

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM ZOOTECNIA

ELIANE CARINA KLUCINEC

EXIGÊNCIA NUTRICIONAL E BIOEFICÁCIA DE METIONINA + CISTINA
DIGESTÍVEL EM PINTOS DE CORTE

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM ZOOTECNIA

ELIANE CARINA KLUCINEC

EXIGÊNCIA NUTRICIONAL E BIOEFICÁCIA DE METIONINA + CISTINA
DIGESTÍVEL EM PINTOS DE CORTE

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *strictu sensu* em Zootecnia, Área de Concentração “Produção e Nutrição Animal”, para a obtenção do título de “Mestre em Zootecnia”.

Orientador: Prof. Dr. Luís Daniel Giusti Bruno

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

M614n	<p>Klucinec, Eliane Carina Exigência nutricional e bioeficácia de metionina+cistina digestível em pintos de corte / Eliane Carina, Klucinec. - Marechal Cândido Rondon, 2013. 82 p.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Luís Daniel Giusti Bruno</p> <p>Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2013.</p> <p>1. Pintos de corte - Exigência nutricional. 2. Avicultura. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.</p> <p>CDD 22.ed. 636.5 CIP-NBR 12899</p>
-------	--

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

ELIANE CARINA KLUCINEC

EXIGÊNCIA NUTRICIONAL E BIOEFICÁCIA DE
METIONINA+CISTINA DIGESTÍVEL EM PINTOS DE CORTE

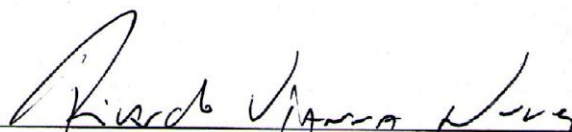
Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Zootecnia, Área de Concentração "Produção e Nutrição Animal", para a obtenção do título de "Mestra em Zootecnia".

Marechal Cândido Rondon, 31 de julho de 2013.

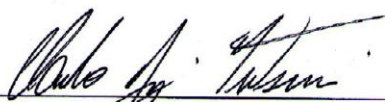
BANCA EXAMINADORA:



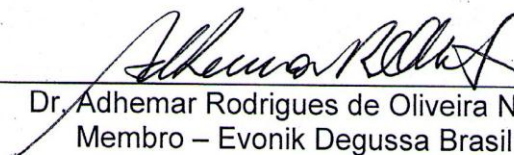
Prof. Dr. Luís Daniel Giusti Bruno
Orientador – Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Prof. Dr. Ricardo Vianna Nunes
Coorientador – Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Prof. Dr. Cláudio Yuji Tsutsumi
Membro – Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Dr. Adhemar Rodrigues de Oliveira Neto
Membro – Evonik Degussa Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, pela sua fidelidade, por estar ao meu lado em todos os momentos, me ensinado como caminhar, levantar nas quedas e valorizar as vitórias e conquistas que alcançamos na vida.

Aos meus pais e irmãos, que são parte de mim, sempre me apoiando, acreditando em mim, dedicando seu amor, tempo, carinho, sendo realmente a força para que eu prossiga sempre.

Ao meu esposo, Givanildo Freitas da Silva, pelo amor, compreensão, companheirismo, pelo apoio nos momentos difíceis, por me incentivar e acreditar em meu potencial.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela oportunidade de cursar e concluir o Curso de Mestrado.

Aos professores Dr. Luís Daniel Giusti Bruno (orientador) e Dr. Ricardo Vianna Nunes (co-orientador) pela paciência, pelo conhecimento repassado ao longo do Curso de Pós-Graduação.

Agradeço ao membro da banca examinadora, professor Dr. Cláudio Yuji Tsutsumi e ao Dr. Adhemar Rodrigues Oliveira Neto, pela atenção e contribuições dedicadas a este trabalho.

A todos os colegas do grupo GEMADA (Grupo de Estudo em Metabolismo e Desempenho de Aves) que colaboraram na execução do projeto, em especial ao amigo Cleiton Pagliari Sangali por toda a ajuda, colaboração no experimento e também na interpretação dos dados.

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Paulo Henrique Morsch pela sua competência, disposição e ajuda em todos os momentos que precisei.

A todos os professores e funcionários do Centro de Ciências Agrárias da UNIOESTE, que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento do trabalho.

“Agir, eis a inteligência verdadeira. Serei o que quiser. Mas tenho que querer o que for. O êxito está em ter êxito, e não em ter condições de êxito. Condições de palácio tem qualquer terra larga, mas onde estará o palácio se não o fizerem ali?”

(Fernando Pessoa)

BIOGRAFIA

ELIANE CARINA KLUCINEC, filha de José Romeu Klucinec e Creusa Maria Klucinec, nascida em Guaíra – Paraná, em 13 de agosto de 1979.

No ano 2000, ingressou no Curso de Graduação em Zootecnia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no *Campus* de Marechal Cândido Rondon-PR, cumprindo as exigências para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia, em dezembro de 2004.

Em 2004 foi aprovada no concurso público da Secretaria do Estado da Educação (SEED) para o quadro permanente de docente na área da Pecuária, do curso Técnico em Agropecuária, do Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo, concurso este assumido em março do ano de 2005.

No período de 2006 a 2007, cursou o Programa de Formação Pedagógica Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), obtendo habilitação em Licenciatura Plena em Pecuária.

De maio de 2008 a março de 2010, cursou o Programa de Especialização em Higiene e Processamento de Produtos de Origem Animal, pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), *Campus* Palotina-Paraná.

Em março de 2011, iniciou o Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Nível Mestrado, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon-PR, concentrando seus estudos na área de Nutrição de Monogástricos, submetendo-se aos exames finais de defesa de dissertação em 31 de julho de 2013.

RESUMO

KLUCINEC, ELIANE CARINA. Mestrado em Zootecnia. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, julho de 2013. **Exigência nutricional e bioeficácia de metionina + cistina digestível em pintos de corte.** Orientador: Dr. Luís Daniel Giusti Bruno.

O objetivo deste estudo consistiu em avaliar a exigência nutricional e a bioeficácia de metionina + cistina (met + cis) em pintos de corte, no período de 1 a 21 dias de idade. Para determinar a exigência nutricional foram utilizados 750 pintos de corte distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com cinco níveis crescentes de met + cis (0,710%; 0,780%; 0,820%; 0,880%; 0,940%). Para determinar a bioeficácia das fontes de metionina (DLM e DL-HMB) foram utilizados 1050 pintos de corte. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 3, e um tratamento adicional sem suplementação de metionina. Foram utilizados três níveis crescentes de DL-HMB (0,129%; 0,240%; 0,442%) e três níveis de DLM (0,084%; 0,156%; 0,287%) em quantidade equivalente de 65% dos níveis de DL-HMB. Os parâmetros avaliados neste trabalho para exigência e bioeficácia foram: consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar. Havendo significância entre os tratamentos, foi aplicada análise de regressão polinomial para determinar a exigência e a análise de regressão simultânea exponencial e linear foi usada para determinar a bioeficácia, baseada no peso corporal e na conversão alimentar das aves. Os valores de exigências de met + cis para as fases estudadas foram: 0,891% (1 a 7 dias); 0,917% (1 a 14 dias), 0,912% e 0,94% (1 a 21 dias). Para a bioeficácia, observou-se uma melhora no desempenho dos animais, independentemente da fonte utilizada, em relação aos frangos alimentados com a dieta basal. A análise de regressão exponencial e linear simultânea revelaram bioeficácia média da DL-HMB em relação DLM, para ganho de peso e conversão alimentar respectivamente, de: 70% e 38% (1 a 7 dias); 63% e 59% (1 a 14 dias); 79% e 53% (1 a 21 dias), em uma base de produtos.

Palavras-chave: aminoácidos sulfurados, dl-2-hidróxi-4 (metil) butanóico, dl-metionina, regressão simultânea

ABSTRACT

KLUCINEC, ELIANE CARINA. Masters in Animal Science. State University of Western Paraná, July 2013. **Nutritional requirements and bioavailability of methionine plus cystine in broiler chicks.** Advisor: Dr. Luís Daniel Giusti Bruno.

The aim of this study was to evaluate the bioavailability and nutritional requirement of methionine and cystine (met + cys) in broiler chicks from 1 to 21 days of age. To determine the nutritional requirement 750 broiler chicks were distributed in a completely randomized design with five increasing levels of met + cys (0.710%, 0.780%, 0.820%, 0.880% and 0.940%). To determine the bioavailability of the sources of methionine (DLM and DL-HMB) 1050 broiler chicks were used. The experimental design was completely randomized in a 2 x 3 factorial plus an additional treatment without supplemental methionine. Three increasing levels DL-HMB (0.129%, 0.240%, 0.442%) and three levels of DLM (0.084%, 0.156%, 0.287%) were used in an amount of 65% of DL-HMB levels. The parameters studied for requirement and bioavailability were: feed intake, weight gain and feed conversion. When there were significant differences between treatments a polynomial regression analysis was applied to determine the requirement and the linear regression analysis simultaneous and exponential was used to determine the bioavailability based on body weight and feed conversion in birds. The values for met + cys requirements for the phases were: 0.891% (1 to 7 days), 0.917% (1 to 14 days), 0.912% and 0.94% (1 to 21 days). For bioavailability an improvement in animal performance was observed, regardless of the source used, compared to broilers fed the basal diet. Exponential regression analysis and simultaneous linear revealed the average bioavailability of DL-HMB compared to DLM weight gain and feed conversion respectively: 70% and 38% (1 to 7 days); 63% and 59% (1 to 14 days); 79% and 53% (1-21 days) in a basis of products.

Keywords: sulfur amino acids, dl-2-hydroxy-4 (methyl) butanoic acid, dl-methionine, simultaneous regression

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I.....	12
Figura 1. Fórmula estrutural da metionina	16
Figura 2. Estrutura química da DL-Metionina (DLM) e Metionina Hidróxi-Análoga (DL-MHA-FA 88%).....	18
Figura 3. Curva de resposta dos animais à adição de um nutriente limitante à ração.....	21
Figura 4. Relação entre o nível de suplementação de um nutriente (produto) e a resposta animal demonstrando os três segmentos da curva exponencial de dose-resposta.....	23
Figura 5. Relação de dose resposta dos dois produtos com atividade diferente.....	24
Figura 6. Rotas de conversão do isômero D da DLM e dos isômeros D e L da DL-HMB em L-Metionina.....	32
CAPÍTULO II.....	42
Figura 1. Efeito dos níveis de met + cis (%) sobre o ganho de peso das aves no período de 1 a 7 dias de idade.	50
Figura 2. Efeito dos níveis de met + cis (%) sobre a conversão alimentar das aves no período de 1 a 7 dias de idade.....	51
Figura 3. Efeito dos níveis de met + cis (%) sobre o ganho de peso das aves no período de 1 a 14 dias de idade.	53
Figura 4. Efeito dos níveis de met + cis (%) sobre a conversão alimentar das aves no período de 1 a 14 dias de idade.....	53
Figura 5. Efeito dos níveis de met + cis (%) sobre o ganho de peso das aves no período de 1 a 21 dias de idade.	55
Figura 6. Efeito dos níveis de met + cis (%) sobre a conversão alimentar das aves no período de 1 a 21 dias de idade.....	55
CAPÍTULO III	59
Figura 1. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 7 dias de idade.....	69

Figura 2. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 7 dias de idade.....	69
Figura 3. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar, em frangos de corte, no período de 1 a 7 dias de idade..	70
Figura 4. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar, em frangos de corte, no período de 1 a 7 dias de idade.....	70
Figura 5. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 14 dias de idade.....	71
Figura 6. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 14 dias de idade.....	72
Figura 7. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar (b), em frangos de corte, no período de 1 a 14 dias de idade.....	72
Figura 8. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar (b), em frangos de corte, no período de 1 a 14 dias de idade.....	73
Figura 9. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 21 dias de idade.....	74
Figura 10. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 21 dias de idade.....	74
Figura 11. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar, em frangos de corte, no período de 1 a 21 dias de idade.	75
Figura 12. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil butanóico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar, em frangos de corte, no período de 1 a 21 dias de idade.....	75

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II	42
Tabela 1. Médias das temperaturas e valores de umidade relativa do ar, máximas e mínimas, registradas no interior da instalação durante o período experimental.	47
Tabela 2. Composição percentual da dieta basal para a fase de 1 a 21 dias.	48
Tabela 3. Médias de consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte no período de 1 a 7 dias, de acordo com o nível de metionina + cistina total (met + cis) da ração.....	49
Tabela 4. Médias de consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte no período de 1 a 14 dias, de acordo com o nível de metionina + cistina total (met + cis) da ração.....	52
Tabela 5. Médias de consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte no período de 1 a 21 dias, de acordo com o nível de metionina + cistina total (met + cis) da ração.....	54
CAPÍTULO III	59
Tabela 1. Médias das temperaturas e valores de umidade relativa do ar, máximas e mínimas, registradas no interior da instalação durante o período experimental.	64
Tabela 2. Composição percentual da dieta basal para a fase de 1 a 21 dias.	65
Tabela 3. Representação das estratégias de suplementação.	66
Tabela 4. Desempenho de frangos de corte, de 1 a 7 dias de idade alimentados com rações suplementadas com diferentes fontes de metionina.	68
Tabela 5. Desempenho de frangos de corte, de 1 a 14 dias de idade alimentados com rações suplementadas com diferentes fontes de metionina....	71
Tabela 6. Desempenho de frangos de corte, de 1 a 21 dias de idade alimentados com rações suplementadas com diferentes fontes de metionina.	73

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	9
CAPÍTULO I.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 Revisão de Literatura.....	16
2.1 Metionina na nutrição de frangos de corte	16
2.2 Exigências em aminoácidos sulfurados	19
2.2.1 Método dose-resposta para determinar exigências nutricionais	21
2.2.2 Método fatorial	22
2.3 Estimativas da bioeficácia de fontes nutricionais	23
2.3.1 Digestão e absorção das fontes de metionina	26
2.3.1.1 Utilização das fontes de metionina pelas aves.....	31
2.4 Referências bibliográficas	34
CAPÍTULO II.....	42
Exigência nutricional de metionina + cistina em pintos de corte de 1 a 21 dias de idade.....	43
Resumo	43
Abstract.....	44
1 Introdução.....	45
2 Material e métodos	46
2.1 Local e período experimental	46
2.2 Animais experimentais e delineamento estatístico	46
2.3 Instalações, equipamentos e manejos	47
2.4 Ração	48
2.5 Parâmetros avaliados	49
3 Resultados e discussão.....	49
4 Conclusões.....	56

5 Referências bibliográficas	57
CAPÍTULO III	59
Bioeficácia de fontes alternativas de metionina em relação à DL-metionina em pintos de corte	60
Resumo	60
Abstract.....	61
1 Introdução.....	62
2 Material e métodos	63
2.1 Local e período experimental	63
2.2 Animais experimentais e delineamento estatístico	63
2.3 Instalações, equipamentos e manejos	63
2.4 Ração	64
2.5 Estratégias de suplementação	66
2.6 Parâmetros avaliados	66
2.7 Análises estatísticas	67
3 Resultados e discussão.....	67
4 Conclusões.....	77
5 Referências bibliográficas	78
CAPÍTULO IV.....	81
CONSIDERAÇÕES FINAIS	82

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de carne de frango em 2012 foi de 12,65 milhões de toneladas, desse valor 69% é destinada para o mercado interno e 31% para o mercado externo. O estado do Paraná é responsável por 30,39% do total de aves abatidas no território nacional (UBA, 2013).

No primeiro trimestre de 2012, a produção e a exportação de aves tiveram ótimos resultados, atingindo recordes no estado do Paraná. Atualmente, a carne de frango paranaense é comercializada para mais de 130 países em todo o mundo. Do total produzido no estado, historicamente, um terço é destinado às exportações, enquanto o restante é absorvido pelo mercado interno (SINDIAVIPAR, 2012).

Em março de 2012, o recorde foi em relação à produção de frangos de corte, totalizando 125,86 milhões de cabeças abatidas, sendo este valor superior ao alcançado em março de 2011 que foi de 120,98 milhões. Os dados do Sindiavipar (2012), ainda apontam que o mês de março é historicamente um período de grande produção.

No entanto, o objetivo comum na avicultura de corte não é apenas o aumento na quantidade de frangos produzida, como também a obtenção de um produto de alta qualidade com menores custos de produção (SANGALI, 2012). Para isso, o sucesso da atividade avícola envolve o domínio da genética, nutrição, ambiência, manejo e sanidade para permitir que a ave expresse todo o seu potencial genético a fim de que se alcance o retorno econômico desejado.

Neste contexto, o papel do nutricionista é primordial para maximizar a produtividade, com maior eficiência na produção. Considerando que a fração mais onerosa da produção avícola, corresponde à alimentação a qual representa cerca de 70% do custo total, medidas para reduzir estes custos podem significar lucro para o setor (SOUZA, 2009).

A disponibilidade econômica de aminoácidos industriais aliado ao conhecimento do valor verdadeiro da digestibilidade dos aminoácidos presentes nos alimentos favoreceram o surgimento do conceito de proteína ideal que se refere a dietas que possuem o perfil de aminoácidos nas proporções exatas da necessidade absoluta de todos os aminoácidos requeridos para a manutenção e deposição máxima de proteína corporal (BERTECHINI, 2006). A proposta de utilizar aminoácidos industriais visa à redução nos custos de produção, em função da redução do nível de proteína nas rações e um aumento na sua eficiência de utilização, minimizando assim a excreção de nitrogênio no meio ambiente (BERTECHINI, 2012).

A metionina é um aminoácido sulfurado essencial e aparece como primeiro limitante na nutrição das aves, pelo fato do desequilíbrio de aminoácidos em todos os ingredientes usados nas rações de aves, assim a combinação de ingredientes que se complementam em aminoácidos permite a formulação prática de dieta com níveis de proteína adequados sem excessos destes nutrientes (BERTECHINI, 2012).

Juntamente com a cistina a metionina, é utilizada em grandes quantidades pelas aves sendo os primeiros limitantes; logo a concentração adequada desses aminoácidos é de fundamental importância para determinar que outros aminoácidos sejam utilizados com eficiência na síntese de proteína (ALBINO et al., 1999).

Em função da exigência em metionina, a suplementação de fontes industriais em dietas comerciais de frangos de corte é importante para se alcançar desempenho adequado (DEL VESCO, 2012). Segundo Butolo (2002) a inclusão do aminoácido metionina nas dietas de frangos de corte, iniciou-se a partir de 1970. As principais fontes comerciais disponíveis no mercado deste aminoácido são: ácido DL-Metionina (DLM), apresentada na forma em pó ou na forma líquida DL-2-hidróxi-4metil-tio-butanóico (HMB), a metionina hidróxi análoga (DL-MHA). A DLM é um produto puro, com mais de 99% de pureza, enquanto que a DL-HMB se apresenta com 88% de substâncias ativas.

Além das diferenças físicas, existem também diferenças bioquímicas e metabólicas destas fontes que podem interferir sobre as suas funções biológicas como fontes de metionina para as aves (MAENZ e ENGELE-SCHAAN, 1996^a, b; DREW et al., 2003),

Desta forma, o conhecimento do valor nutritivo da DL-HMB em relação à DLM, torna-se um pré-requisito importante para tomada de decisão sobre qual fonte de metionina utilizar, levando em conta o custo na compra de ingredientes para a formulação de dietas e para a produção animal (BRUGALLI, 2003).

A discussão sobre a bioeficácia relativa das diferentes fontes de metionina não é um tema novo, e há um volume considerável de experimentos com aves, principalmente comparando a DL-HMB com a DLM (THOMAS et al., 1991; ROSTAGNO e BARBOSA, 1995; ESTEVE-GARCIA e LLAURADO, 1997; HOEHLER et al., 2005^a; ELWERT et al., 2008). Jasman et al. (2003) relataram que muitos trabalhos vêm sendo realizados para determinar a bioeficácia da DL-HMB e DLM. Além disso, o modelo estatístico correto para avaliar a bioeficácia de diferentes fontes de nutrientes essenciais também tem sido um assunto em debate (LITTELL et al., 1997; KRATZER e LITTELL, 2006; PIEPHO, 2006).

