vez que os mesmos foram calculados pelo método fatorial, que pode subestimar as perdas de nitrogênio, quando comparadas com dados obtidos a partir de abate comparativo (Hauschild et al., 2010). Em avaliação de níveis de proteína para bezerros Jersey, Bascom et al. (2007) observaram menor desempenho do que o esperado, e associaram os resultados à possível subestimativa das exigências nutricionais para bezerros preditas pelo NRC (2001).

Contudo, a k encontrada foi menor (apensar de próxima) mesmo quando confrontado com dados obtidos a partir de abate comparativo para bezerros alimentados com leite, Barlett et al. (2006) e Silva et al. (2016), que sugeriram k de 74% e 76,1%, respectivamente. Esse fato chama atenção para a qualidade da proteína da dieta experimental, pois, apesar de o sucedâneo ter sido suplementado com aminoácidos, 74% da proteína total da dieta ainda foi proveniente do sucedâneo. A digestibilidade aparente da proteína bruta média da dieta experimental foi de 89,9% (Tabela 2), menor do que quando comparada com a digestibilidade da proteína do leite de 94,43% (Silva et al., 2015); corroborando assim com Lammers et al. (1998), que sugeriram que bezerros de até três semanas de vida são pouco habilidosos em utilizar proteína que não são de origem do leite e Oldham (1987), que afirmou que a k é baseada no valor biológico da proteína, sendo fortemente influenciada pela qualidade da fonte proteica.

Assim, os dados apresentados para PLg, bem como para k , sugerem condução de mais estudos para determinar a eficiência do uso de proteína para ganho quando sucedâneos lácteos forem incluídos na dieta de bezerros; bem como efeitos de suplementação aminoacídica sobre as exigências nutricionais de bezerros alimentados com sucedâneo.

Em suma, as exigências de energia para manutenção e para ganho são condizentes com valores reportados na literatura para bezerros girolando mestiços, e apesar da eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho ter sido menor do que o preconizado pelo NRC (2001), esta parece ser mais adequada para bezerros alimentados com sucedâneo. Ainda, as exigências de proteína para manutenção e ganho foram consideradas mais altas e o valor k menor, quando comparado com valores reportados na literatura; contudo, uma vez que as exigências de proteína são dependentes da qualidade da proteína para a categoria animal estudada, as predições de exigências de proteína para

Chagas, J.C.C. Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes

bezerros alimentados com sucedâneo irão variar amplamente em função da qualidade dos componentes desse alimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARC. 1980. Nutrientes Requirements of Ruminants Livestock. Agricultural Research Council. The Gresham Press, London.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists. 18 th ed. Gaithersburg, Maryland.
- AOCS. 2004. Official methods and recommended practices of the American oil chemist's society. 5th ed. Champaign.
- Bartlett, K.S., McKeith, F.K., VandeHaar, M.J., Dahl, G.E., Drackley, J.K. 2006. Growth and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein at two feeding rates. *J. Anim. Sci.* 84, 1454–67.
- Bascom, S. James, R.E., McGilliard, M.L., Van Amburgh, M. 2007. Influence of dietary fat and protein on body composition of Jersey bull calves. *J. Dairy Sci.* 90:5600–9.
- Blome, R.M., Drackley, J.K., Mckeith, F.K., Hutjens, M.F., Mccoy, G.C. 2003. Growth, nutrient utilization, and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein. *J. Anim. Sci.* 81, 1641–55.
- Castro, J.J., Hwang, G.H., Saito, A., Vermeire, D.A., Drackley, J.K. 2016. Assessment of the effect of methionine supplementation and inclusion of hydrolyzed wheat protein in milk protein-based milk replacers on the performance of intensively fed Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 99:6324–6333.
- Chagas, J.C.C., Ferreira, M.A., Faciola, A.P., Machado, F.S., Campos, M.M., Entjes, M.R., Donzele, J.L., Marcondes, M.I. 2016. Effects of different methionine plus cysteine to lysine ratios on performance and body composition of suckling crossbred calves fed a commercial milk replacer. *Animal, under review.*
- Chapman, C.E., Erickson, P.S., Quigley, J.D., Hill, T.M., Bateman II, H.G., Suarez-Mena, F.X., Schlotterbeck, R.L. 2016. Effect of milk replacer program on calf

- Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes*
performance and digestion of nutrients with age of the dairy calf. *J. Dairy Sci.* 99:1–8.
- Detmann, E., Souza, M.A., Valadares Filho, S.C. 2012. Métodos para Análises de Alimentos. Visconde do Rio Branco: Suprema, Visconde do Rio Branco, MG, Brasil.
- Diaz, M.C., Van Amburgh, M.E., Smith, J.M., Kelsey, J.M., Hutten, E.L. 2010. Composition of growth of Holstein calves fed milk replacer from birth to 105-kilogram body weight. *J. Dairy Sci.* 84, 830–842.
- Ferrell, C.L., Jenkins, T.G. 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.
- Fonseca, M.A., Valadares Filho, S.C., Henriques, L.T., Paulino, P.V.R., Detmann, E., Fonseca, E.A., Benedeti, P.D.B., Silva, L.D. 2012. Exigências nutricionais de bezerros nelores lactentes. *R. Bras. Zootec.* 41, 1212–1221.
- França S.R.A., Coelho, S.G., Carvalho, A.U., Martins, R.G.R., Ribeiro, S.L.M. 2011. Desempenho de bezerros alimentados usando de sucedâneo até 56 dias de idade. *Rev. Ceres.* 58: 790-793.
- Gerrits, W.J., Tolman, G.H., Schrama, J.W., Tamminga, S., Bosch, M.W., Verstegen, M.W. 1996. Effect of protein and protein-free energy intake on protein and fat deposition rates in preruminant calves of 80 to 240 kg live weight. *J. Anim. Sci.* 74, 2129–2139, 1996.
- Hauschild, L., Pomar, C., a Lovatto, P. 2010. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal.* 4, 714–723.

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiços lactentes*

Johnson, D.E. 1986. Fundamentals of whole animal calorimetry: use in monitoring body tissue deposition. *J. Anim. Sci.* 6, 3111–3114.

Kohn, R.A., Dinneen, M.M., Russek-Cohen, E. 2005. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. *J. Anim. Sci.* 83:879–889.

Lammers, B.P., Heinrichs, A.J., Aydin, A. 1998. The effect of whey protein concentrate or dried skim milk in milk replacer on calf performance and blood metabolites. *J. Dairy Sci.* 81:1940-1945.

Lee, C., Hristov, A.N., Cassidy, T.W., Heyler, K.S., Lapierre, H., Varga, G.A., et al. 2012. Rumen-protected lysine, methionine, and histidine increase milk protein yield in dairy cows fed a metabolizable protein-deficient diet. *J. Dairy Sci.* 95, 6042-6056.

Lofgreen, G.P., Garrett, W.N. 1968. A System for Expressing Net Energy Requirements and Feed Values for Growing and Finishing Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 27, 793–806.

NRC. 1984. Nutrient requirements of beef cattle. 6th ed. National Academy Press, Washington, DC.

NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academies Press, Washington, DC.

NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants. 1st ed. National Academy Press, Washington, DC.

Garrett, W.N., Johnson, D.E. 1983. Nutritional energetics of ruminants. *J. Anim. Sci.* 57:478–497.

Oldham, J.D. 1987. Efficiencies of amino acid utilization. *In* Feed evaluation and protein requirement systems for ruminants. R. Jarrige, G., Alderman, editors. Commission of the European Communities, Brussels. 171-186.

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerras mestiços lactentes*

Poulsen, K.P., Foley, A.L., Collins, M.T., Mc Guirk, S.M. 2010. Comparison of passive transfer of immunity in neonatal dairy calves fed colostrum or bovine serum-based colostrum replacement and colostrum supplement products. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 237:949-954.