De maneira geral, o desempenho das aves a um nutriente limitante como a metionina segue a lei dos rendimentos decrescentes, o que significa que o desempenho animal é

aumentado em função do aumento de nutrientes, até que nenhuma unidade adicional do nutriente proporcione um aumento no desempenho do animal (RODEHUTSCORD e PACK, 1999; TIMMLER e RODEHUTSCORD, 2003). De acordo com Littell et al. (1997) a maneira mais precisa para descrever as respostas de desempenho das aves aos níveis crescentes das fontes de metionina seria por modelo de regressão simultânea. Este modelo fornece uma maneira para determinar as estimativas imparciais da bioeficácia entre a substância de ensaio (DL-HMB) e a substância de referência (DLM), sugerindo ainda que a padronização das análises estatísticas tornaria as comparações de várias fontes de nutrientes, entre os diferentes experimentos, mais fáceis e mais precisas.

Portanto, o objetivo deste estudo consistiu em avaliar a exigência nutricional e bioeficácia de metionina + cistina digestível em pinos de corte.

2 Revisão de Literatura

2.1 Metionina na nutrição de frangos de corte

A metionina (Figura 1) é um aminoácido sulfurado fisiologicamente essencial para manutenção e crescimento, aparecendo como primeiro limitante na nutrição das aves. Isso se deve ao fato das rações de aves serem formuladas com a tradicional mistura milho e farelo de soja, que parece não atender às exigências desse aminoácido, comprometendo características produtivas e reprodutivas (DAENNER e BASSEI, 2002^a).

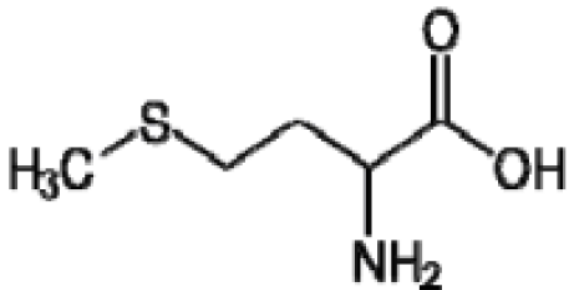


Figura 1. Fórmula estrutural da metionina

Fonte: Adaptado de Lehninger et al. (2002)

A sua função principal consiste em participar da síntese proteica; além disso, a metionina é uma fonte de enxofre que pode ser doado para a síntese de outros componentes químicos que apresentam o enxofre em sua composição (WU, 2003), participando da síntese da cisteína, que é também utilizada para a síntese da proteína corporal, formação da pele, penas e pelos nos mamíferos, sendo este aminoácido importante frente ao estresse e ao status inflamatório (TESSERAUD et al., 2008).

A metionina, na forma de S-adenosilmetionina, é um co-fator responsável por doar radicais metil no organismo animal, sendo necessária para biossíntese de muitas substâncias importantes, envolvidas no crescimento e desenvolvimento das aves, tais como a creatina, carnitina, poliaminas, melatonina, epinefrina e colina (BAKER et al., 1996; LEHNINGER et al., 2002).

De acordo com Carew et al. (2003) uma dieta deficiente em metionina, além de reduzir o ganho de peso, a eficiência alimentar e o teor de proteína na carcaça, estimula o consumo de ração, contribuindo com energia adicional e, conseqüentemente, ocasionando acréscimo na deposição de gordura corporal.

No organismo, a metionina apresenta uma relação com a cisteína. Em condições normais, a metionina pode ser catabolizada e convertida em cisteína. No entanto, esta conversão é irreversível, pois a cisteína não pode ser convertida em metionina e por isso torna-se necessário determinar os níveis adequados destes aminoácidos, a fim de se atender esta interrelação (BARBOSA et al., 2000). Esse catabolismo tem a função de garantir o suprimento da cistina, o que explica a exigência de metionina ser normalmente associada à de cistina (GRABER et al., 1971; MOURA et al., 2010).

As aves utilizam grandes quantidades de aminoácidos sulfurados durante o período de crescimento corporal e existem alguns casos em que as necessidades só podem ser atendidas com a suplementação de aminoácidos industriais nas rações (ALBINO et al., 1999).

Todavia, é normal expressarmos as necessidades dos animais como aminoácidos sulfurados, ou seja, os requerimentos de metionina e de cistina somados (met+cis). Neste sentido, a formulação de dietas práticas para aves é um caso clássico, pois utilizando apenas alimentos convencionais, sem a suplementação de fontes de metionina industrial, não é possível atender às necessidades desse aminoácido.

Assim, a partir da fabricação de aminoácidos ao nível industrial, por processos químicos ou biotecnológicos, tornou-se prática a complementação dos mesmos em dietas deficientes. Ao mesmo tempo, permitiu-se a redução da quantidade de proteína nas rações, tornando-as mais eficientes, contribuindo também para a redução da excreção de nitrogênio no meio ambiente (BERTECHINI, 2012).

De acordo com Butolo (2002), a inclusão do aminoácido metionina nas dietas de frangos de corte iniciou-se a partir de 1970. Atualmente, existem diferentes fontes de metionina no mercado: a DL-Metionina com 99% de pureza e os precursores de metionina, denominados de metionina hidróxi análoga (MHA), encontrados na forma líquida (DL-MHA-FA 88%) e na forma pó (DL-MHA-Ca 84%).

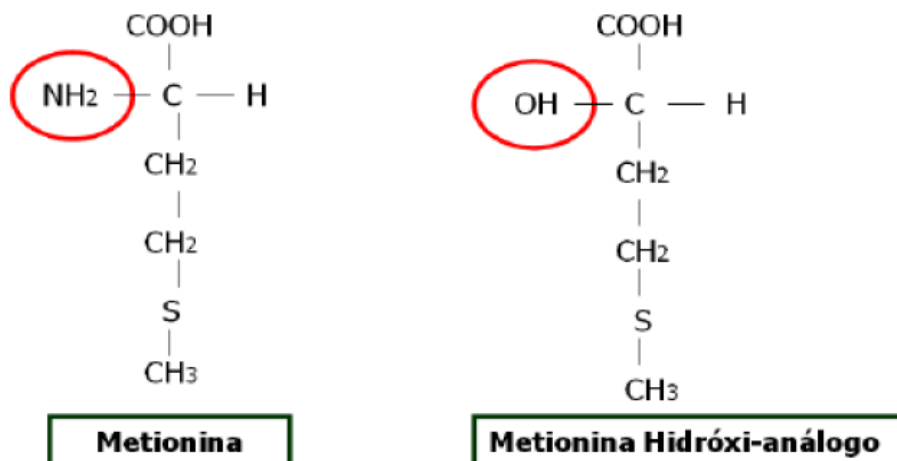


Figura 2. Estrutura química da DL-Metionina (DLM) e Metionina Hidróxi-Análoga (DL-MHA-FA 88%). NH₂: grupo amina; OH: grupo hidroxila

Fonte: ydr://bifi.es/jsancho/estructuramacromoleculas/2aminoacidos/2aminoacidos.html

De acordo com Moura et al. (2010), a estrutura química (Figura 2) das moléculas mostra que a principal diferença entre a metionina e seus análogos é a ausência do radical amina (NH₂), quando na forma líquida, o hidróxi análogo apresenta-se como um ácido (ácido 2-hidróxi-4-metilbutírico) e no lugar do grupamento amina (NH₂), encontra-se uma hidroxila (OH), localizado no carbono alfa da molécula. Todas as substâncias citadas possuem dois isômeros, sendo um na configuração L (Levógero) e o outro na configuração D (Destrógero), pois suas moléculas têm o carbono alfa assimétrico, ou seja, apresentam quatro ligantes diferentes. A forma D é biologicamente inativa, enquanto a forma L é mais comumente encontrada nos tecidos e na forma ativa, dessa forma, os isômeros D das fontes metionínicas deverão ser transformados em L metionina no organismo animal para posterior utilização como componente da proteína (BUTOLO, 2002).

O fígado das aves fica encarregado de substituir o grupo hidroxila (OH) pelo grupo amina (NH₂) e, só então, a HMB (MHA) se torna efetivamente uma molécula de metionina, com todas suas funções biológicas. Contudo, para que isto ocorra, existe um esforço fisiológico, incluindo, por exemplo, atividade extra de enzimas (ROBINSON et al., 1962; GORDON e SIZER, 1965; LANGER, 1965; DIBNER e KNIGHT, 1984), para que a molécula de DL-HMB possa ser transformada em L-metionina. Como nenhuma reação química é 100% eficiente, sempre existem perdas no processo de transformação de um produto em outro dentro do organismo animal, neste caso a transformação do precursor DL-HMB em L-metionina.

Fisicamente estas fontes são diferentes, pois a DLM é um produto puro, na forma de pó, com mais de 99% de pureza, enquanto que a DL-HMB se apresenta na forma líquida, com 88% de substâncias ativas. Desta forma, o conhecimento do valor nutritivo ou bioeficácia da DL-HMB, em relação à DLM, torna-se um pré-requisito importante para tomada de decisão sobre qual fonte de metionina utilizar, levando em conta o custo na compra de ingredientes, para a formulação de dietas e para a produção animal (BRUGALLI, 2003).

2.2 Exigências em aminoácidos sulfurados

As exigências de um nutriente podem ser definidas como a quantidade do mesmo a ser proporcionado na dieta, para atender as necessidades de manutenção e de produção, em condições ambientais compatíveis com a boa saúde do animal. As necessidades do animal podem ser interpretadas como sendo as quantidades de um nutriente para atender um determinado nível de produção (SAKUMURA e ROSTAGNO, 2007).

Neste contexto, à medida que a produção animal se torna mais eficiente, buscando uma melhor qualidade dos produtos, as exigências dos animais em aminoácidos se elevam. O melhoramento genético, associado à redução da conversão alimentar e aumento da produção de carne magra, assim como as melhorias de manejo, resultaram no aumento da densidade nutricional em aminoácidos (DALL' STELLA, 2008).

Neste sentido, as linhagens são fatores importantes e variáveis que influenciam a exigência nutricional de aminoácidos. Particularidades como potencial de ganho de peso, o peso corporal e as características reprodutivas e comportamentais devem ser consideradas na formulação das rações garantindo que os animais possam atingir seu potencial genético para isso. As linhagens modernas necessitam de um aporte maior de aminoácidos para a expressão dos ganhos genéticos.

A idade das aves influencia as exigências nutricionais de aminoácidos, uma vez que ocorrem mudanças tanto na capacidade de deposição de proteína, que aumenta durante o crescimento das aves, atingindo um máximo, e então decresce à medida que o animal se aproxima do tamanho adulto; quanto na exigência de aminoácidos para a manutenção, que aumenta com o aumento do peso corporal. Em geral, assume-se que as exigências em aminoácidos, em percentagem da dieta, diminuem com o aumento da idade das aves, em função da redução na taxa relativa de crescimento e do aumento da capacidade de consumo

alimentar. No entanto, os valores absolutos de exigências de aminoácidos, em gramas ou miligramas por dia, aumentam com o avanço da idade (SÁ et al., 2013).

A utilização de dietas diferenciadas na alimentação dos frangos de corte nas diferentes fases de criação é um avanço da nutrição, pois as diferenças do ponto de vista anatômico e fisiológico resultam em diferenças nutricionais significativas. A exigência de aminoácidos é elevada na primeira semana e decresce com o avanço da idade das aves, fato que pode ser, exemplificado com as recomendações de Rostagno et al. (2011), onde a exigência nutricional de metionina + cistina de frango de corte machos de desempenho superior é de: 0,953% (1-7 dias); 0,876% (8-21 dias); 0,826% (22-33 dias) e 0,774% (34-42 dias) respectivamente com relações metionina + cistina digestível:lisina (digestível), com base no conceito de proteína ideal, 72%.

Os fatores que determinam as exigências são: a redução do peso metabólico relativo e o aumento da capacidade de consumo em relação ao peso. Portanto, determinar a exigência nas diferentes fases proporciona melhor desempenho das aves e economicidade das dietas (BERTECHINI, 2006).

Em relação ao sexo, os frangos de corte machos apresentam maior peso corporal e metabolismo basal mais acelerado em relação às fêmeas, exigindo maiores quantidades de nutrientes. Em função da curva de crescimento diferenciada entre os sexos, Rostagno et al. (2011), determinam que as fêmeas de desempenho superior necessitam de: 0,965% (1-7 dias); 0,864% (8-21 dias); 0,772% (22-33 dias) e 0,681% (34-42 dias) metionina + cistina digestível. Ao comparar a exigência das fêmeas em relação aos machos da mesma categoria, observa-se que estas necessitam de 1,3% a mais; 1,3% a menos; 6,5% a menos e 12% a menos de metionina + cistina digestível, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final, respectivamente.

Os métodos usados para determinar as exigências nutricionais dos animais não ruminantes tem sido: o Método Dose-Resposta e Fatorial. O Método Dose-Resposta determina as exigências com base na resposta de desempenho dos animais alimentados com dietas que contém níveis crescentes do nutriente em estudo. O Método Fatorial é baseado no princípio da determinação da quantidade diária do nutriente que o animal necessita para a manutenção, crescimento e/ou produção (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007).

Devido à praticidade e simplicidade, o Método Dose Resposta tem sido utilizado na grande maioria dos estudos para definir as exigências nutricionais das aves, constituindo a base para a elaboração de tabelas como o “Nutrient Requirements of Poultry” (NRC, 1994) e as Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2000; ROSTAGNO et al.,

2005; ROSTAGNO et al., 2011), nas quais são informadas concentrações fixas dos nutrientes que devem estar presentes nas dietas, conforme a fase de criação (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007).

2.2.1 Método dose-resposta para determinar exigências nutricionais

O Método Dose-Resposta é baseado na resposta do animal ao aumento na ingestão de um nutriente. De acordo com Euclides e Rostagno (2001), a adição de um nutriente limitante na ração, mantendo níveis adequados dos demais nutrientes, promove crescimento do animal até que sua exigência seja atendida. A partir daí, existirá uma faixa de estabilização no crescimento e, em seguida, dependendo do nutriente, poderá ocorrer uma perda de peso do animal. O fenômeno resultante do acréscimo de um nutriente na ração, partindo de níveis baixos até níveis elevados, pode ser descrito em quatro fases distintas: **a) inicial** – nessa fase, o acréscimo do nutriente garante apenas a sobrevivência do animal (manutenção), pois os níveis são insuficientes para permitir o crescimento; **b) resposta** – os animais começam a apresentar crescimento, melhor eficiência alimentar, até um nível no qual estabiliza a produção; **c) estável** – nessa fase, os níveis do nutriente não apresentam resposta à produção ou toxidez proveniente do excesso; **d) tóxico** – o nível elevado do nutriente pode causar redução na produção em consequência de efeitos, tais como interação, antagonismo, etc (Figura 3).

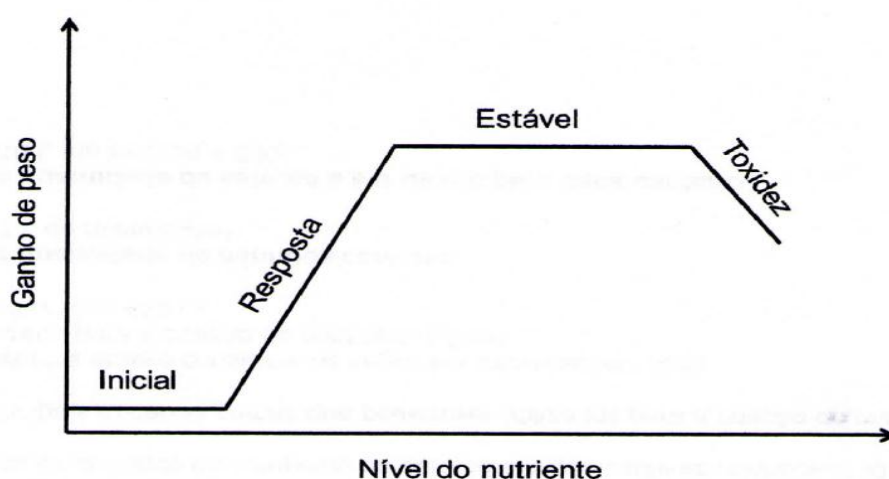


Figura 3. Curva de resposta dos animais à adição de um nutriente limitante à ração

Fonte: Adaptado de Rezende et al (2007)

De acordo com Sakomura e Rostagno (2007), os modelos utilizados para determinar os níveis ótimos dos nutrientes na dieta são aplicáveis quando os tratamentos são estabelecidos nas fases Resposta e Estável. Se os níveis forem avaliados somente no começo da fase Resposta, o nível ideal do nutriente não poderá ser determinado. Se os níveis compreenderem o início e o decorrer da fase Estável, pode-se concluir que o nutriente em estudo não é essencial ou está acima da exigência. Caso os níveis estudados se situem na fase Tóxica, o resultado mostrará o efeito nocivo do nutriente (Figura 3).

2.2.2 Método fatorial

O Método Fatorial é baseado no conceito de que a exigência de um aminoácido pode ser dividida em dois ou mais compartimentos: exigências para a deposição de proteína corporal, para crescimento de penas e para manutenção (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007). Desta forma, para a elaboração do modelo fatorial é necessário determinar ou estabelecer, com base na literatura e nos experimentos, os coeficientes ou os fatores que expressam as exigências nutricionais. As previsões sobre as exigências se baseiam nos dados obtidos nos ensaios de dose-resposta, levando em consideração a eficiência de utilização metabólica dos nutrientes para crescimento e para manutenção (LELIS et al., 2011).

A manutenção pode ser definida como o equilíbrio do aminoácido ou do nutriente corporal, estado no qual a ingestão deste é igual à soma das perdas. Para manter este equilíbrio, os aminoácidos devem ser substituídos na mesma proporção em que são perdidos no metabolismo ou excretados pela ave (FULLER et al., 1976).

De acordo com Lelis et al. (2011), o Método Fatorial calcula a exigência para ganho de peso baseada na curva de crescimento e na deposição diária de proteína. O crescimento dos animais, de acordo com a idade, pode ser expresso por meio de modelos matemáticos. Para os animais em crescimento, a maior parte das exigências dos aminoácidos é para deposição de proteína corporal. As proporções relativas às exigências dos aminoácidos são altamente relacionadas com a composição da proteína corporal.

Segundo Fuller (1994), a deposição dos aminoácidos da dieta na forma de proteína corporal (ganho de peso) não tem a eficiência de 100%, ou seja, os aminoácidos não são totalmente retidos. Isto acontece, em parte, porque as perdas de aminoácidos são obrigatórias. Para o animal reter um grama de proteína corporal, a dieta deve abastecer não só os

aminoácidos dessa proteína, mas também ter um adicional para cobrir as perdas, as quais resultam na redução da eficiência de utilização dos aminoácidos.

A exigência diária de um aminoácido pode ser calculada a partir do conhecimento dos parâmetros: deposição diária de proteína, conteúdo de aminoácidos na proteína corporal, eficiência de deposição e exigência de aminoácidos para manutenção (LELIS et al., 2011).

2.3 Estimativas da bioeficácia de fontes nutricionais

De acordo com Hackenhaar (2006), a bioeficácia corresponde à eficiência pela qual um nutriente ingerido no alimento é absorvido e convertido na sua forma ativa, como é o caso da DLM em L-metionina. Os valores de bioeficácia são obtidos através de ensaios de dose-resposta utilizando modelos multi lineares e modelos multi exponenciais para explicar as respostas dos animais às fontes de metionina. Este modelo segue a “lei dos rendimentos mínimos” (resposta não linear), o que significa que o desempenho animal é aumentado a cada passo incremental de nutrientes, até que nenhuma unidade adicional do nutriente proporcione um desempenho adicional do animal (RODEHUTSCORD e PACK, 1999; TIMMLER e RODEHUTSCORD, 2003). O efeito desta suplementação crescente de aminoácidos, partindo de uma dieta deficiente, sobre critérios de desempenho, pode ser observado na Figura 4.