Rodrigues, J.P.P., Lima, J.C.M., Castro, M.M.D., Valadares Filho, S.C., Campos, M.M., Chizzotti, M.L., Marcondes, M.I. 2016. Energy and protein requirements of young Holstein calves in tropical condition. *Trop. Anim. Health Prod.* 48:1387–1394.

Rutherford, S.M., Moughan, P.J. 1998. The digestible amino acid composition of several milk proteins: application of a new bioassay. *J. Dairy Sci.* 81, 909-917.

SAS Institute Inc. 2008. SAS/STAT(r) 9.4 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Silper, B.F., Lana, A.M.Q., Carvalho, A.U., Ferreira, C.S., Franzoni, A.P.S., Lima, J.A.M., Saturnino, H.M., Reis, R.B., Coelho, S.G. 2013. Effects of milk replacer feeding strategies on performance, ruminal development, and metabolism of dairy calves, *J. Dairy Sci.* 97: 1016-1025.

Silva, A.L., Marcondes, M.I., Detmann, E., Machado, F.S., Valadares Filho, C.S., Castro, M.M., Dijkstra, J. 2016. Determination of energy and protein requirements for crossbred Holstein × Gyr preweaned dairy calves. *J. Dairy Sci., in press.*

Silva, A.L., Marcondes, M.I., Detmann, E., Machado, F.S., Valadares Filho, C.S., Trece, A.S., Dijkstra, J. 2015. Effects of raw milk and starter feed on intake and body composition of Holstein × Gyr male calves up to 64 days of age. *J. Dairy Sci.* 98, 2641–2649.

Wilkerson, V., Klopfenstein, T.J., Britton, R., Stock, R., Miller, P.S. 1993. Metabolizable protein and amino acid requirements of growing cattle. *J. Anim. Sci.* 71, 2777–84.

Chagas, J.C.C. *Relações metionina + cisteína:lisina na dieta de bezerros mestiços lactentes*

Wu, G., Bazer, F.W., Dai, Z., Li, D., Wang, J., Wu, Z. 2014. Amino acid nutrition in animals: protein synthesis and beyond. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 2, 387-417.

Tabela 1 - Análise descritiva dos dados de peso corporal (PC), ganho médio diário (GMD), peso de corpo vazio (PCVZ) e ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) para os bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico

Itens	Média	DP ¹	Mínimo	Máximo
PC inicial	42,27	3,724	33,90	50,00
PC final	58,56	10,53	38,00	78,00
GMD ²	0,470	0,194	0,210	0,690
PCVZ	47,87	5,566	35,97	58,09
GPCVZ	0,460	0,186	0,260	0,670

¹Desvio padrão.

Tabela 2 - Composição bromatológicas dos componentes dietéticos, consumo e digestibilidade dos nutrientes, matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM) e carboidratos totais (CT), para bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico

Itens	Composição sucedâneo ⁵	Composição AAs ⁵	Consumo ⁵
MS ¹	965	19,10	985
MO ²	908	19,10	895
PB ²	215	12,99 ⁴	221
EE ²	130	-	130
MM ²	92	-	90
EM ³	4,05	-	4,1
Digestibilidade	%	N	Desvio padrão
MO	95,90	43	1,32
PB	89,90	43	3,62
EE	96,68	43	1,90
CT	97,76	43	1,16

¹Com base na dieta fornecida, ²g/kg de matéria seca, ³EM = energia metabolizável em Mcal/kg de matéria seca, ⁴dados corrigidos para equivalente proteico, ⁵dados originais e aminograma do sucedâneo e das dietas experimentais apresentados em Chagas et al. (*under review*).