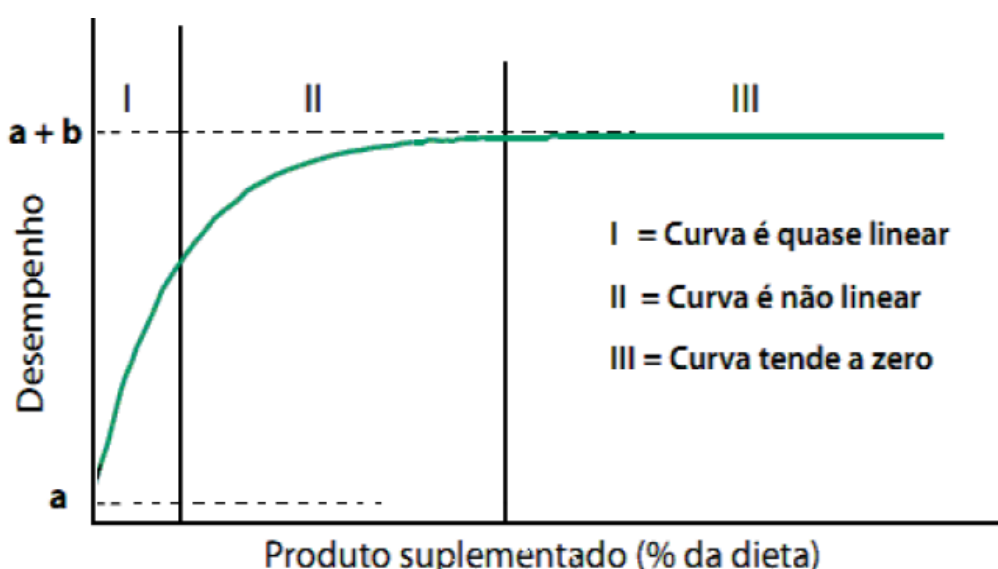


Figura 4. Relação entre o nível de suplementação de um nutriente (produto) e a resposta animal demonstrando os três segmentos da curva exponencial de dose resposta

Fonte: Adaptado de Jansman et al. (2003)

De acordo com a figura 4, a curva de dose-resposta pode ser dividida em três segmentos. No primeiro segmento, a curva aumenta de forma praticamente linear. No segundo segmento, a inclinação da curva diminui progressivamente, e no terceiro segmento, aumenta apenas marginalmente, nunca atingindo a assíntota, por definição. Portanto, um aumento ainda maior do fornecimento de metionina não aumenta mais o desempenho no terceiro segmento da curva (TIMMLER e RODEHUTSCORD, 2003). Partindo destes pressupostos, a comparação das fontes de metionina requer uma ração basal claramente deficiente em metionina e pelo menos três níveis de suplementação de cada produto, descrevendo assim as seções um e dois da curva de resposta (JANSMAN et al., 2003).

Outro ponto chave na estimativa precisa da bioeficácia de fontes nutricionais é a escolha de modelos matemáticos adequados para analisar os dados. Alguns estudos científicos reportados na literatura avaliaram a bioeficácia de fontes nutricionais por análise de variância, usando comparação múltipla de médias ou mesmo modelos matemáticos mais simples. De acordo com o pressuposto por Hoehler et al. (2005b), a determinação da bioeficácia usando comparação múltipla de médias pode estar sujeita a erros, visto que este método não é sensível o bastante para este tipo de análise.

Para determinar o valor de bioeficácia de um produto em relação a outro, são feitas comparações entre duas curvas dose resposta (LEMME et al., 2007), como pode ser observado na figura 5.

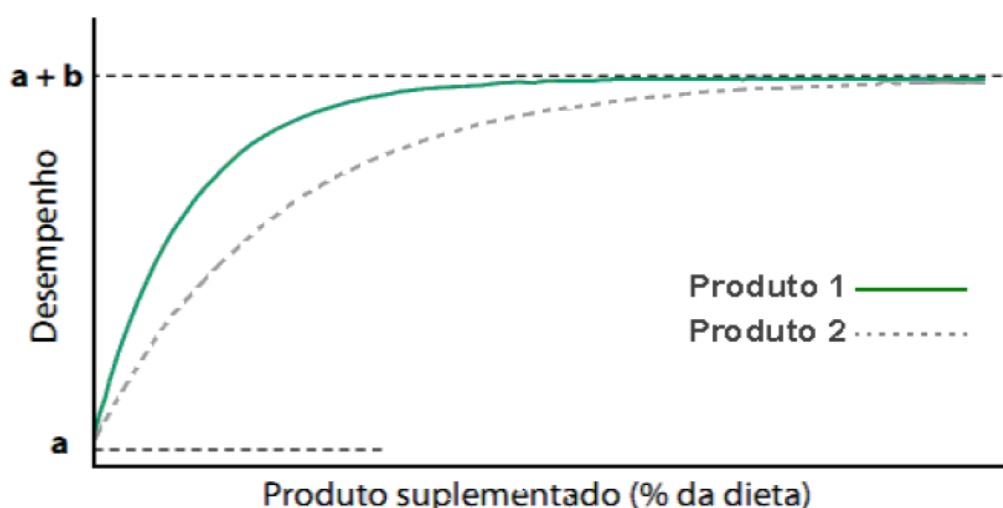


Figura 5. Relação de dose resposta dos dois produtos com atividade diferente

Fonte: Adaptado de Jansman et al. (2003)

De acordo com alguns experimentos realizados com aves, com o objetivo de comparar as fontes de DL-HMB com a DLM, observa-se que a taxa de resposta dos dois produtos

convergem com o aumento da dose, ajustando-se exatamente à lei dos rendimentos decrescentes, sendo que o desempenho máximo seria atingido pelos dois produtos e as diferenças se tornariam menores à medida que a suplementação aumentasse (SANGALI, 2012).

De acordo com Littell et al. (1997) a maneira mais precisa para descrever as curvas de desempenho em relação à suplementação das fontes de nutriente apresentados na figura 5 seria por modelo de regressão exponencial simultânea, conforme a Equação 1. Este modelo fornece uma maneira para determinar as estimativas imparciais da bioeficácia entre a substância de ensaio (DL-HMB) e a substância de referência (DLM).

$$y = a + b(1 - e^{-(c^1x^1 + c^2x^2)}) \text{ ----- (1)}$$

Em que: y = Critério de desempenho (ganho de peso, conversão alimentar, rendimento de peito, etc), a = desempenho obtido com a dieta basal (intercepto- y), b = resposta assintótica (diferença entre 'a' e assíntota), $a + b$ = assíntota comum (nível de desempenho máximo), c^1 , c^2 , = coeficientes de regressão da curva para os produtos um e dois, respectivamente, e x^1 , x^2 , = representam o nível de suplementação de cada produto.

Observa-se que tanto o ponto inicial das curvas (dieta basal) quanto a resposta máxima (assíntota) são idênticas para ambos os produtos. Consequentemente, a única diferença entre as curvas deve ser a sua inclinação, que, no caso do produto 2 atinge a assíntota a uma dose mais alta. Neste sentido, a bioeficácia pode ser determinada pela relação entre os coeficientes de regressão (c^2/c^1) (LITTELL et al., 1997).

Em alguns casos, os dados experimentais estão de acordo apenas com a primeira seção, da curva de resposta conforme a descrição na Figura 4. Neste caso, o modelo exponencial não pode ser usado porque os dados não indicam uma assíntota. Portanto, estes conjuntos de dados devem ser analisados por modelo de regressão linear simultânea ou slope-ratio (Equação 2) (LITTELL et al., 1997). Semelhante à regressão exponencial, a bioeficácia relativa é calculada dividindo os coeficientes de regressão (= inclinação da reta).

$$y = a + (b^1x^1 + b^2x^2) \text{ ----- (2)}$$

Em que: y = (ganho de peso, conversão alimentar, rendimento de peito, etc), a = desempenho obtido com a dieta basal (intercepto- y), b^1 , b^2 , = coeficientes de regressão de

cada reta, que descrevem a inclinação da reta e “ x^1 ” e “ x^2 ” representando o nível de suplementação de cada produto (% da dieta).

Os resultados obtido por Lemme et al. (2002) e Hoehler et al. (2005b) confirmam que a análise de regressão simultânea é adequada para determinar a bioeficácia de fontes de metionina em relação à DLM. Isto foi obtido através da inclusão de tratamentos com níveis crescentes de DLM diluída a 65%. A hipótese era de que, se o modelo estivesse correto, a bioeficácia da DLM diluída seria de 65%, ou próximo disso, se considerada a variação biológica. Os resultados de eficácia relativa foram de 65% e 67% para os trabalhos de Lemme et al. (2002) e Hoehler et al. (2005b), respectivamente, o que não diferiu ou ficou muito próximo do pressuposto de 65%. Portanto, pode ser considerado como uma validação da abordagem matemática.

Recentemente Kratzer e Littell (2006) questionaram a utilização de regressão simultânea para determinar a bioeficácia da DL-MHA em relação à DLM. Segundo estes autores as assíntotas das curvas de resposta para suplementação da DL-HMB e da DLM seriam diferentes e, conseqüentemente, a bioeficácia não poderia ser determinada pela abordagem de platô comum. No entanto, Piepho (2006), em uma nota de advertência ao editor, concluiu que a evidência de uma diferença de platô com base na meta-análise de Kratzer e Littell (2006) é prematura e inconsistente, visto que estes autores revisaram poucos estudos.

A utilização de regressão simultânea para determinar a bioeficácia da DL-HMB em relação à DLM foi reforçada ainda pelos trabalhos recentes de Payne et al. (2006), Elwert et al. (2008) e Sauer et al. (2008). Este modelo mostrou-se adequado não só para comparar fontes de metionina, mas também para outros nutrientes, como fontes de fósforo (POTTER, 1988; POTTER et al., 1995; FERNANDES et al., 1999), zinco (SWIATKIEWICZ et al., 2001), cobre (GUO et al., 2001) e lisina (SCHUTTE e PACK, 1994).

2.3.1 Digestão e absorção das fontes de metionina

Os nutrientes presentes no lúmen intestinal devem ser absorvidos pelas células e tecidos animais. No entanto, antes de qualquer conversão para os L-isômeros, as fontes de metionina devem ser absorvidas. Tal absorção de nutrientes tem como barreira natural a membrana das células epiteliais, a qual é composta por lipídeos, que faz que nutrientes

solúveis em água e moléculas polares que se ionizam no pH fisiológico necessitem de um sistema de transporte específico (BERTECHINI, 2006).

Os sistemas de transportes de nutrientes podem demandar energia (transporte ativo) ou serem independentes de energia (transporte mediado por “carreadores”) ou ainda por difusão passiva, o que requer a passagem de um meio com maior concentração da substância para um meio menos concentrado. Os mecanismos de absorção dos isômeros de metionina são diferentes. Os isômeros da DLM são absorvidos em ambos os sistemas de transportes sendo que o sistema de transporte ativo tem maior afinidade para os L-isômero da DLM, permitindo que sejam transportados contra um gradiente de concentração (KNIGHT e DIBNER, 1984; DIBNER et al.,1988). Já os diferentes isômeros da DL-HMB são absorvidos através da membrana celular, por difusão passiva, o que requer um meio de maior concentração da substância para o meio menos concentrado (PENZ JR., 1994). Além disso, podem ser absorvidos utilizando um sistema de transporte mediado por carreadores. O baixo pH da parte superior do trato gastrointestinal (TGI) das aves, onde a DL-HMB estaria na forma não dissociada, favorece em parte a absorção por difusão da DL-MHA (KNIGHT e DIBNER, 1984; MOURA et al., 2010).

A absorção está diretamente ligada ao tempo de permanência ao longo do TGI, o que chamamos de taxa de passagem. Uma maneira de verificar a eficiência de absorção é por meio da quantificação do resíduo desta molécula no TGI, após um período de tempo (ESTEVE-GARCIA, 1988).

Esteve-Garcia (1988) e Esteve-Garcia e Austric (1993) compararam a absorção da DL-HMB com a DLM e concluíram que ambas as fontes de metionina industrial são completamente absorvidas pelas aves. Uma vez absorvida, a DL-HMB ou isômero D da DLM, devem ser convertidos em L-metionina para serem incorporados em proteínas nos tecidos do animal, ou utilizados no metabolismo intermediário (BARBI et al., 2004).

A absorção intestinal e a excreção urinária são dois processos fisiológicos que podem limitar o uso das fontes de metionina. A DLM é absorvida de maneira ativa, o que permite que seja transportada contra um gradiente de concentração. Por outro lado, a DL-HMB é absorvida de forma passiva, por difusão, sem gasto energético, sendo uma pequena parte absorvida através de carreadores (SUIDA, 2006). Por ser um ácido orgânico, faz com que a maior quantidade do produto comercial seja absorvido em ambiente com baixo pH, como no trato digestório superior.

Quanto à eficiência de absorção das fontes dietéticas de metionina, os resultados são controversos. Neste contexto, deve-se levar em consideração que existem diferenças físicas e

químicas entre a DLM e a DL-HMB, as quais podem estar diretamente relacionadas com a eficiência pela qual cada substância é utilizada pelas aves como fonte de metionina, lembrando que a DLM é um produto puro, com 99% de atividade de metionina, sendo que suas moléculas são constituídas de monômeros, ou seja, forma em que são absorvidas sem precisar de nenhuma outra transformação (PENZ JR., 1994; LESSON e SUMMERS, 2001).

O menor valor nutritivo dos polímeros da DL-HMB pode ser explicado pela sua composição, onde dos 88% de substâncias ativas, 65% estão numa forma monomérica e os 23% remanescentes em dímeros e oligômeros (BOEBEL e BAKER, 1982; LAWSON e IVEY, 1986). Desta forma, é importante saber que as moléculas da DL-HMB podem ser absorvidas na forma de monômero, dímero ou oligômero de ácido.

Nota-se que existem várias hipóteses que explicam as razões pela qual a DL-HMB tem uma menor bioeficácia em relação à DLM. No entanto, as pesquisas que investigam as possíveis perdas metabólicas da atividade de metionina, das fontes naturais no metabolismo das aves, são escassas na literatura.

Na busca de respostas a esse questionamento, há um volume considerável de experimentos com aves, avaliando a eficiência de absorção das diferentes fontes de metionina, principalmente o DL-HMB e a DLM (ESTEVE-GARCIA e AUSTIC 1987; HAN et al., 1990; ESTEVE-GARCIA e AUSTIC, 1993; LINGENS e MOLNAR, 1996) e em todos estes estudos a absorção de DLM se aproxima a 100%. No entanto, a retenção dietética da DL-HMB ainda é um processo incerto.

De acordo com Hasseberg (2002), as moléculas de DL-HMB, ao serem convertidas em L-Metionina, por transaminação, acarretam em perdas adicionais da eficácia biológica da HMB, as quais são adicionadas às perdas ocorridas no intestino, podendo ser esta mais uma razão para a baixa eficiência relativa da DL-HMB.

Lawson e Ivey (1986) observaram em estudo *in vitro*, usando o jejuno de aves incubadas, por duas horas, com dímeros de DL-HMB que, após 60 minutos, ocasionou a hidrólise de 92% dos dímeros de DL-HMB, resultando em monômeros de DL-HMB. Desta forma, segundo estes autores, rapidamente o percentual de dímeros de DL-HMB que estão presentes na dieta são transformados em monômeros para serem posteriormente absorvidos.

No entanto, estudos mostram resultados contraditórios aos encontrados por Lawson e Ivey (1986). Trabalhando com frangos de corte, Sauderson (1991) recuperaram 15,5% dos oligômeros de DL-HMB nas excretas de frangos de corte de três semanas de idade, enquanto que a DLM foi completamente absorvida. Esta absorção incompleta dos oligômeros da DL-HMB foi sustentada por Mitchell e Hunter (1996) e Mitchell e Lemme (2008).

Partindo deste pressuposto, Van Weerden et al. (1992) testaram níveis crescentes de DLM e, DL-HMB e apenas dímeros e oligômeros de HMB em frangos de corte. Os autores obtiveram um número de bioeficácia relativa consideravelmente menor dos oligômeros da DL-MHA em comparação a DL-HMB pura. Enquanto a DL-HMB apresentou uma bioeficácia relativa de 66%, os oligômeros apresentaram apenas 49% de bioeficácia em relação à DLM, em base de produto. Okuno et al. (1989), Mitchell e Hunter (1996), Hasseberg (2002) e Mitchell e Lemme (2008) também sugeriram que a utilização pobre das formas poliméricas da DL-MHA é uma das principais razões para a sua menor bioeficácia em relação à DLM.

Maenz e Engele-Schaan (1996^a) demonstraram que a absorção de L-Metionina e L-HMB por difusão simples é baixa e pode ser desprezível (1-2%). Os resultados de pesquisas *in vitro* indicaram diferentes mecanismos de transporte ativo para a absorção de L-Metionina (Na^+ dependente) e L-HMB (H^+ dependente) (MAENZ e ENGELE-SCHAAN, 1996b). Estes autores observaram que a afinidade pelo transportador, assim como a velocidade máxima de transporte, foi maior para a L-Metionina do que para o L-HMB. Portanto, as diferenças no mecanismo de transporte, entre as duas fontes de metionina, pode levar a uma diferença na quantidade transportada.

Por outro lado, Knight e Dibner (1984) demonstraram que a DL-HMB é absorvida pelo trato digestório das aves tão rápido quanto a L-metionina. Dibner et al. (1992) mostraram que a DL-HMB pode ser ativamente absorvida através do TGI e a proporção de incorporação na proteína é similar aos outros análogos da metionina. Além disso, a DLM tem maior afinidade pelo transportador do que os análogos de metionina.

Larbier (1988) e Han et al. (1990), em trabalhos experimentais com frangos de corte encontraram uma retenção para a DLM de aproximadamente 100% e para a DL-HMB de 98% e 84%, respectivamente. Os autores concluíram que as diferenças de biodisponibilidade entre DLM e HMB não são atribuídas às diferenças de absorção entre elas.

Estudos *in vivo* e *in vitro* demonstraram que a microbiota instestinal (DREW et al., 2003; MARTINVENEGAS et al., 2006) e a temperatura ambiente (DIBNER et al., 1992) influenciam diretamente na biodisponibilidade das fontes de metionina. Por exemplo, Han et al. (1990) reportaram que a DL-HMB e DLM foram totalmente absorvidas no intestino de modelos *in vivo*, em condições de termoneutralidade. Todavia, frangos sob estresse calórico têm maior taxa de absorção da DL-HMB do que de DLM (DIBNER et al., 1992) e melhor eficiência alimentar (RIBEIRO et al., 2001). A microbiota instestinal parece afetar significativamente a eficiência de absorção das fontes de metionina, principalmente dos

análogos (HMB). Drew et al. (2003) observaram que a DL-HMB é cerca de 10% menos absorvida na porção distal do íleo do que a DLM. Os autores atribuem a uma maior ação da microbiota intestinal sobre a fonte análoga de metionina. Uma vez que é absorvida passivamente, a DL-HMB permanece por mais tempo no lúmen intestinal, sujeita a maior degradação pré-absortiva; porém, esse processo ainda não foi totalmente esclarecido.

Han et al. (1990) usando galos cececotomizados, identificaram que uma pequena quantidade de HMB pode ser absorvida no ceco ou usada pela microflora cecal. Já a DLM é totalmente absorvida no intestino delgado. Por outro lado, Richards et al. (2005) demonstraram que a DL-HMB é absorvida em todo o trato digestório, principalmente na porção inicial do intestino delgado.

A menor eficiência na absorção do DL-HMB em relação à DLM foi sustentada por Sauderson (1991) e Van Weerden et al. (1992), pelo fato da DL-HMB comercial possuir poucas frações monoméricas, o que lhe confere baixa biopotência (atividade biológica do nutriente). Porém, essa hipótese foi contestada por Martin-Venegas et al. (2006), que ao comparar a absorção *in vivo* e *in vitro* de DL-HMB, com uma fonte contendo somente frações monoméricas, concluíram não haver diferenças significativas, devido à alta capacidade hidrolítica da mucosa intestinal.

Lingens e Molnar (1996) estudaram a eficiência de utilização de DLM e MHA-Ca em frangos de corte utilizando C^{14} como marcador radioisótopo. Neste estudo, verificou-se uma maior recuperação nas fezes de DL-MHA-Ca (17%) em relação à DLM (4,4%), sugerindo uma absorção menos eficiente da DL-MHA (DL-HMB) em comparação à DLM. Isso pode ter ocorrido porque, após a absorção, a L-Metionina não precisa sofrer qualquer alteração para ser usada na síntese das proteínas. Entretanto, a DLM e os isômeros da DL-HMB deverão sofrer transformações metabólicas resultando em L-Metionina a qual poderá ser incorporada em qualquer proteína. Esta menor eficiência de absorção da DL-HMB também pode ser observada nos estudos realizados por Esteve-Garcia e Austic (1987); Esteve-Garcia e Austic (1993); Maenz e Engele-Schaan, (1996b) e Drew e Maenz (2001), os quais determinaram cerca de 11 a 17% de DL-HMB na porção final do intestino delgado de frangos de corte alimentados com ^{14}C - DL-HMB. Além disso, estes efeitos também foram observados sob condições de estresse por calor, sugerindo que altas temperaturas ambientais não interagem com este efeito (ROSTAGNO e BARBOSA, 1995; MITCHELL e HUNTER, 1996; MAENZ e ENGELE-SCHAAN, 1996b; MITCHELL e LEMME, 2008).

2.3.1.1 Utilização das fontes de metionina pelas aves

Os aminoácidos ocorrem na natureza na configuração L. As proteínas dos tecidos dos animais normalmente não contêm D-aminoácidos. No caso das aves, estas só utilizam o isômero L da metionina na síntese proteica (PENZ JR., 1994). Assim, os isômeros D da DLM e os isômeros D e L da DL-HMB deverão sofrer alterações de tal forma que, após suas transformações metabólicas, resultem também em L-metionina, para posterior utilização como componente da proteína ou utilização no metabolismo intermediário (BUTOLO, 2002; BARBI et al., 2004).

Como já descrito na figura 2, os análogos diferenciam-se da metionina por apresentarem um grupamento hidroxila (OH) no lugar do grupamento amina (NH₂), localizado no carbono alfa da molécula. As substâncias citadas possuem dois isômeros (L e D), pois suas moléculas têm o carbono alfa assimétrico, ou seja, apresentam quatro ligantes diferentes. Assim, os isômeros D das fontes metionínicas deverão ser transformados em L metionina, no organismo animal para posterior utilização como componente da proteína (BUTOLO, 2002). Os isômeros L e D da metionina sempre se apresentam na forma de monômeros. Os isômeros do HMB na forma ácida podem estar na forma de monômeros, dímeros ou oligômeros. Aqui, a reação ocorre entre a hidroxila de uma molécula com a carboxila da outra, através de uma ligação tipo éster. No caso do HMB, as ligações éster são reversíveis (PENZ JR., 1994).

Para que ocorra a conversão de D em L-Met, D-aminoácidos oxidases específicas deverão estar presentes no fígado para esta conversão (MOURA et al., 2010). A conversão bioquímica da MHA-AL (DL-HMB) para L metionina envolve intermediários 2-cetoácido-4-metiltiobutanóico, os quais também ocorrem na via metabólica da DL-HMB (Figura 6). Este processo ocorre via duas reações sequenciais envolvendo oxidação (alfa carbono) para ceto-análogo e transaminação do ceto-análogo para L-aminoácido (BAKER, 1994; BARBI et al., 2004; DIBNER 2003; MARTÍN-VENEGAS et al., 2006). A primeira reação forma o cetoácido intermediário ácido 2-oxi-4-(metiltio) ydroxyl ou Ceto-metionina. A estrutura molecular de ambos, DL-HMB e DLM, contêm um carbono assimétrico, resultando na presença de quantidades iguais dos estereoisômeros D e L nos produtos comerciais (MOURA et al, 2010).

Diferentes enzimas catalisam a oxidação dos dois estereoisômeros da DL-HMB. Todavia, a conversão destes ocorre simultaneamente, a fim de produzir o intermediário Ceto-metionina. A enzima específica para L-HMB é a L-2-hidroxi ácido oxidase (L-HAOX),

encontrada nos peroxissomos do fígado e rins das aves. O D-HMB requer a enzima mitocondrial D-2-hidroxi ácido desidrogenase (D-HAD) encontrada em vários tecidos, incluindo fígado, rins, músculo esquelético, intestino, pâncreas, baço e cérebro (DIBNER e KNIGHT, 1984).

A conversão da D-metionina para Ceto-metionina necessita de uma enzima catalítica específica, a D-aminoácido oxidase (D-AOX). Essa enzima ocorre primariamente no fígado e rins e nos peroxissomos. A segunda etapa para conversão a L-metionina é a transaminação, a qual não constitui um fator limitante no processo de conversão da metionina hidróxi-análoga (MOURA et al., 2010).

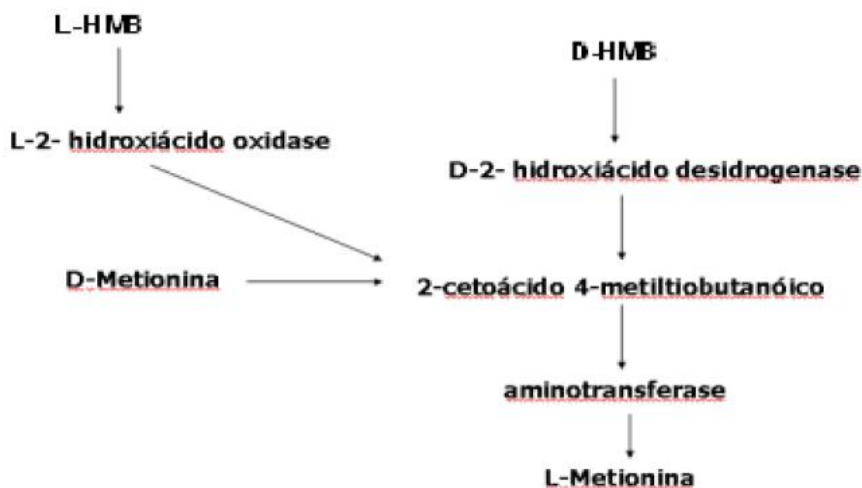


Figura 6. Rotas de conversão do isômero D da DLM e dos isômeros D e L da DL-HMB em L-Metionina

Fonte: Adaptado de ydr://bifi.es/jsancho/macromoleculas/2aminoacidos/2aminoacidos.html

Dibner e Knight (1984) observaram que, nos tecidos das aves, têm sido encontradas enzimas capazes de oxidar os dois isômeros, D e L de HMB. Após a oxidação da DLM e dos isômeros de HMB, eles são transformados em L-metionina por transaminação.

De acordo com Dibner et al. (1992), as enzimas de transformação das DL-HMB têm concentrações acima das necessárias para executar a reação, além disso, a transformação da D-HMB ocorre assim que entra na célula e a enzima que faz a transformação encontra-se na mitocôndria de todas as células passíveis de multiplicação. Logo, não deve ser nesta fase do metabolismo que qualquer diferença possa existir na utilização de DL-HMB. Entretanto, estudo realizado por Lingens e Molnar (1996) encontraram maior quantidade de carbono quatorze (^{14}C) no peito e na perna de aves alimentadas com ^{14}C -DLM, em comparação com as aves alimentadas com ^{14}C - DL-HMB, indicando uma clara relação

entre disponibilidade das fontes de metionina e sua incorporação nos músculos. Estes resultados também foram observados por Saunderson (1985) que ao avaliar a incorporação de fontes de metionina nos tecidos utilizando ^{14}C obteve uma menor incorporação da DL-HMB em comparação à L-metionina.

De acordo com Hasseberg (2002), as moléculas de DL-HMB, ao serem convertidas em L-metionina, por transaminação, acarretam perdas adicionais da eficácia biológica de DL-HMB, as quais são adicionadas às perdas ocorridas no intestino; podendo ser esta mais uma razão para a baixa eficiência relativa da DL-HMB em relação à DLM.

Estudo de excreção renal das fontes de metionina em frangos de corte, realizado por Esteve-Garcia e Austic (1988), verificou que L-Metionina, D-Metionina e DL-MHA-Ca são excretadas com a mesma intensidade. Posteriormente, Esteve-Garcia e Austic (1993) e Esteve-Garcia (1998) também observaram excreção similar da DLM e da DL-HMB, sendo inferior a 1 e 2,2% do volume filtrado, respectivamente. Portanto, de acordo com estes autores, não é a excreção a responsável pela existência de qualquer diferença da bioeficácia das fontes comerciais de metionina.

2.4 Referências bibliográficas

- ALBINO, L.F.T.; SILVA, S.H.M.; VARGAS JR., J.G. et al. Níveis de metionina + cistina para frangos de corte de 1 a 21 e 22 a 42 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.3, p.519-525, 1999.
- BAKER, D.H. Utilization of precursors of L-amino-acids. In: **Amino acids in farm animal nutrition**. D` Mello J. P. F. (ed). CAB International ISBN, Wallingford UK. P.37-61, 1994.
- BAKER, D.H.; FERNANDEZ, S.R.; WEBEL, D.M. et al. Sulfur amino acid requirement and cystine replacement value of broiler chicks during the period three to six weeks post-hatching. **Poultry Science**, v.75, n.6, p.737-42, 1996.
- BARBI, J.H.T.; DIBNER, J.; PEAK, S. Mais que uma fonte de metionina. **Revista Aveworld**, n.11, p.38-43, 2004.
- BARBOSA, R.J.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S. et al. Exigência de metionina + cistina para frangos de corte na fase de crescimento e acabamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.2, p.507-517, 2000.
- BATEMAN, A.; LIU, Z.; DAVID A. et al. Bioefficacy determination of Methionine γ -hydroxyl analog-free acid relative to DL-methionine in laying hen diets with limited methionine using different regression models. **International Journal of Poultry Science**, v.4, n.9, p.628-632, 2005.
- BERTECHINI, A.G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: UFLA, v.1, 2006. 301p.
- BERTECHINI, A.G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: UFLA, v.2, 2012. 373p.
- BOEBEL, K.P.; BAKER, D.H. Efficacy of the calcium salt and free forms of methionine γ -hydroxyl-analog for chicks. **Poultry Science**, v.61, p.1167-1175, 1982.
- BRACHET, P.; PUIGSERVER, A. Transport of methionine γ -hydroxyl analogue across the brush border membrane of rat jejunum. **Journal of Nutrition**, v. 117, p.1241-1246, 1987.
- BRUGALLI, I. Eficácia relativa das fontes de metionina – Por que a indústria está repensando esta questão? **Revista Aveworld**, v.4, p.31-35, 2003.
- BUNCHASAK, C.; SOOKSRIDANG, T.; CHAIYAPIT, R. Effect of adding Methionine γ -hydroxyl analogue as methionine source at the commercial requirement recommendation on production performance and evidence of ascites syndrome of male broiler chicks fed corn-soybean based. **International Journal of Poultry Science**, v.5, n.8, p.744-752, 2006.
- BUTOLO, J.E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: CBNA, 2002. 430p.
- CAREW, L.B.; MCMURTRY, J.P.; ALSTER, F.A. Effects of methionine deficiencies on plasma levels of thyroid hormones, insulin-like growth factors –I and –II, liver and body weights, and feed intake in growing chickens. **Poultry Science**, v.82, p.1932-1938, 2003.

CARVALHO, D.C.O.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S. et al. Biodisponibilidade de fontes de metionina para poedeiras leves na fase de produção mantidas em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.12, p.2383-2388, 2009.

DAHIYA, J.P.; HOEHLER, D.; VAN KESSEL, A.G. et al. Effect of different dietary methionine sources on intestinal microbial populations in broiler chickens. **Poultry Science**, v.86, p.2358–2366, 2007.

DALL’STELLA, Rosselle. Balanço eletrolítico e relações aminoácidos sulfurados e lisina digestíveis para frangos de corte. 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Paraná.

DANNER, E.; BESSEI, W. Biological effectiveness of liquid MHA-FA as compared to DL-methionine in laying hens. **Feedback facts & figures**, v.17, 2001.

DANNER, E.; BESSEI, W. Effectiveness of liquid DL-methionine hydroxyl analogue-free acid (DL-MHA-FA) compared to DL-methionine on performance of laying hens. **Arch. Geflügelk**, v.66, n.3, p.97–101, 2002^a.

DANNER, E.; BESSEI, W. Efectividad de DL-metionina hidroxí análoga (DL-MHA-FA) comparada com DL-metionina sobre y desempeño de gallinas ponedoras. **Amino NewsTM**, v.3, n.4, p.24, 2002^b.

DANNER, E.; BESSEI, W. Influence of supplementation with liquid DL-methionine hydroxyl analogue-free acid (alimet) or DL-methionine on performance of broilers. **Poultry Science Association**, n.12, p.101–105, 2003.

DEL VESCO, A. P. **Expressão gênica, produção de Ross e atividade enzimática em função de suplementação de metionina e estresse térmico em aves**. 2012. 103f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá (UEM).

DIBNER, J.J.; KNIGHT, C.D. Conversion of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid and L-methionine in the broiler chick stereospecific pathway. **Journal Nutrition**, v. 114, p.1716-1723, 1984.

DIBNER, J.J.; KNIGHT, C.D.; SWICK, R.A. et al. Absorption of ¹⁴C-2-hydroxy-4-(methylthio)butanoic acid (Alimet) from the hindgut of the broiler chick. **Poultry Science**, v. 67, p. 1314-1321, 1988.

DIBNER, J.J.; ATWELL, C.A.; IVEY, F.J. Effect of heat stress on 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid and DL-methionine absorption measured in vitro. **Poultry Science**, v. 71; p. 1900-1910, 1992.

DIBNER, J.J. Review of the metabolism of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid. **Word’s Poultry Science Journal**, v. 59; p. 99-110, 2003.

DREW, M.D.; MAENZ, D.D. the effect of intestinal bacteria on the absorption of methionine and 2-hydroxy-4-methylthio-butanoic acid in germ-free and conventional broiler chickens. In: **22nd Annual Meeting of the Southern Poltry Science Society**, Georgia, Atlanta, USA. P15-16, 2001 (Abstract).

DREW, M.D.; VAN KESSEL, A.G.; MAENZ, D.D. Absorption of methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid in conventional and germ-free chickens. **Poultry Science**, v.82, p.1149-1153, 2003.

ELWERT, C.; FERNANDES, E.A.; LEMME, A. Biological effectiveness of methionine hydroxyl-analogue calcium salt in relation to DL-methionine in broiler chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.21, n.10, p.1506-1515, 2008.

ESTEVE-GARCIA, E.; AUSTIC, R.E. Intestinal absorption of methionine (Met) and methionine hydroxyl analogue (MHA) in broiler chicks. **Poultry Science**, v.65, p.40, 1987.

ESTEVE-GARCIA, E.; AUSTIC, R.E. Digestibility of methionine hydroxyl analogue (MHA) in broiler chicks. **Poultry Science**, v.67, p.14, 1988.

ESTEVE-GARCIA, E.; AUSTIC, R.E. Intestinal absorption and renal excretion of dietary methionine sources by the growing chicken. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.4, p.576-587, 1993.

ESTEVE-GARCIA, E.; LLAURADO, L. Performance, breast meat yield and abdominal fat deposition of male broiler chickens fed diets supplemented with DL-methionine or DL-methionine hydroxyl analog free acid. **British Poultry Science**, v.38, p.397-404, 1997.

ESTEVE-GARCIA, E. Comparative efficacy of DL-methionine and DL-MHA free acid in fattening pigs. **Study report on study P-142 (Degussa) Also Anaporc 1999 Issue v.18; p.3-7, 1998.**

EUCLYDES, R.F.; ROSTAGNO, H.S. Estimativa dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. In: WORKSHOP LATINO-AMERICANO AJINOMOTO BIOLATINA, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...**São Paulo: p.77-88, 2001.

FERNANDES, J.I.M.; LIMA, F.R. MENDONÇA JR, C.X. et al. Relative bioavailability of phosphorus in feed and agricultural phosphates for poultry. **Poultry Science**, v.78, p.1729-1736, 1999.

FULLER, M.F.; WEBSTER, A.J.F.; MACPHERSON, R.M. et al. Comparative aspects of the energy metabolism of Pietran and Large White x Landrace pigs during growth. In: VERMOREL, M. **Energy Metabolism of Farm Animals**. European Association for Animal Production. No 19. G. Bussac; Clermont-Ferrand, France, p. 177-180, 1976.

FULLER, M.F. Amino acid requirements for maintenance, body protein accretion and reproduction in pigs. In: **Amino Acids in Farm Animal Nutrition**. Wallingford, Oxon.: CAB International. 1994. P. 155-184 JPF D Mello (ed).

GORDON, R.S.; SIZER, I.W. Conversion of methionine hydroxyl analogue to methionine in the chick. **Poultry Science**. 44, 673-678. 1965.

GRABER, H.G.; SCOTT, H.M.; BACKER, D.H. Sulfur amino acid nutrition of the growing chick: Effect of age on capacity of cystine to spare dietary methionine. **Poultry Science**, v.50, p.1450-1455, 1971.

GUO, R., HENRY, P.R., HOLWERDA, R.A. et al. Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic copper sources for poultry. **Journal of Animal Science**, v.79, p.1132-1141. 2001.

HACKENHAAR, L. Aminoácidos: Essencial na alimentação dos animais. **Feed & Food**, v. 1, n.1, p. 45-49, 2006.

HASSEBERG, H.A. No hay una monomerización importante en metionina hidroxianáloga. **Amino NewsTM**, v.3, n.1, 2002.

HAN, Y.; CASTANON, F.; PARSONS, C.M. et al. Absorption and bioavailability of DL-methionine γ -hydroxyl analogue compared to DL-methionine. **Poultry Science**, v.69, p.281-287, 1990.

HOEHLER, D. ; LEMME, A. ; ROBERSON, K. Et al. Impact of methionine sources on performance in turkeys. **Journal of Applied Poultry Research**, v.14, p.296-305, 2005a.

HOEHLER, D.; LEMME, A.; JENSEN, S.K. et al. Relative Effectiveness of methionine sources in diets for broiler chickens, **Journal of Applied Poultry Research**, v.14, p.679-693, 2005b.

JANSMAN, A.J.M.; KAN, C.A.; WIEBENGA, J. **Comparison of the biological efficacy of DL-methionine and γ -hydroxyl-4-methyl-thiobutanoic acid (HMB) in pigs and poultry.** Centraal Veevoederbureau (CVB, Central Bureau for Livestock Feeding), The Netherlands 2003, Documentation Report No. 29.

KNIGHT, C.D., DIBNER, J.J. Comparative absorption of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid and L-methionine in broiler chick. **Journal Nutrition**, v.114, p.2179-2186, 1984.

KRATZER, D.D.; LITTELL, R.C. Appropriate statistical methods to compare dose responses of methionine sources. **Poultry Science** v.85, p.947-954, 2006.

LARBIER, M. Digesibilité et γ -hydroxyl m de sources d'acides γ -hydrox soufrés. In: COMPTES – RENDUS DE LA CONFERENCE AVICOLE, Caribe no 5 engraissement Du poulet et nutrition azotée. **Groupe Français de World Poultry Science Association**, v.5, p.33-40, 1988.

LANGER, B.W. The biochemical conversion of 2-hydroxy-4-methylthiobutyric acid into methionine by the rat in vitro. **Biochemistry Journal** **95**, 683-687. 1965.

LAWSON, C.Q; IVEY, F.J. Hydrolysis of 2-hydroxy-4 (methylthio) butanoic acid dimer in two model systems. **Poultry Science**, v. 65; p. 1749-1753, 1986.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Nutrition of the chicken**. 4nd ed. Guelph: University Books, 2001. 591p.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de bioquímica**. 3. Ed. São Paulo : Sarvier, 975p., 2002.