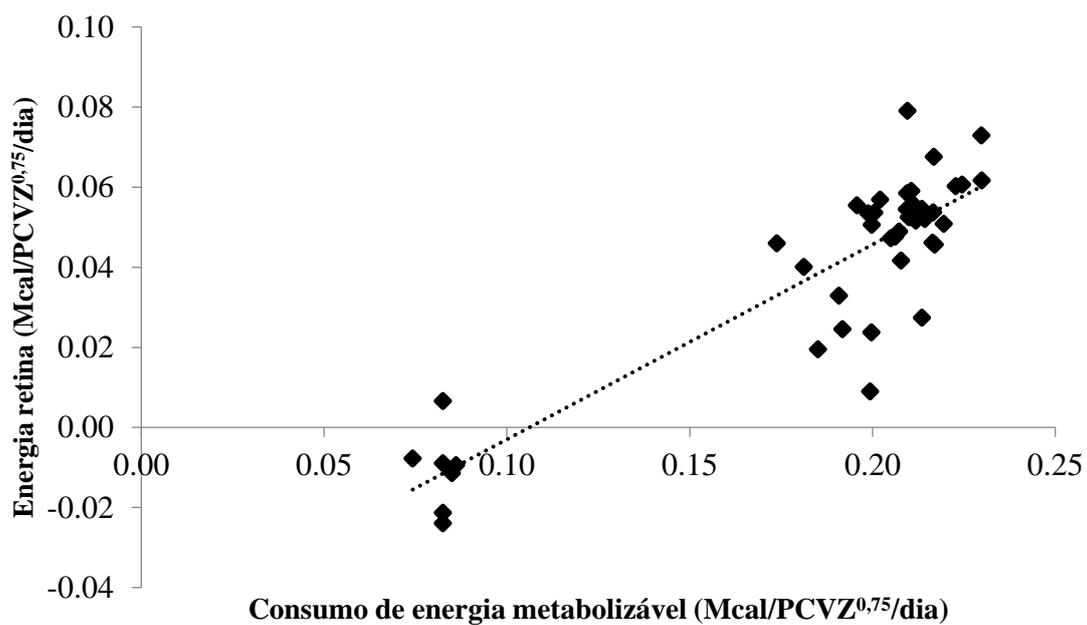


Figura 1 - Relação entre energia retida (ER) e consumo de energia metabolizável (CEM) para bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial e complexo aminoacídico. $Y = 0,4757 x - 0,0517$ ($R^2 = 0,835$).

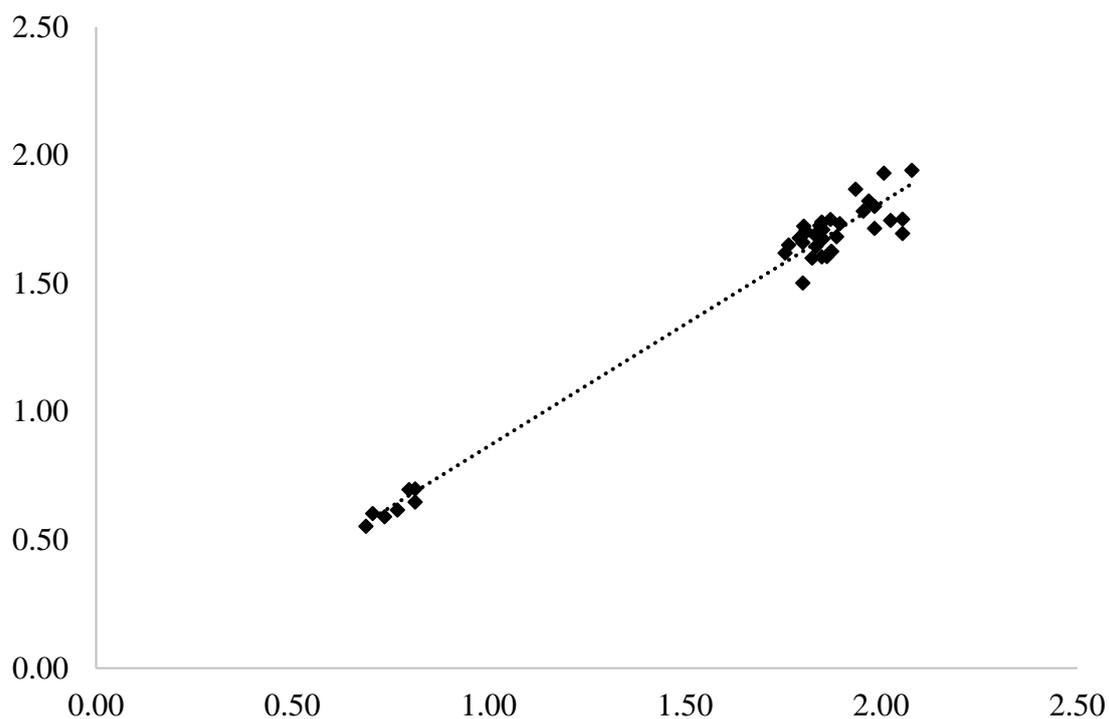


Figura 2 - Relação entre nitrogênio aparente absorvido (NAA) e nitrogênio consumido (CN), como função do peso metabólico, para bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial e complexo aminoacídico. $NAA = 0,9489 \times CN - 0,0835$ ($R^2 = 0,975$).

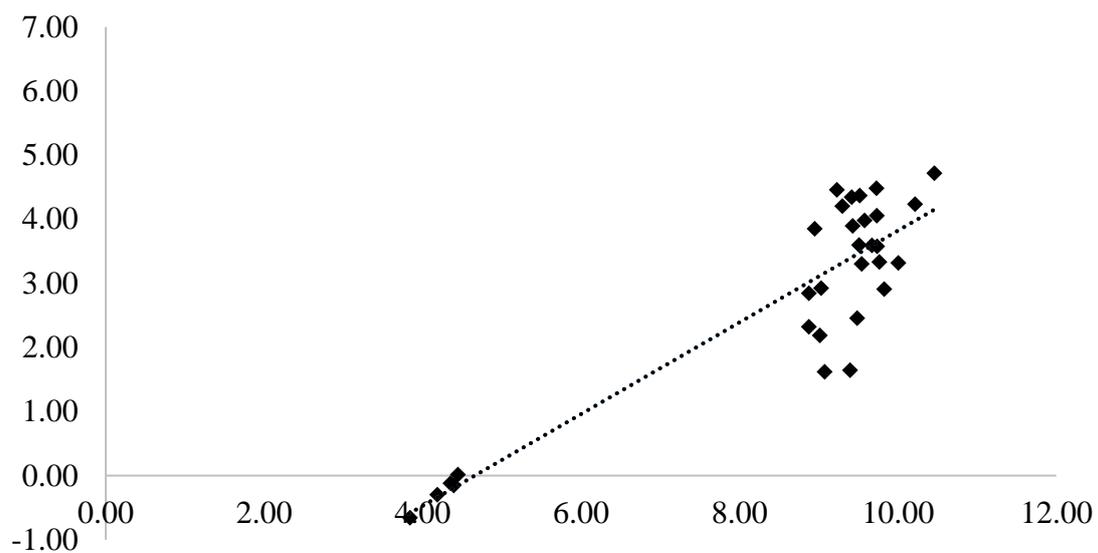


Figura 3 - Relação de consumo de proteína metabolizável (CPM) e proteína retida para bezerros mestiços lactentes alimentados com sucedâneo comercial e complexo aminoacídico. $Y = 0,7155 x - 3,333$ ($R^2 = 0,801$).

Considerações Finais

Os aminoácidos são indispensáveis para manutenção de diversas atividades do organismo. O fornecimento de dietas balanceadas em aminoácidos visa maior desempenho e retenção de nitrogênio reduzindo o desperdício de energia para excreção destes em excesso no organismo, atendendo assim aos princípios do conceito de proteína ideal.

O estudo buscou avaliar o efeito da modificação do perfil de aminoácidos sobre o desempenho, composição corporal, digestibilidade e exigências nutricionais de bezerros lactentes alimentados com sucedâneo comercial. Para tanto a partir de um experimento, dois estudos foram conduzidos. O perfil aminoacídico foi modificado a partir do aumento de metionina na dieta que permitiu quatro diferentes relações dietética de metionina+cisteína e lisina, que foram os tratamentos experimentais.