LELIS, G.R.; ALBINO, L.F.T.; SALGUERO CRUZ, S.C.; GOMES, P.C.; CAMPOS, A.M.A.; MELLO, H.H.C.; ROSTAGNO, H.S. **Novos Conceitos em Nutrição Avícola**. 2011. Disponível em: <http://www.aveworld.com.br/artigos/post/novos-conceitos-em-nutricao-avicola>. Acesso em: 25 de jan. 2013.

LEMME, A. ; HOEHLER, D. ; BRENNAN, J.J. et al. Relative effectiveness of methionine γ -hydroxyl analog compared to DL-methionine in broiler chick. **Poultry Science**, v.81, p.838-845, 2002.

LEMME, A. A pesquisa da literatura confirma: A efetividade biológica da MHA-FA é de 65%. **Feedback – Feed Additives**, v. 23, p. 1-7, 2002b.

LEMME, A; PETRI, A. The effectiveness of liquid methionine γ -hydroxyl analogue relative to DL-methionine – A scientific review. **Amino-News™**, v.4, n.3, 2003.

LEMME, A.; PETRI, A.; REDSHAW, M. **Revisão: O que há de novo sobre as fontes comerciais de metionina em aves**. (S.L.): Degussa Feed Additives-amino acids and more, 2007. 34p.

LINGENS, G.; MOLNAR, S. Studies on metabolism of broilers by using ^{14}C -labelled DL-methionine and DL-methionine γ -hydroxyl analog Ca-salt. **Archives of Animal Nutrition**, v.49, p.113-124, 1996.

LITTELL, R.C.; HENRY, P.R.; LEWIS, A.J. et al. Estimation of relative bioavailability of nutrients using SAS procedures. **Journal of Animal Science**, v.75, p.2672-2683, 1997.

MAENZ, D.D.; ENGELE-SCHAAN, C.M. Methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid are transported by distinct Na^+ -dependent and H^+ -dependent systems in the brush border membrane of the chick intestinal epithelium. **Journal of Nutrition**, v.126, p.529-536, 1996a.

MAENZ, D.D.; ENGELE-SCHAAN, C.M. Methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid are partially converted to nonabsorbed compounds during passage through the small intestine and heat exposure does not affect small intestinal absorption of methionine sources in broiler chicks. **Journal of Nutrition**, v.126, p.1438-1444, 1996b.

MASTERS, C.; HOLMES, R. Peroxisomes: new aspects of cell physiology and biochemistry. **Physiology Review**, v.57, p.816-882, 1977.

MARTÍN-VENEGAS, R.; GERAERT, P.A.; FERRER, R. Conversion of the methionine γ -hydroxyl analogue DL-2-hydroxy-(4-methylthio)butanoic acid to sulfur-containing amino acids in the chicken small intestine. **Poultry Science**, v. 85, p.1932–1938, 2006.

MITCHELL, M.A.; HUNTER, R.R. A comparison of the absorption of DL-2 – hidroxy-4-methylthiobutanoic acid from the small intestine of the broiler chick in vivo: Effects of chronic heat stress. **Research Report**. Roslin Institute, Edinburgh, U. K. 1996.

MITCHELL, M.A.; LEMME, A. Examination of the composition of the luminal fluid in the small intestine of broilers and absorption of amino acids under various ambient temperatures measured in vivo. **International Journal of Poultry Science**, v.7, n.3, p.223-233, 2008.

MOURA, A.M.A.; MELO, T.V.; MIRANDA, D.J.A.. **Utilização da dl-metionina e metionina hidroxí-análoga na alimentação de aves**. Revista de Ciência da Produção Animal. (**Boletim de Indústria Animal**). Nova Odessa, SP, v.67, n.1, p.97-107, 2010

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients Requirements of Poultry**. 9ed. National Academic Press, Washington, D.C. 155 p. 1994.

OKUNO Y.; MATSUDA, A.; MORIMOTO, H. et al. Biological efficacy of liquid methionine hydroxyl analogue free acid in 7–18-day-old and 42–54-day-old broilers. **Japan Poultry Science Association**, 1989.

PAYNE, R.L. ; LEMME, A. ; SEKO, H. Et al. Bioavailability of methionine hydroxyl analog-free acid relative to DL-methionine in broilers. **Animal Science Journal**, v.77, p.427-439, 2006.

PENZ Jr., A.M. Metionina e hidróxi análogos (MHA) em nutrição de aves. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 1994, Campinas, **Anais...** Campinas: FACTA, 1994, p. 85-94.

PIEPHO, H.P. letter to the editor: A cautionary note on appropriate statistical methods to compare dose responses of methionine sources. **Poultry Science**, v.85, p.1511-1512, 2006.

POTTER, L.M. Bioavailability of phosphorus from various phosphates based on body weight and toe ash measurements. **Poultry Science**, v. 67, p. 96-102, 1988.

POTTER, L.M. ; POTC HANAKOR, N.M. ; RAVINDRAN, V. Et al. Bioavailability of phosphorus in various phosphates sources using body weight and toe ash as response criteria. **Poultry Science**, v. 74, p. 813-820, 1995.

REZENDE, D.M.L.C; MUNIZ, J.A; FERREIRA, D.F. et al. Ajuste de modelos de platô de resposta para exigência de zinco em frango de corte. **Ciência e Agroecologia**, Lavras, v.31, p. 468-478, 2007.

RIBEIRO, A.M.L.; PENZ JR, A.M.; TEETER, R.G. Effects of 2-Hydroxy-4-(methylthio)butanoic acid and Dlmethionine on broiler performance and compensatory growth after exposure to two different environmental temperatures. **Journal Applied Poultry Research**, v. 10, p.419–426, 2001.

RICHARDS, J.D. et al. Comparative in vitro and in vivo absorption of 2-Hydroxy-4(methylthio) butanoic acid and methionine in the broiler chicken. **Poultry Science**, v.84, p.1397–1405, 2005.

ROBINSON, J.C.; KEAY, L.; MOLINARI, R.; SIZER, I.W. L-a-Hydroxy acid oxidases of hog renal cortex. **Journal of Biol. Chem.** V.237, p.2001-2010. 1962.

RODEHUTSCORD, M.; PACK, M. Estimates of essential amino acid requirements from dose-response studies with rainbow trout and broiler chicken: Effect of mathematical model. **Archives of Animal Nutrition**, v.52, p.223-244, 1999.

ROSTAGNO, H.S.; BARBOSA, W.A. Biological efficacy and absorption of DL-methionine hydroxyl analog free acid compared to DL-methionine in chickens as affected by heat stress. **British Poultry Science**, v.36, p.303-312, 1995.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 141p.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos**. Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005,186p.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 3ª ed. UFV/DZO, 2011, 252p.

SANGALI, C. P. **Bioeficácia de fontes alternativas de metionina em relação à DL-metionina em frangos de corte (Cobb 500)**. 2012. 71f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon.

SAUER, N.; EMRICH, K.; PIEPHO, H.P. et al. Meta-analysis of the relative efficiency of methionine-hydroxy-analogue-free-acid compared with DL- methionine in broilers using nonlinear mixed models. **Poultry Science**, v.87, p. 2023-2031, 2008.

SAKOMURA, N.K.; SILVA, R. **Conceitos aplicáveis à nutrição de não-ruminantes**. **Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG**, v.22, p.125-146, 1998.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007. 283 p.

SAUNDERSON, C.L. Metabolism of methionine and its nutritional analogs. **Poultry International**, v.30, p.34-38, 1991.

SCHMIDT, J. Effectiveness of liquid MHA-FA compared to DL-methionine in turkeys at 0 – 6 weeks of age. **Feedback Facts & Figures**, v.14, 2001.

SCHUTTE, J.B.; PACK, M. Biological efficacy of L-lysine preparations containing biomass compared to L-lysine-HCl. **Archive Tierernahr**, v.46, n.3, p.261-268, 1994.

Sindiavipar. Novos recordes: Números do primeiro trimestre do ano apontam os ótimos resultados na produção e exportação de aves. **Revista Avicultura PR**. Ano. V, n.28. p.10. Disponível em: <sindiavipar.com.br> Acesso em: 16/12/2012.

SOUZA, H.R.B. **Formulação de dietas com aminoácidos totais e digestíveis, diferentes relações de arginina:lisina e fontes de metionina para poedeiras comerciais**. 2009. 58f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo. Pirassununga, São Paulo.

SUIDA, D. Aminoácidos: Essencial na alimentação dos animais. **Feed & Food**, v.1, n.1, p.40-43, 2006.

SWIATKIEWICZ, S.; KORELESKI, J., DAI, Q.Z. The bioavailability of zinc from inorganic and organic sources in broiler chickens as affected by addition of phytase. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v.10, p.317–328, 2001.

TESSERAUD S.; COUSTARD, S.M.; COLLIN, A. et al. Role of γ -hydrox amino acids in controlling nutrients metabolism and cell functions: implications of nutrition. **British Journal of Nutrition**, p. 1-8, 2008.

THOMAS, O.P.; TAMPLIN, S.D.; CRISSEY, E. et al. An evaluation of methionine γ -hydroxyl analog free acid using a nonlinear (exponential) bioassay. **Poultry Science**, v.70 p.605-610, 1991.

TIMMLER, R.; RODEHUTSCORD, M. Dose-response relationships for valine in the growing White Pekin duck. **Poultry Science**, v.82, p.1755-1762, 2003.

UBA, União Brasileira de Avicultura. Relatório anual. Disponível em: <www.uba.org.br>. Acesso: 09 set. 2013.

VAN WEERDEN, E.J; SCHUTTE, J.B; BERTRAM, H.L. Utilization of the polymers of methionine γ -hydroxyl analogue free acid (MHA-FA) in broiler chicks. **Archives Geflügelk**, v.56, p.63-68, 1992.

VÁZQUEZ-AÑÓN, M.; KRATZER, D.; GONZÁLEZ-ESQUERRA, R. et al. A multiple regression model approach to contrast the performance of 2-hydroxy-4-methylthio butanoic acid and dl-methionine supplementation tested in broiler experiments and reported in the literature. **Poultry Science**, v.85, p.693–705, 2006.

VÁZQUEZ-AÑÓN, M.; GONZÁLEZ-ESQUERRA, R.; SALEH, E. et al. Evidence for 2-hydroxy-4(methylthio) butanoic acid and dl-methionine having different dose responses in growing broilers. **Poultry Science**, v.85, p.1409-1420, 2006.

ZIMMERMANN, B.; MOSENTHIN, R.; RADEMACHER, M. et al. Comparative studies on the Relative Efficacy of DL-methionine and Liquid Methionine Hydroxy Analogue in Growing Pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.18, n.7, p.1003-1010, 2005.

WEERDEN, E.J.V.; SCHUTTE, J.B.; BERTRAN, H.L. Utilization of the polymers of methionine analogue free acid (MHA-FA) in broilers chicks. **Archives Geflügelk**, v.56, p.63-68, 1992.

WU, G. **Interrelationship among methionine, choline and betaine in channel catfish – *Ictalurus punctatus***, Master of Science – Auburn University, Alabama, USA, 2003, p. 45.

CAPÍTULO II

Exigência nutricional de metionina + cistina em pintos de corte de 1 a 21 dias de idade

Resumo: Objetivou-se, neste estudo, determinar a exigência nutricional de metionina + cistina (met + cis) para pintos de corte. Foram utilizados 750 pintos de corte da linhagem comercial Cobb 500, machos, na fase de 1 aos 21 dias de idade, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com cinco níveis crescentes de metionina + cistina (0,710%; 0,780%; 0,820%; 0,880%; 0,940%), seis repetições e 25 aves por unidade experimental. Os parâmetros de desempenho avaliados foram: consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Havendo significância, entre os tratamentos, foi aplicada a análise de regressão polinomial ($P < 0,05$). A resposta de desempenho das aves foi melhorada com o aumento nos níveis de met + cis em relação à dieta basal. As estimativas encontradas para as exigências de met + cis total foram, para a fase de 1 a 7 dias de 0,891% o que corresponde a um consumo de 1,441 g/dia de met + cis e a uma relação metionina + cistina:lisina total de 67%; para a fase de 1 a 14 dias, foi de 0,917% o que corresponde a um consumo de 5,151 g/dia de met + cis e a uma relação metionina + cistina:lisina total de 69%, e, para a fase de 1 a 21 dias para o ganho de peso foi de 0,912%, o que corresponde a um consumo de 10,387 g/dia de met + cis e uma relação metionina + cistina:lisina total de 69%, e, para a conversão alimentar foi de 0,94% o que corresponde a um consumo de 10,705 g/dia de met + cis e uma relação metionina + cistina:lisina total de 71%.

Palavras-chave: aminoácidos sulfurados, desempenho, dl-metionina, exigência nutricional

Nutritional requirement of methionine and cystine in 1-21 days old broiler chicks

Abstract: The objective of this study was to determine the nutritional requirement of methionine and cystine (met + cys) for broiler chicks. 750 broiler chicks of commercial strain Cobb 500 males were used in the phase 1 to 21 days of age, distributed in a completely randomized design, with five increasing levels of methionine and cystine (0.710%, 0.780%, 0.820%, 0.880%, 0.940%) and six replicates of 25 birds per experimental unit. The performance parameters evaluated were feed intake, weight gain and feed conversion. Data were subjected to analysis of variance. Significance was found between treatments was applied to polynomial regression analysis ($P < 0.05$). The response of broiler performance was improved with increased levels of met+cys compared to basal diet. The estimates obtained for the demands of total met + cys were 0.891% in the stage of 1 to 7 days old, which corresponds to a consumption of 1.441 g/day of met + cys and a relationship of methionine + cystine:total lysine of 67%; for stage of 1 to 14 days, it was 0.917%; which corresponds to a consumption of 5.151 g/day of met + cys and a ratio of methionine + cystine:total lysine of 69%; and, for stage of 1 to 21 days old, for weight gain, it was 0.912%; which corresponds to a consumption of 10.387 g/day of met + cys, and a methionine + cystine:total lysine ratio of 69%, and for feed conversion, it was 0.94%, which corresponds to a consumption of 10.705 g/day of met + cys and a methionine + cystine:total lysine ratio of 71%.

Keywords: sulfur amino acids, performance, dl-methionine, nutritional requirement

1 Introdução

O desempenho das aves a um nutriente limitante como a metionina segue a lei dos rendimentos decrescentes, o que significa que o desempenho animal é aumentado em função do aumento de nutrientes, até que nenhuma unidade adicional do nutriente proporcione um aumento no desempenho do animal (RODEHUTSCORD e PACK, 1999; TIMMLER e RODEHUTSCORD, 2003). Neste sentido, a metionina é um aminoácido sulfurado essencial e aparece como primeiro limitante na nutrição das aves, devido ao desequilíbrio existente de aminoácidos em todos os ingredientes usados nas rações de aves (BERTECHINI, 2012), o que normalmente é corrigido com a utilização de metionina industrial, possibilitando a obtenção dos níveis exigidos de aminoácidos essenciais, nas quantidades mínimas requeridas para o bom desempenho das aves.

Assim, a partir da fabricação de aminoácidos ao nível industrial, por processos químicos ou biotecnológicos, tornou-se prática a complementação dos mesmos em dietas deficientes. Ao mesmo tempo, permitiu-se a redução da quantidade de proteína nas rações, tornando-as mais eficientes, contribuindo também para a redução da excreção de nitrogênio no meio ambiente (BERTECHINI, 2012).

A utilização de dietas diferenciadas na alimentação dos frangos de corte, nas diferentes fases de criação, é um avanço da nutrição, pois as diferenças do ponto de vista anatômico e fisiológico resultam em diferenças nutricionais significativas. A exigência de aminoácidos é elevada na primeira semana e decresce com o avanço da idade das aves, fato que pode ser, exemplificado com as recomendações de Rostagno et al. (2011), onde a exigência nutricional de metionina + cistina para frangos de corte, de desempenho superior, para a fase de 1-7 e de 8-21 dias é de 0,953% e 0,876% respectivamente com relações metionina + cistina digestível:lisina (digestível), com base no conceito de proteína ideal, de 72 e 72%, respectivamente. Os fatores que determinam as exigências são: a redução do peso metabólico relativo e o aumento da capacidade de consumo em relação ao peso. Portanto, determinar a exigência nas diferentes fases proporciona melhor desempenho das aves e economicidade das dietas (BERTECHINI, 2006).

Portanto, o objetivo deste estudo consistiu em avaliar a exigência nutricional de metionina + cistina em pintos de corte.

2 Material e métodos

2.1 Local e período experimental

O experimento foi realizado no Setor de Avicultura do Núcleo de Estações Experimentais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *Campus* de Marechal Cândido Rondon- PR.

2.2 Animais experimentais e delineamento estatístico

Foram utilizados 750 pintos de corte, da linhagem comercial Cobb 500, machos, no período de 1 a 21 dias de idade, com peso médio inicial de $46,23 \pm 0,09$ g. As aves foram pesadas e distribuídas individualmente em cada unidade experimental com o objetivo de obter uniformidade no peso.

O delineamento experimental utilizado para avaliar a exigência nutricional foi o inteiramente casualizado (DIC). Os tratamentos foram constituídos por cinco níveis crescentes de met + cis (0,710%; 0,780%; 0,820%; 0,880%; 0,940%), seis repetições e 25 aves por unidade experimental, perfazendo uma densidade de 14,25 aves/m².

O método adotado para determinar a exigência nutricional de met + cis foi o Método dose-resposta, com base na resposta de desempenho dos animais durante a fase de 1 a 21 dias, alimentados com dietas contendo níveis crescentes do nutriente em estudo (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007).

Para verificar se os tratamentos exerceram efeito significativo sobre as variáveis foi realizada análise de variância (ANOVA). Havendo significância, entre os tratamentos, foi aplicada a análise de regressão polinomial ($P < 0,05$), utilizando o programa SAEG desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (2000).

Para evitar o possível problema de superestimar a exigência do nutriente em estudo, foi aplicado o intervalo de confiança de 95% do nível máximo do nutriente, estimado pela equação quadrática, conforme recomendação de Sakomura e Rostagno (2007).

2.3 Instalações, equipamentos e manejos

As aves foram alojadas em galpão de alvenaria, com pé direito de 3,0 m, contendo muretas laterais de 0,30 m, tela, cortinas, cobertura com telhas de cerâmica francesa, provida de lanternim e subdividido em 48 boxes com dimensões de 1,30 x 1,35 m, com piso de cimento. No piso de cada boxe, foi colocada maravalha como cama (altura de 10 cm).

A ração e a água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o período experimental, sendo utilizados na primeira semana bebedouros infantis e comedouros tipo bandeja, e a partir desta, foram utilizados comedouro tipo tubular e bebedouros de nipple. O manejo das aves foi realizado de acordo com as recomendações do manual da linhagem.

O sistema de aquecimento adotado foi o elétrico, por meio de lâmpadas de infravermelho de 250 W de potência. Foi instalada uma lâmpada por boxe, cuja altura e acionamento eram regulados de acordo com o crescimento das aves, mantendo assim os valores de temperatura o mais próximo possível das faixas de conforto térmico de cada semana de vida das aves. O programa de iluminação utilizado foi constante, com 24 horas de luminosidade (luz natural e artificial).

As variáveis ambientais de temperatura e umidade relativa do ar foram registradas diariamente, por meio de termômetros de máxima e mínima, sendo as leituras realizadas diariamente (três vezes ao dia), durante todo o período experimental. As médias das temperaturas e umidades estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Médias das temperaturas e valores de umidade relativa do ar, máximas e mínimas, registradas no interior da instalação durante o período experimental.

	Temperatura do ar (°C)		Umidade relativa do ar (%)	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
01 a 07 dias	31,72	26,27	42,61	27,47
08 a 14 dias	26,33	22,53	45,76	37,14
15 a 21 dias	28,91	19,37	67,85	42,78
Média	28,98	22,72	52,07	35,79

As aves foram vacinadas no incubatório contra Marek, Bouda Aviária, Bronquite Infeciosa e Gumboro.