A partir das avaliações entendeu-se que os bezerros na fase de aleitamento apresentam duas fases fisiológicas distintas, que podem ser descritas como, neonatal, até 30 dias de vida, e pré-desmame, de 30 a 60 dias de vida. Os dados de desempenho e composição corporal foram avaliadas para cada fase separadamente, e foi verificado inicialmente que os animais de até 30 dias são pouco habilidosos em absorver os nutrientes disponíveis pelo sucedâneo, mesmo suplementado com aminoácidos.

Também foi observado que, respeitando a curva de crescimento de bovinos, bezerros neonatos parecem apresentar outras demandas metabólicas para fase inicial de vida e não responderam à suplementação de metionina na dieta. Diferentemente foi observado para bezerros em fase pré-desmame, que apresentaram maior ganho médio diário em função do aumento das relações dietéticas, sendo observado reposta platô para o ganho médio diário de 52,56%, proporcionando ganho de 0,594 kg/dia. As respostas

observadas para o ganho médio diário também foram observadas para composição corporal, em que dietas com maior concentração de metionina promoveu maior conteúdo em proteína bruta no corpo vazio dos bezerros.

Assim, a relação ótima de metionina+cisteína e lisina observada situou-se entre 52 e 54%, promovendo maior desempenho para bezerros na fase pré-desmame, sugerindo que substitutos do leite são deficientes em aminoácidos sulfurados.

Ainda, buscou-se estudar as exigências nutricionais de bezerros lactentes alimentados com sucedâneo comercial e suplemento aminoacídico, e o efeito de diferentes relações de metionina+cisteína e lisina sobre as exigências de energia e proteína. Não foi observado efeitos das diferentes relações de metionina+cisteína e lisina sobre os modelos de predição para estimativas de energia e proteína. Contudo, observou-se que bezerros alimentados com sucedâneo utilizam os nutrientes disponíveis de forma menos eficientes quando comparados com bezerros alimentados com leite integral.

Mais pesquisas precisam ser desenvolvidas para investigar sobre o efeito da suplementação de aminoácidos na dieta de bezerros lactentes em função da importância do tema e escassez de resultados.

Apêndices

Tabela 1. Equações para predição de exigências de energia e proteína e suas respectivas eficiências de utilização

Item	Equação	Unidade	Referência
Energia Digestível	$ED = (5,6 \times PBd) + (9,4 \times EEd) + (4,2 \times CTd)$	Mcal/d	ARC, 1980
Energia Metabolizável	$EM = 1,01 \times ED - 0,45$	Mcal/d	NRC, 2001
Produção de Calor	$PCalor = \beta_0 \times e^{\beta_1 \times CEM}$	Mcal/PCVZ ^{0,75} /d	Ferrel e Jenkins (1998)
Eficiência de utilização de energia para manutenção	$Km = ELm/EMm$	%	-
Energia retida ou exigências de energia líquida para ganho	$ER = \beta_0 \times PCVZ^{0,75} \times GPCVZ^{\beta_1}$	Mcal/d	NRC, 1984
Eficiência de utilização de energia para ganho	$ER = \beta_0 + \beta_1 \times CEMg$	%	Ferrel e Jenkins (1998)
Nitrogênio aparente absorvido (fração de N endógeno)	$NAA = \beta_0 + \beta_1 \times CN$	g/PC ^{0,75} /d	Kohn et al., 2005
Consumo de proteína metabolizável	$CPM = \beta_0 + \beta_1 \times GPCVZ$	g/d	Wilkerson et al. (1993)
Exigência de proteína metabolizável para manutenção	$PMm = \beta_0/PCm^{0,75}$	g/PC ^{0,75} /d	NRC (2000)
Conteúdo de proteína corporal	$PBcorpo = \beta_0 \times PCVZ^{\beta_1}$	kg	-
Exigências de proteína líquida para ganho	$PLg = GPCVZ \times \beta_0 \times \beta_1 \times PCVZ^{\beta_1-1}$	g/d	-
Eficiência de utilização de proteína metabolizável para ganho	$PR = \beta_0 + \beta_1 \times CPM$	%	-