2.4 Ração

As dietas experimentais foram obtidas a partir de uma dieta basal (Tabela 2) isonutritiva e isoenergética, deficiente em metionina + cistina (met + cis) total, com relação metionina + cistina total:lisina total de 62%. A dieta basal foi formulada à base de milho, farelo de soja e óleo de soja, suplementada com minerais e vitaminas para atender às exigências nutricionais, propostas por Rostagno et al. (2011).

Tabela 2. Composição percentual da dieta basal para a fase de 1 a 21 dias.

Ingredientes	%
Milho	58,366
Farelo de Soja	36,000
Óleo Soja	1,600
Sal comum	0,460
Calcário Calcítico (38% Ca)	1,150
Fosfato Bicálcico	1,500
L-Treonina 98%	0,039
L-Lisina (HCL 78%)	0,140
BHT	0,010
Stafac	0,005
Coxistac	0,055
Premix Vitaminico ¹	0,100
Premix Mineral ¹	0,050
Caulim	0,526
Total	100,00
Composição analisada	(%)
Proteína bruta (PB)	22,46
Lisina total	1,33 (1,22) ²
Metionina + cistina total	0,71 (0,62) ²
Treonina total	0,88 (0,77) ²
Triptofano total	0,27 (0,24) ²
Valina total	1,08 (0,96) ²
Isoleucina total	0,98 (0,88) ²
Arginina total	1,53 (1,44) ²
Composição calculada	(%)
Energia metabolizável aparente (kcal/kg)	2950
Sódio	0,210
Cálcio	0,877
Fósforo Disponível	0,450

¹Suplementação de vitaminas, minerais por kg de ração: Vitamina A – 10.000.000 UI; Vitamina D3 – 2.000.000UI; Vitamina E – 30.000UI; Vitamina B1 – 2,0g; Vitamina B6 – 4,0g; Ac. Pantotênico – 12,0g; Biotina – 0,10g; Vitamina K3 – 3,0g; Ac. Fólico – 1,0g; Ac. Nicotílico – 50,0g; Vitamina B12 – 15.000mcg; Selênio – 0,25g e Veículo q.s.p. – 1.000g; Mg – 16,0g; Fe – 100,0g; Zn – 100,0g; Cu – 2,0g; Co – 2,0g; I – 2,0g e veículo q.s.p. – 1.000g.

²Os valores entre parêntese referem-se aos valores dos aminoácidos digestíveis.

A ração basal não recebeu adição de DL-Metionina (99%), e conseqüentemente apresentou o menor nível de metionina + cistina (%), proveniente somente dos ingredientes (milho e farelo de soja) utilizados na ração. As rações experimentais foram originadas a partir da suplementação com níveis crescentes de DL-Metionina, a qual substituiu o material inerte (caulim) da ração basal para originar as dietas experimentais.

As rações experimentais foram encaminhadas para o laboratório da Evonik Degussa Ltda, para analisar os aminoácidos totais.

2.5 Parâmetros avaliados

Os parâmetros de desempenho avaliados neste trabalho foram: o consumo de ração (CR), o ganho de peso (GP) e a conversão alimentar (CA) que foram determinados semanalmente (7, 14 e 21 dias de idade das aves).

O consumo médio de ração foi calculado em gramas (g), pela diferença entre a ração fornecida e a sobra do comedouro, em cada unidade experimental. O ganho de peso, expresso em gramas, foi calculado como a diferença entre os pesos inicial e final das aves em cada unidade experimental. A conversão alimentar (g/g) foi obtida dividindo-se o consumo médio da ração pelo ganho de peso médio das aves de cada unidade experimental.

3 Resultados e discussão

Tabela 3. Médias de consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte no período de 1 a 7 dias, de acordo com o nível de metionina + cistina total (met + cis) da ração.

Trat	met + cis total (%)	1 a 7 dias		
		CR (g)	GP (g)	CA (g/g)
1	0,710	153,933	103,613	1,485
2	0,780	159,733	119,733	1,456
3	0,820	163,100	115,633	1,410
4	0,880	162,000	117,593	1,378
5	0,940	169,900	120,067	1,415
CV (%)		2,79	2,53	2,19

De acordo com os dados analisados para o período de 1 a 7 dias (Tabela 3), observou-se que o ganho de peso apresentou efeito linear crescente ($P < 0,05$) indicando que o peso das aves aumenta com o incremento dos níveis de metionina + cistina na ração (Figura 1). O ganho de peso da dieta basal foi inferior, quando comparado com os valores obtidos com as dietas experimentais. A equação linear ajustada foi: $Y = 53,6589 + 72,2386X$ ($R^2 = 0,94$).

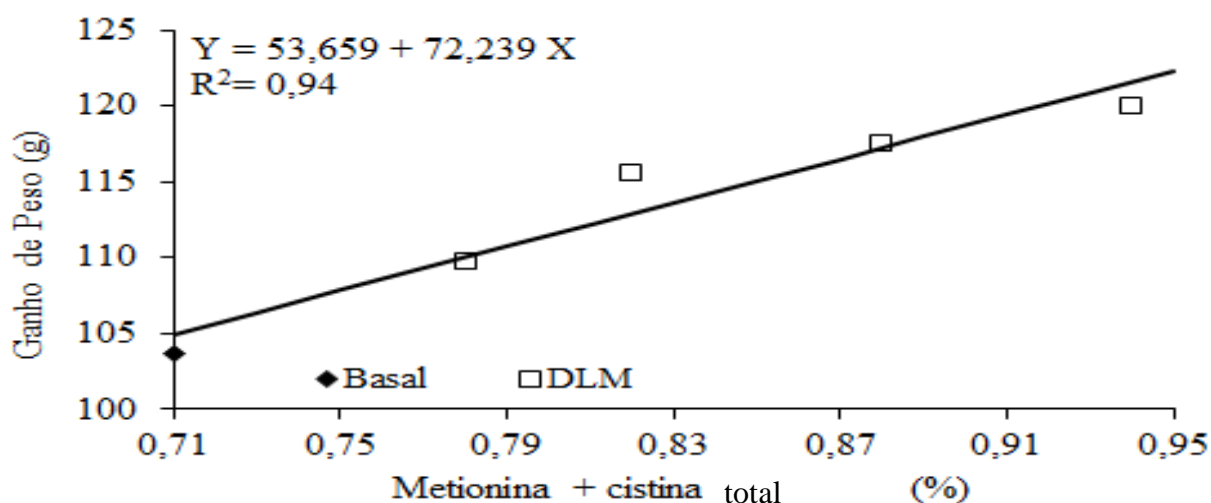


Figura 1. Efeito dos níveis de met + cis total (%) sobre o ganho de peso das aves no período de 1 a 7 dias de idade

Leandro et al. (2007), ao avaliar níveis (0,455 %, 0,507 %, 0,559 % e 0,611%) de metionina na ração pré-inicial, encontraram que os níveis de metionina de 0,559% e 0,611% promoveram melhores resultados de peso vivo aos sete dias de idade.

Neste trabalho, a conversão alimentar para a fase de 1 a 7 dias foi melhorada com acréscimo de met + cis, apresentando efeito quadrático crescente (Figura 2), podendo ser estimado através da equação: $Y = 3,71479 - 5,19783X + 2,91575X^2$ ($R^2 = 0,89$). Verificou-se que a melhor resposta encontrada para a conversão alimentar foi de 1,40; no nível de 0,891% de met + cis, que corresponde a 1,441 g/ave/dia de consumo de metionina + cistina total e 67% de met + cis:lisina total. Considerando o intervalo de confiança de 95% (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007), o valor sugerido é de 0,847%.

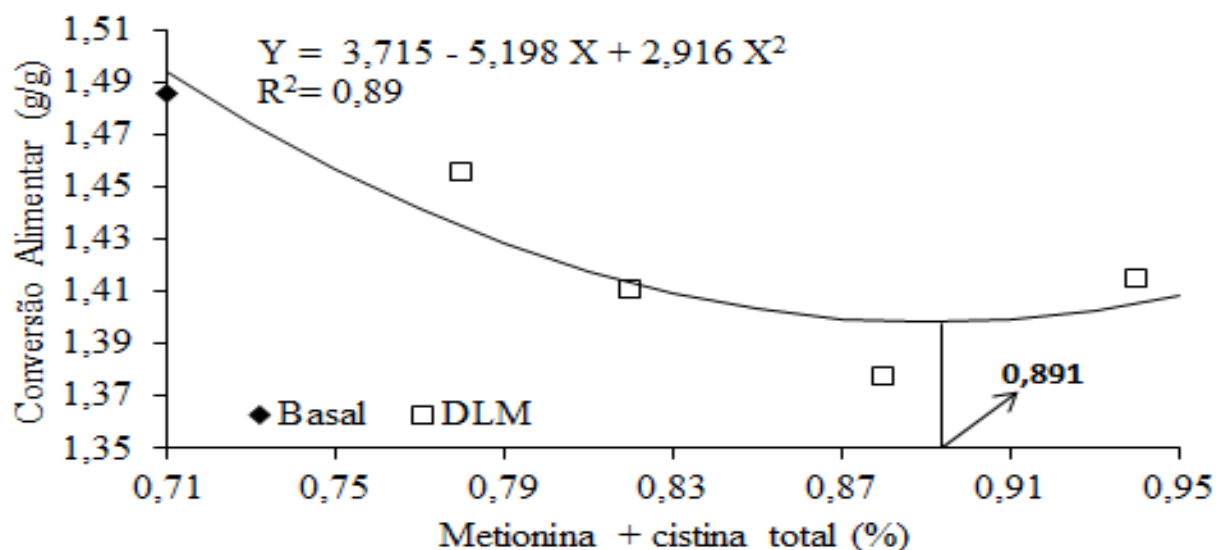


Figura 2. Efeito dos níveis de met + cis total (%) sobre a conversão alimentar das aves no período de 1 a 7 dias de idade

Para o consumo médio de ração verificou-se efeito linear crescente conforme a equação $Y = 111,052 + 61,3579X$ ($R^2 = 0,88$). De acordo com Brugalli (2003), a resposta de um animal a um nutriente limitante segue, geralmente, a lei de retornos decrescentes.

De acordo com Corzo et al. (2005), de todos os aminoácidos, a cistina é o que mais contribui para a síntese de queratina e para a manutenção das penas, enquanto que as propriedades da metionina, como a de principal doadora de grupos metil, a torna essencial para o crescimento. Neste sentido, ao analisar os valores médios (Tabela 3) obtidos neste trabalho referente aos dados de desempenho produtivo (GP, CR, CA), observa-se que na medida em que aumentou o nível de inclusão de met + cis, de 0,710% para 0,940%; houve uma melhora no consumo de met + cis de 46,13% em relação à dieta basal, com melhora no ganho de peso médio e conversão alimentar das aves. Esta resposta é explicada pela adição de um nutriente limitante na ração, neste caso met + cis, onde mantendo níveis adequados dos demais nutrientes, promove crescimento do animal até que sua exigência seja atendida (EUCLYDES e ROSTAGNO, 2001), lembrando que os aminoácidos essenciais necessitam de muitos passos metabólicos para sua biossíntese, sendo, desta forma, indispensáveis nas dietas, uma vez que a sua ausência impediria o organismo do animal de realizar síntese proteica e consequentemente de crescer (BERTECHINI, 2012).

De acordo com Rostagno et al. (2011), a exigência de met + cis para a fase de 1 a 7 dias de idade, para pintos de corte (machos) de linhagens de desempenho superior, é de 0,953%. Ao comparar esse valor, observou-se que o valor de exigência de met + cis obtido neste trabalho, para a conversão alimentar (0,891%), foi inferior ao recomendado.

Ao observar os valores de desempenho para a fase de 1 a 14 dias (Tabela 4), verifica-se que houve uma melhora na resposta de desempenho do animal quando o nível de inclusão de met + cis, foi aumentado de 0,710% para 0,940%.

Tabela 4. Médias de consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte no período de 1 a 14 dias, de acordo com o nível de metionina + cistina total (met + cis) da ração.

1 a 14 dias				
Trat	met + cis total (%)	CR (g)	GP (g)	CA (g/g)
1	0,710	517,832	323,690	1,600
2	0,780	558,480	355,978	1,569
3	0,820	576,600	366,133	1,575
4	0,880	574,567	369,027	1,557
5	0,940	581,500	377,000	1,542
CV (%)		3,58	3,64	2,11

De acordo com os dados analisados no período de 1 a 14 dias de idade, o consumo de ração apresentou efeito quadrático decrescente de acordo com a equação: $Y = - 883,314 + 3271,08X - 1825,21X^2$ ($R^2 = 0,96$), proporcionando o consumo de 582 g de ração ao nível de 0,896% de met + cis.

As aves possuem capacidade de regular o consumo da ração para adequar as pequenas deficiências dos aminoácidos. Assim, o aminoácido que estiver em menor concentração da sua exigência é o que limitará o desempenho do animal (BERTECHINI, 2012). Neste trabalho, o menor consumo de ração foi observado com a ração basal deficiente em met + cis, havendo uma melhora no consumo na medida em que se aumentou os níveis de inclusão de met + cis das rações experimentais.

A adição de um nutriente limitante na ração, neste caso a metionina, mantendo níveis adequados dos demais nutrientes, promove melhora no desempenho das aves até que a sua exigência seja atendida (EUCLYDES e ROSTAGNO, 2001). Neste trabalho, observou-se que os níveis de met + cis ($P < 0,05$) influenciaram de forma quadrática a resposta de ganho de peso (Figura 3), como pode ser observado pela equação $Y = - 617,055 + 2165,26X - 1180,82X^2$ ($R^2 = 0,96$), com um melhor ganho, de 375 g com o nível de 0,917%, que corresponde a 5,151 g/ave/dia de consumo de metionina + cistina total e 69% de met + cis:lisina total. Considerando o intervalo de confiança de 95% (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007) o valor sugerido é de 0,871%.

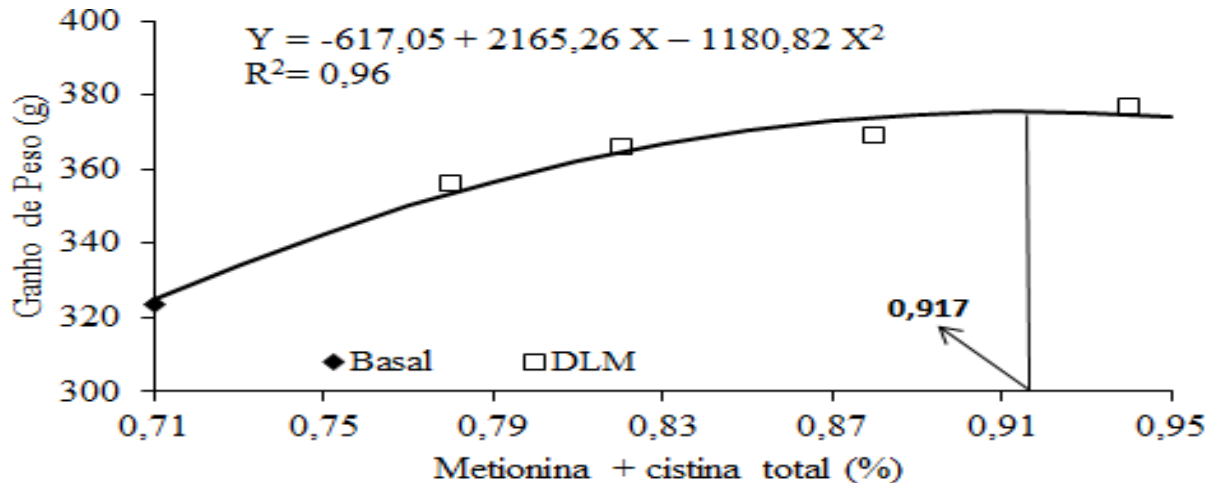


Figura 3. Efeito dos níveis de met + cis total (%) sobre o ganho de peso das aves no período de 1 a 14 dias de idade

Foi observado efeito linear decrescente para a conversão alimentar (Figura 4), havendo uma melhora à medida que se aumentou os níveis de met + cis nas rações, ($Y = 1,76007 - 0,231457X$ $R^2 = 0,88$), demonstrando um melhor aproveitamento das rações pelas aves no período de 1 a 14 dias de idade.

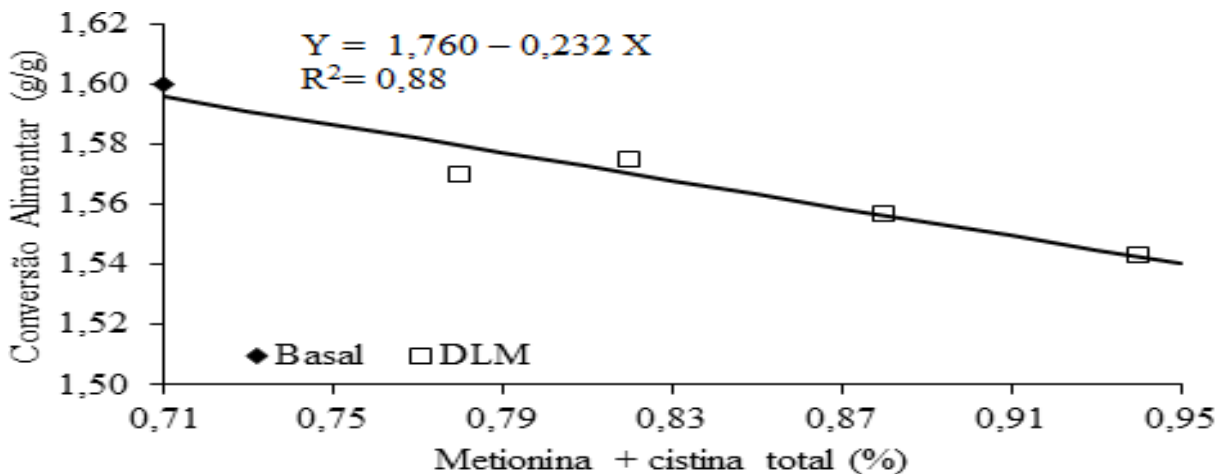


Figura 4. Efeito dos níveis de met + cis total (%) sobre a conversão alimentar das aves no período de 1 a 14 dias de idade

Com relação aos valores observados para a fase de 1 a 21 dias, verifica-se que houve uma melhora de 43,44% no consumo de met + cis total (Tabela 5), quando se aumentou o nível de inclusão de met + cis, de 0,710% para 0,940%, observando melhora no ganho de peso e na conversão alimentar.

Tabela 5. Médias de consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte no período de 1 a 21 dias, de acordo com o nível de metionina + cistina total (met + cis) da ração.

Trat	1 a 21 dias			
	met + cis total (%)	CR (g)	GP (g)	CA (g/g)
1	0,710	1077,417	670,836	1,606
2	0,780	1139,254	734,264	1,551
3	0,820	1159,285	747,364	1,552
4	0,880	1151,413	752,293	1,530
5	0,940	1167,293	768,000	1,520
CV (%)		3,206	2,771	2,369

Na fase de 1 a 21 dias, foi observado efeito quadrático para a variável do consumo médio de ração em relação aos níveis de met + cis conforme a equação: $Y = - 852,272 + 4515,41X - 2524,80X^2$ ($R^2 = 0,91$). Houve maior eficiência do consumo médio de ração (1167 g), à medida que os níveis de met + cis elevaram-se até 0,894%; indicado pela equação quadrática.

Albino et al. (1999) descreveram que o grau de deficiência ou desbalanço de aminoácidos resultaram em reações variadas que culminam em ajustes, fazendo com que o consumo de ração seja alterado e haja perda no desempenho, provavelmente por problemas decorrentes do consumo inadequado de nutrientes. Quando se tem excesso de aminoácido, há diminuição do desempenho.

De acordo com os dados analisados, verificou-se que para essa fase (1 a 21 dias de idade) os níveis de met + cis ($P < 0,05$) influenciaram de forma quadrática o ganho de peso (Figura 5), como pode ser observado pela equação $Y = - 1078,02 + 4040,12X - 2214,07X^2$ ($R^2 = 0,93$), com um melhor ganho (765 g) encontrado ao nível de 0,912%; que corresponde a 10,387 g/ave/dia de consumo de metionina + cistina total e 69% de met + cis:lisina total. Considerando o intervalo de confiança de 95% (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007) o valor sugerido é de 0,870%. Ao comparar o valor encontrado neste trabalho, verifica-se que está acima do encontrado por Albino et al. (1999), de 0,816%.

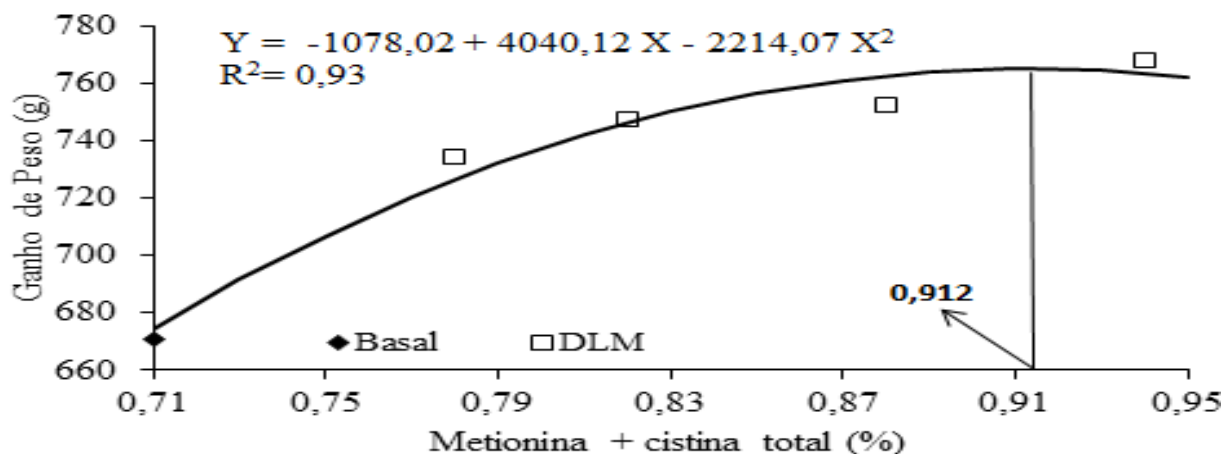


Figura 5. Efeito dos níveis de met + cis total (%) sobre o ganho de peso das aves no período de 1 a 21 dias de idade

A conversão alimentar apresentou efeito quadrático crescente (figura 6), podendo ser estimado através da equação: $Y = 2,81921 - 2,73970X + 1,44620X^2$ ($R^2 = 0,92$). O melhor nível para a conversão alimentar foi atingido quando a exigência alcançou o valor de 0,94%; correspondendo a 1,52 de CA (Figura 6), que corresponde a 10,705 g/ave/dia de consumo de metionina + cistina total e 71% de met + cis total:lisina. Considerando o intervalo de confiança de 95% (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007) este valor corresponde a 0,899%. Este resultado concorda com Araújo (1998), o qual citou que as exigências para obter uma melhora na conversão alimentar são maiores que as exigências para ganho de peso.

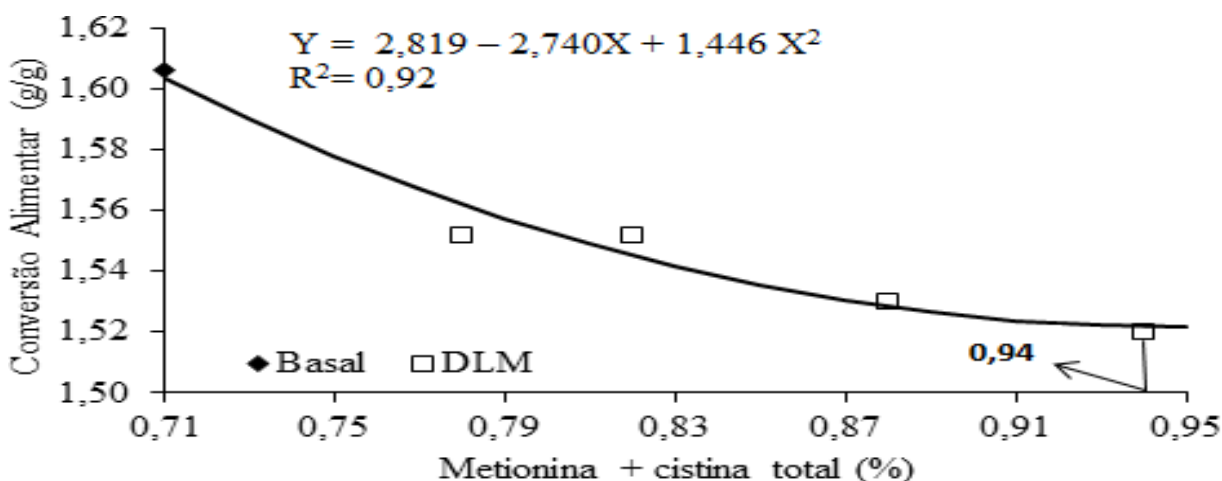


Figura 6. Efeito dos níveis de met + cis total (%) sobre a conversão alimentar das aves no período de 1 a 21 dias de idade

Analisando os dados de desempenho descritos na Tabela 3, 4 e 5, observa-se que em todas as fases estudadas (1 a 7 dias; 1 a 14 dias e 1 a 21 dias) o menor ganho de peso e a pior conversão alimentar foi com a ração basal, deficiente em met + cis. Os alimentos usados na formulação (milho e farelo de soja) não atenderam às exigências do aminoácido em estudo. Por outro lado, houve melhora nas respostas de desempenho com as rações experimentais que apresentavam níveis crescentes de met + cis até que as exigências para o desempenho foram atendidas. A partir desse ponto, provavelmente ocorreria uma fase de estabilização seguida da fase tóxica. No entanto, neste estudo foi verificada apenas a fase de resposta.

Diferenças significativas apenas são encontradas em experimentos que possuem, em seu delineamento experimental, tratamentos que excedem muito os níveis normais de met + cis (acima de 25% de suplementação). Vários experimentos utilizando valores próximos do normal, seja superando o ponto ideal, ou seja, abaixo dele, parecem não determinar diferenças significativas (ANDRADE et al., 2002; CUNHA et al., 2002). Isto demonstra que, ao avaliar os níveis de aminoácidos na dieta, o aumento da suplementação para identificar o ponto ideal deve ser extremo (BRITO et al., 2004).

4 Conclusões

Nas condições em que o experimento foi realizado, os valores de exigências de metionina + cistina total foram: para a fase de 1 a 7 dias, de 0,891%; o que corresponde a um consumo de 1,441 g/dia de met + cis e a uma relação metionina + cistina:lisina total de 67%; para a fase de 1 a 14 dias, foi de 0,917%; o que corresponde a um consumo de 5,151 g/dia de met + cis e a uma relação metionina + cistina:lisina total de 69%; e, para a fase de 1 a 21 dias, para o ganho de peso, foi de 0,912%; o que corresponde a um consumo de 10,387 g/dia de met + cis e uma relação metionina + cistina:lisina total de 69%, e, para a conversão alimentar, foi de 0,94%; o que corresponde a um consumo de 10,705 g/dia de met + cis e uma relação metionina + cistina:lisina total de 71%.

5 Referências bibliográficas

ALBINO, L.F.T.; SILVA, S.H.M.; VARGAS JR., J.G. et al. Níveis de metionina + cistina para frangos de corte de 1 a 21 e 22 a 42 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.3, p.519-525, 1999.

ANDRADE, M.L.; STRINGHINI, J.H.; XAVIER, S.A.G. et al. Níveis de metionina + cistina em rações pré-iniciais e seus efeitos no desempenho de frangos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2002, Campinas, SP, 2002. **Anais ...**, p.41.

ARAÚJO, L.F. Avaliação o **desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte submetidos a dietas com altos níveis de energia, metionina + cistina e lisina na fase final de criação**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Jaboticabal – SP. Universidade Estadual Paulista, 1998.

BERTECHINI, A.G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: Ufla, v.1, 2006. 301p.

BERTECHINI, A.G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: Ufla, v.2, 2012. 373p.

BRITO, A.B.; STRINGHINI, J.H.; CAFÉ, M.B. et al. Níveis de metionina + cistina em rações de frangos de corte na fase pré-inicial (1-7 dias). **Ars Veterinaria**, Jaboticabal, SP, Vol. 20, nº 1, 009-015, 2004.

BRUGALLI, I. Eficácia relativa das fontes de metionina – Por que a indústria está repensando esta questão? **Revista Aveworld**, v.4, p.31-35, 2003.

CORZO, A.; KIDD, M.T.; THAXTON, J.P. et al. Dietary tryptophan effects on growth and stress responses of male broiler chicks. **British Poultry Science**, v.46, p.478-484, 2005.

CUNHA, W.C.P.; LEANDRO, N.S.M.; STRINGHINI, J.H. et al. Níveis de metionina + cistina em rações pré-iniciais de pintainhos com diferentes pesos iniciais: desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte aos 47 dias de idade. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, Campinas, SP, 2002. **Anais ...**, p.66.

DANNER, E.; BESSEI, W. Effectiveness of liquid DL-methionine utanoic analogue-free acid (DL-MHA-FA) compared to DL-methionine on performance of laying hens. **Archile Geflügelk**, v.66, n.3, p.97–101, 2002a.

DANNER, E.; BESSEI, W. Efectividad de DL-metionina hidroxí análoga (DL-MHA-FA) comparada com DL-metionina sobre u desempenho de gallinas ponedoras. **Amino NewsTM**, v.3, n.4, p.24, 2002b.

EUCLYDES, R.F.; ROSTAGNO, H.S. Estimativa dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. In: WORKSHOP LATINO-AMERICANO AJINOMOTO BIOLATINA, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: p.77-88, 2001.

LEANDRO, N.S.M.; CUNHA, W.C.P.; CAFÉ, M.B.; STRINGHINI, J.H. et al. Desempenho de frangos com diferentes pesos iniciais alimentados com ração pré-inicial suplementada com metionina. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n. 3, p. 373-383, 2007.

RODEHUTSCORD, M.; PACK, M. Estimates of essential amino acid requirements from dose-response studies with rainbow trout and broiler chicken: Effect of mathematical model. **Archives of Animal Nutrition**, v.52, p.223-244, 1999.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 3ª u. UFV/DZO, 2011, 252p.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007. 283 p.

TIMMLER, R.; RODEHUTSCORD, M. Dose-response relationships for valine in the growing white pekin duck. **Poultry Science**, v.82, p.1755-1762, 2003.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. **Sistema de análises estatísticas e genéticas – SAEG**. Versão 8.0. Viçosa, UFV, p.142. 2000.

CAPÍTULO III

Bioeficácia de fontes alternativas de metionina em relação à DL-metionina em pintos de corte

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar a bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metilutanoico (DL-HMB), metionina hidróxido análoga livre (DL-MHA), em relação à DL-metionina (DLM), em dietas para pintos de corte. Foram utilizados 1050 pintos de corte machos da linhagem Cobb 500, na fase de 1 a 21 dias de idade. As aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, num esquema fatorial 2 x 3 (duas fontes de metionina x três níveis de suplementação) sendo um tratamento adicional sem suplementação de metionina (dieta basal), ou a dieta basal com três níveis crescentes de DL-HMB (0,129%; 0,240%; 0,442%) ou três níveis de DLM (0,084%; 0,156%; 0,287%) em quantidade equivalente de 65% dos níveis de DL-HMB. O ganho de peso e a conversão alimentar foram analisadas pelo modelo de regressão exponencial simultânea (para respostas não-lineares) e pelo modelo de regressão linear simultânea ou slope-ratio (para respostas lineares). O desempenho foi melhorado em todos os tratamentos, independentemente da fonte de metionina, em relação aos frangos alimentados com a dieta basal. A análise de regressão exponencial e linear simultânea revelaram bioeficácia média da DL-HMB em relação DLM, para ganho de peso e conversão alimentar de 70%, 38% (1 a 7 dias), 63%, 59% (1 a 14 dias), 79% e 53% (1 a 21 dias), respectivamente, em uma base de produtos.

Palavras-chave: aminoácidos sulfurados, DL-2-hidróxi-4 (metil) utanoico, dl-metionina, regressão simultânea

Bioefficacy of alternative sources of methionine relative to methionine DL-day old chicks

Abstract: The aim of this study was to evaluate the bioavailability of DL 2-hydroxy 4-methyl butanoic acid (DL-HMB), methionine hydroxide analogous free (DL-MHA), in relation to DL-methionine (DLM) in diets for broiler chicks. 1050 male broiler chicks Cobb 500 were used, during 1-21 days of age. The birds were distributed in a completely randomized design in a 2 x 3 factorial arrangement (two sources x three levels of methionine supplementation) being an additional treatment without methionine supplementation (basal diet), or the basal diet with three increasing levels of DL-HMB (0.129%, 0.240%, 0.442%) or three levels of DLM (0.084%, 0.156%, 0.287%) in an amount of 65% DL-HMB levels. Weight gain and feed conversion were analyzed by exponential regression model simultaneously (for nonlinear responses) and the linear regression model simultaneously or slope-ratio (for linear response). Performance was improved in all treatments, regardless of the source of methionine, relative to chicks fed the basal diet. Regression analysis revealed average bioavailability of DL-HMB compared to DLM weight gain and feed conversion of 70%, 38% (1 to 7 days), 63%, 59% (1 to 14 days), 79% and 53 % (1 to 21 days), respectively, on a base product.

Keywords: sulfur amino acid, DL-2-hydroxy-4 (methyl) butanoic acid, dl-methionine, simultaneous regression

1 Introdução

O desempenho das aves a um nutriente limitante como a metionina segue a lei dos rendimentos decrescentes, o que significa que o desempenho animal é aumentado em função do aumento de nutrientes, até que nenhuma unidade adicional do nutriente proporcione um aumento no desempenho do animal (RODEHUTSCORD e PACK, 1999; TIMMLER e RODEHUTSCORD, 2003). Neste sentido, a metionina é um aminoácido sulfurado essencial e aparece como primeiro limitante na nutrição das aves, pelo fato das rações serem formuladas com a tradicional mistura de milho e farelo de soja, que parece não atender às exigências desse aminoácido (DAENNER e BASSEI, 2002^a, b), o que normalmente é corrigido com a utilização de metionina industrial.

De acordo com Weerden e Schutte (1984), na suplementação de metionina, normalmente são utilizadas duas fontes alternativas: a DL-metionina (DLM) e a metionina hidroxí-análoga em ácido livre (MHA-AL) ou o ácido DL 2- hidroxí 4-metil utanoico (DL-HMB). A DLM é um produto puro, na forma de pó, com mais de 99% de pureza, enquanto que a DL-HMB apresenta-se na forma líquida, com 88% de substâncias ativas (BUTOLO, 2002). Além das diferenças físicas, existem também as diferenças bioquímicas e metabólicas destas fontes, o que, de acordo com Maenz e Engele-Schaan (1996^a, b) e Drew et al. (2003), pode interferir sobre as suas funções biológicas como fontes de metionina para as aves.

Desta forma, o conhecimento do valor nutritivo da DL-HMB em relação à DLM torna-se um pré-requisito importante para a tomada de decisão sobre qual fonte de metionina utilizar, levando em conta o custo na compra de ingredientes, para a formulação de dietas e para a produção animal (BRUGALLI, 2003).

A discussão sobre a bioeficácia relativa das diferentes fontes de metionina não é um tema novo, há um volume considerável de experimentos com aves, principalmente comparando a DL-MHA com a DLM (THOMAS et al., 1991; ROSTAGNO e BARBOSA, 1995; ESTEVE-GARCIA e LLAURADO, 1997; HOEHLER et al., 2005^a; ELWERT et al., 2008). Além disso, o modelo estatístico correto para avaliar a bioeficácia de diferentes fontes de nutrientes essenciais também tem sido um assunto de debate (LITTELL et al., 1997; KRATZER e LITTELL, 2006; PIEPHO, 2006). A padronização das análises estatísticas tornaria as comparações de várias fontes de nutrientes, entre os diferentes experimentos, mais fáceis e mais precisas (LITTELL et al., 1997).

Portanto, o objetivo deste estudo consistiu em avaliar a bioeficácia de metionina + cistina em pintos de corte.

2 Material e métodos

2.1 Local e período experimental

O experimento foi realizado no Setor de Avicultura do Núcleo de Estações Experimentais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *Campus* de Marechal Cândido Rondon- PR.

2.2 Animais experimentais e delineamento estatístico

Foram utilizados 1050 pintos de corte, da linhagem comercial Cobb 500, machos, no período de 1 a 21 dias de idade, com peso médio inicial de $46,23 \pm 0,09$ g. As aves foram pesadas e distribuídas individualmente em cada unidade experimental com o objetivo de obter uniformidade no peso.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 2 x 3 (duas fontes de metionina x três níveis de suplementação) e um tratamento adicional sem suplementação de metionina (dieta basal), com seis repetições e 25 aves por unidade experimental, perfazendo uma densidade de 14,25 aves/m².

As fontes industriais utilizadas foram a DL-metionina (DLM) e DL-HMB com três níveis crescentes de suplementação: DLM (0,084%; 0,156%; 0,287%) e DL-HMB (0,129%; 0,240%; 0,442%).

2.3 Instalações, equipamentos e manejos

As aves foram alojadas em galpão de alvenaria, com pé direito de 3,0 m, contendo muretas laterais de 0,30 m tela, cortinas, cobertura com telhas de cerâmica francesa provida de lanternim e subdividido em 48 boxes com dimensões de 1,30 x 1,35 m, com piso de cimento. No piso de cada box, foi colocada maravalha como cama (altura de 10 cm).

A ração e a água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o período experimental, sendo utilizados na primeira semana bebedouros infantis e comedouros tipo bandeja, e a partir desta, foram utilizados comedouro tipo tubular e bebedouros de nipple. O manejo das aves foi realizado de acordo com as recomendações do manual da linhagem.

O sistema de aquecimento adotado foi o elétrico, por meio de lâmpadas de infravermelho de 250 W de potência. Foi instalada uma lâmpada por boxe, cuja altura e acionamento eram regulados de acordo com o crescimento das aves, mantendo assim os valores de temperatura o mais próximo possível das faixas de conforto térmico de cada semana de vida das aves. O programa de iluminação utilizado foi constante, com 24 horas de luminosidade (luz natural e artificial).

As variáveis ambientais de temperatura e umidade relativa do ar foram registradas diariamente, por meio de termômetros de máxima e mínima, sendo as leituras realizadas diariamente (três vezes ao dia), durante todo o período experimental. As médias das temperaturas e umidades estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Médias das temperaturas e valores de umidade relativa do ar, máximas e mínimas, registradas no interior da instalação durante o período experimental.

	Temperatura do ar (°C)		Umidade relativa do ar (%)	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
01 a 07 dias	31,72	26,27	42,61	27,47
08 a 14 dias	26,33	22,53	45,76	37,14
15 a 21 dias	28,91	19,37	67,85	42,78
Média	28,98	22,72	52,07	35,79

As aves foram vacinadas no incubatório contra Marek, Bouda Aviária, Bronquite Infecciosa e Gumboro.

2.4 Ração

As dietas experimentais foram obtidas a partir de uma dieta basal (Tabela 2) isonutritiva e isoenergética, deficiente em metionina + cistina (met + cis) digestível, com relação metionina + cistina:lisina digestível de 62%. A dieta basal foi formulada a base de milho, farelo de soja e óleo de soja, suplementada com minerais e vitaminas para atender às exigências nutricionais, propostas por Rostagno et al. (2011).

Tabela 2. Composição percentual da dieta basal para a fase de 1 a 21 dias.

Ingredientes	%
Milho	58,366
Farelo de Soja	36,000
Óleo Soja	1,600
Sal comum	0,460
Calcário Calcítico (38% Ca)	1,150
Fosfato Bicálcico	1,500
L-Treonina 98%	0,039
L-Lisina (HCL 78%)	0,140
BHT	0,010
Stafac	0,005
Coxistac	0,055
Premix Vitaminico ¹	0,100
Premix Mineral ¹	0,050
Caulim	0,526
Total	100,00
<hr/>	
Composição analisada	(%)
Proteína bruta (PB)	22,46
Lisina total	1,33 (1,22) ²
Metionina + cistina total	0,71 (0,62) ²
Treonina total	0,88 (0,77) ²
Triptofano total	0,27 (0,24) ²
Valina total	1,08 (0,96) ²
Isoleucina total	0,98 (0,88) ²
Arginina total	1,53 (1,44) ²
<hr/>	
Composição calculada	(%)
Energia metabolizável aparente ((kcal/kg))	2950
Sódio	0,210
Cálcio	0,877
Fósforo Disponível	0,450

¹Suplementação de vitaminas, minerais por kg de ração: Vitamina A – 10.000.000 UI; Vitamina D3 – 2.000.000UI; Vitamina E – 30.000UI; Vitamina B1 – 2,0g; Vitamina B6 – 4,0g; Ac. Pantotênico – 12,0g; Biotina – 0,10g; Vitamina K3 – 3,0g; Ac. Fólico – 1,0g; Ac. Nicotílico – 50,0g; Vitamina B12 – 15.000mcg; Selênio – 0,25g e Veículo q.s.p. – 1.000g; Mg – 16,0g; Fe – 100,0g; Zn – 100,0g; Cu – 2,0g; Co – 2,0g; I – 2,0g e veículo q.s.p. – 1.000g.

²Os valores entre parêntese referem-se aos aminoácidos digestíveis.

O material inerte utilizado na ração foi caulim, com o objetivo de corrigir as adições de DL-HMB e DLM. A DL-HMB e a DLM substituíram o material inerte das rações basais para originar as dietas experimentais.

As rações experimentais foram encaminhadas para o laboratório da EVONIK para analisar os aminoácidos totais.

2.5 Estratégias de suplementação

Para a dieta basal, deficiente em met + cis, três níveis crescentes de DLM (0,084%; 0,156%; 0,287%) e DL-HMB (0,129%; 0,240%; 0,442%) foram adicionados. Os três níveis crescentes de DLM foram efetuados, suplementando DLM em quantidade equivalente a 65% (DLM-65) das quantidades dos níveis de DL-HMB, mantendo assim relação de 65:100 (Tabela 3).

Tabela 3. Representação das estratégias de suplementação.

Tratamento – Fonte de Met ¹	Nível suplementar	Adição do produto (%) ²	Adição equivalente de Met (%) ³	met + cis total (%) ⁴
1 Dieta basal				0,710
2 DLM	Nível 1	0,084 ²	0,083	0,780
3 DLM	Nível 2	0,156 ²	0,154	0,820
4 DLM	Nível 3	0,287 ²	0,284	0,880
5 DL-HMB	Nível 1	0,129	0,103	0,780
6 DL-HMB	Nível 2	0,240	0,192	0,860
7 DL-HMB	Nível 3	0,442	0,354	0,890

¹DLM = DL-Metionina; DL-HMB = ácido DL-2-hidróxi-4 (metil) utanoico;

²DLM adicionada na relação de 65% dos níveis de DL-HMB;

³Considerando a DLM, DL-HMB com 99, 80% e de atividade de metionina, respectivamente.

⁴met + cis contida na dieta basal, somada a adição equivalente de metionina das fontes.

2.6 Parâmetros avaliados

Os parâmetros de desempenho avaliadas neste trabalho foram: o consumo de ração (CR), o ganho de peso (GP) e a conversão alimentar (CA), que foram determinados semanalmente (7, 14 e 21 dias de idade das aves).

O consumo médio de ração foi calculado em gramas (g), pela diferença entre a ração fornecida e a sobra do comedouro, em cada unidade experimental. O ganho de peso, expresso em gramas, foi calculado como a diferença entre os pesos inicial e final das aves em cada unidade experimental. A conversão alimentar foi obtida dividindo-se o consumo médio da ração pelo ganho de peso médio das aves de cada unidade experimental.

2.7 Análises estatísticas

Os valores de bioeficácia relativa da DL-HMB em relação à DLM, para as variáveis de desempenho, foram determinados utilizando modelo de regressão exponencial simultânea (para respostas não-lineares) de acordo com a Equação 1, e pelo modelo de regressão linear simultânea ou slope-ratio (para respostas lineares), de acordo com a Equação 2, como sugerido por Littell et al. (1997), utilizando-se o general linear models procedure (GLM) do programa computacional SAS (Statistical Analysis System, 1996).

$$y = a + b(1 - e^{-(c^1x^1 + c^2x^2)}) \dots\dots\dots(1)$$

Sendo y = Critério de desempenho, a = desempenho obtido com a dieta basal (intercepto- y), b = resposta assintótica (diferença entre 'a' e assíntota), $a + b$ = assíntota comum (nível de desempenho máximo), c^1, c^2 = coeficientes de inclinação para DLM e DL-MHA, respectivamente, e x^1, x^2 = níveis dietéticos de DLM e DL-HMB, respectivamente.

$$y = a + (b^1x^1 + b^2x^2) \dots\dots\dots(2)$$

Sendo y = Critério de desempenho, a = desempenho obtido com a dieta basal (intercepto- y), b^1, b^2 = coeficientes de regressão da reta para DLM e DL-HMB respectivamente, e x^1, x^2 = níveis dietéticos de DLM e DL-HMB, respectivamente.

De acordo com Littell et al. (1997), os valores de bioeficácia do DL-HMB em relação à DLM são dados pelas proporções dos coeficientes de regressão: c^2/c^1 utilizando regressão exponencial simultânea; b^2/b^1 utilizando regressão linear simultânea, para valores de bioeficácia da DL-HMB.

3 Resultados e discussão

De acordo com as Tabelas 4, 5 e 6, observa-se que a suplementação de qualquer uma das duas fontes (DLM e DL-HMB) levou a uma melhora no ganho de peso e na conversão alimentar das aves nas fases estudadas, quando comparado aos animais que receberam dieta basal deficiente. Isso se deve em parte, ao fato de que a metionina participa não apenas na

síntese proteica como também de outras reações metabólicas importantes, para manter o desempenho adequado. Estes dados indicam que o objetivo de uma dieta basal, deficiente em met + cis foi alcançado, o que, de acordo com Huyghebaert (1993) e Lemme et al. (2002) é essencial quando se deseja detectar diferenças na bioeficácia de fontes nutricionais de metionina.

Tabela 4. Desempenho de frangos de corte, de 1 a 7 dias de idade, alimentados com rações suplementadas com diferentes fontes de metionina.

1 a 7 dias			
Tratamento – Fonte – Nível Suplementar	Consumo de ração (g)	Ganho de peso (g)	Conversão alimentar (g/g)
1 Basal	153,933	103,613	1,486
2 DLM – Nível 1	159,733	109,733	1,456
3 DLM – Nível 2	163,100	115,633	1,411
4 DLM – Nível 3	162,000	117,593	1,378
5 DL-HMB – Nível 1	164,133	112,953	1,455
6 DL-HMB – Nível 2	164,367	115,216	1,427
7 DL-HMB – Nível 3	169,467	119,024	1,425
CV (%)	2,935	3,335	2,731

Ao comparar as respostas máximas obtidas com a suplementação de DLM-65 e DL-HMB em relação à dieta basal (Tabela 4), para a fase de 1 a 7 dias, verifica-se uma melhora no desempenho para o ganho de peso e conversão alimentar, observando que o maior nível de suplementação avaliado neste estudo (0,287% de DLM e 0,442% de DL-HMB), permitiu melhor resposta biológica dos animais.

Neste estudo, o desempenho das aves (ganho de peso e conversão alimentar), em resposta aos níveis crescentes das fontes de metionina, foi analisado por regressão exponencial simultânea e regressão linear simultânea (slope-ratio).

A análise de regressão exponencial simultânea e regressão linear simultânea revelou bioeficácia para o ganho de peso entre a substância de ensaio (DL-HMB) e a substância de referência (DLM) do presente estudo, tendo sido de 72% (Figura 2) e 67% (Figura 2), respectivamente.

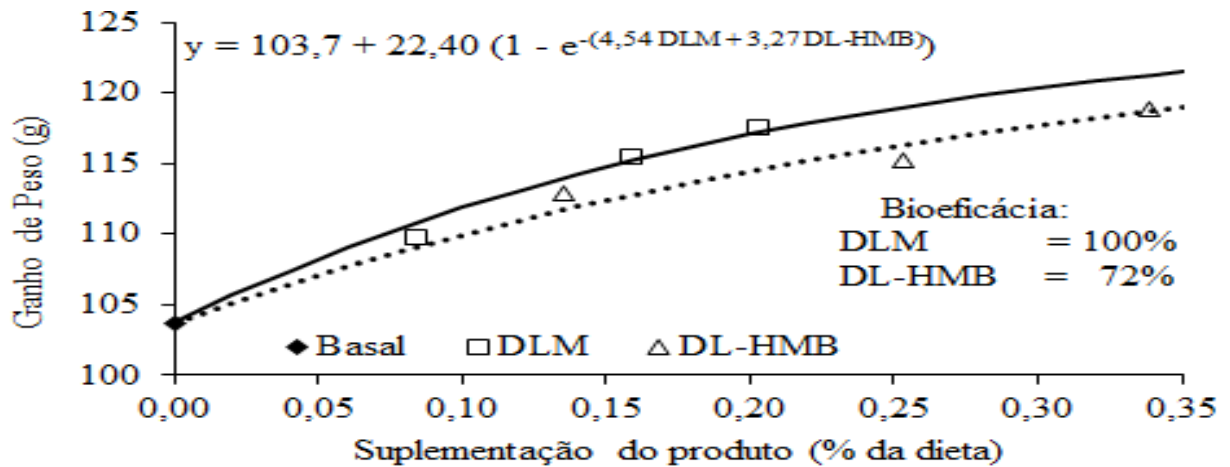


Figura 1. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 7 dias de idade

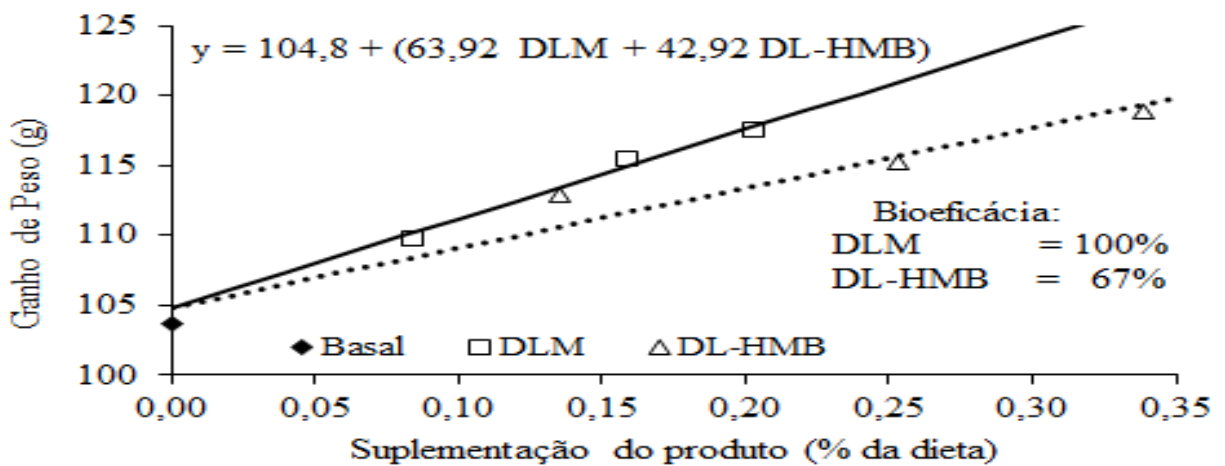


Figura 2. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 7 dias de idade

Para a fase de 1 a 7 dias, a análise de regressão exponencial simultânea e regressão linear simultânea revelou uma bioeficácia relativa da DL-HMB para a DLM de 35% (Figura 3) e 41% (Figura 4), respectivamente para conversão alimentar, em uma base de produtos.

Observa-se que o modelo de regressão linear (Figura 4) mostrou melhor ajuste aos dados estudados. De acordo com Littell et al. (1997), a maneira mais precisa para descrever as respostas de desempenho, apresentadas pelas aves, no presente estudo, aos níveis crescentes das fontes de metionina, seria por modelo de regressão linear simultânea ou slope-ratio. Este modelo fornece uma maneira para determinar as estimativas imparciais da bioeficácia entre a substância de ensaio (DL-HMB) e a substância de referência (DLM).

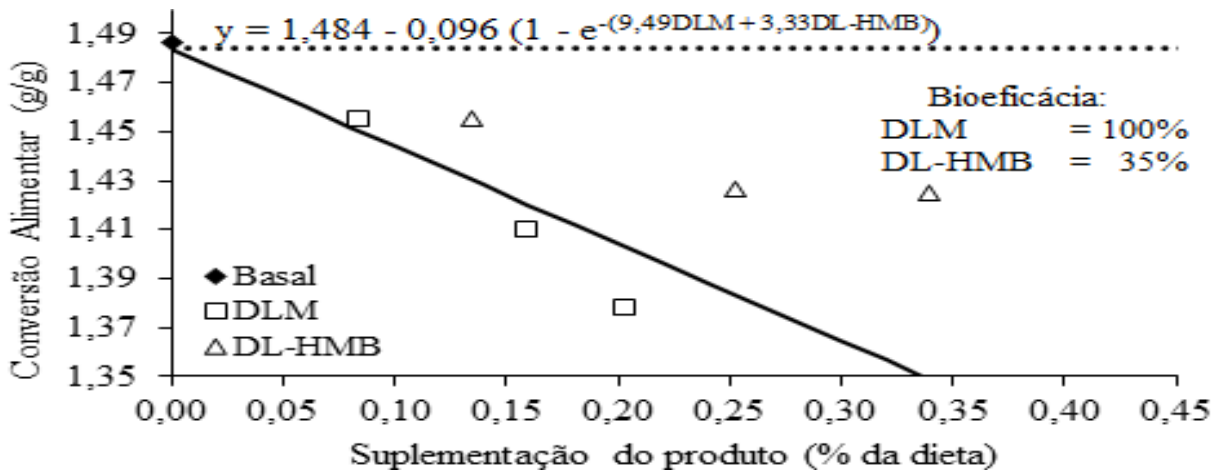


Figura 3. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar, em frangos de corte, no período de 1 a 7 dias de idade

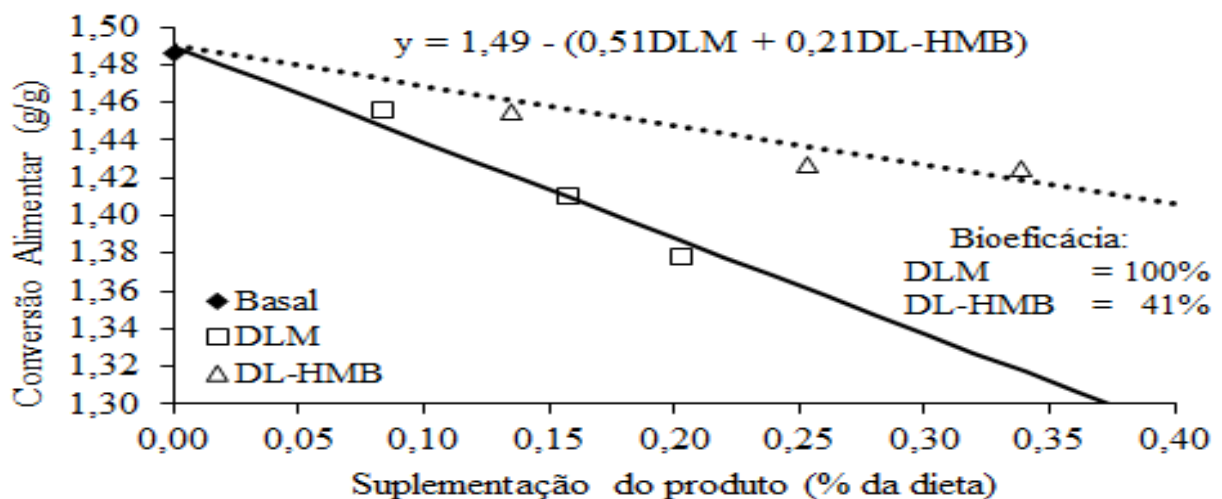


Figura 4. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar, em frangos de corte, no período de 1 a 7 dias de idade

De acordo com a Tabela 5 é possível observar respostas máximas obtidas com a suplementação de DLM-65 e DL-HMB em relação à dieta basal para a fase de 1 a 14 dias. Verificou-se uma melhora no desempenho para o ganho de peso e conversão alimentar, observando-se que o maior nível de suplementação avaliado neste estudo (0,287% de DLM e 0,442% de DL-HMB), permitiu melhor resposta biológica dos animais.

Tabela 5. Desempenho de frangos de corte, de 1 a 14 dias de idade, alimentados com rações suplementadas com diferentes fontes de metionina.

1 a 14 dias			
Tratamento- Fonte – Nível Suplementar	Consumo de ração (g)	Ganho de peso (g)	Conversão alimentar (g/g)
1 Basal	517,832	323,690	1,600
2 DLM – Nível 1	558,480	355,978	1,570
3 DLM – Nível 2	576,600	366,133	1,575
4 DLM – Nível 3	574,567	369,027	1,557
5 DL-HMB – Nível 1	571,467	359,120	1,592
6 DL-HMB – Nível 2	564,838	361,613	1,563
7 DL-HMB – Nível 3	572,767	369,728	1,549
CV (%)	3,664	3,963	2,547

As respostas de desempenho das aves aos níveis crescentes das fontes de metionina, para a fase de 1 a 14 dias, demonstrada pela análise de regressão exponencial simultânea e regressão linear simultânea, revela uma bioeficácia relativa da DL-HMB para a DLM de 65% (Figura 5) e 60% (Figura 6), para ganho de peso, respectivamente, em uma base de produtos.

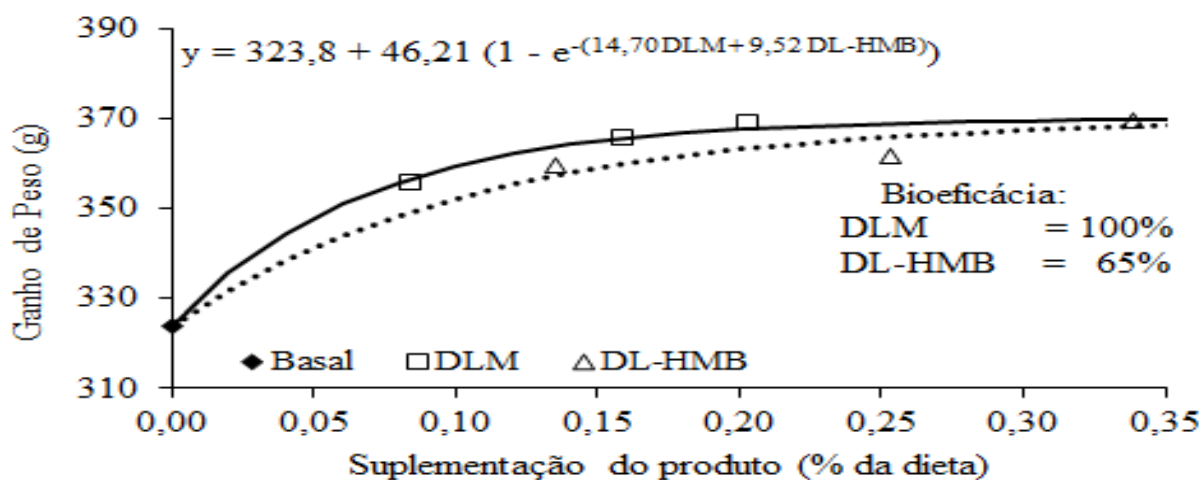


Figura 5. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 14 dias de idade

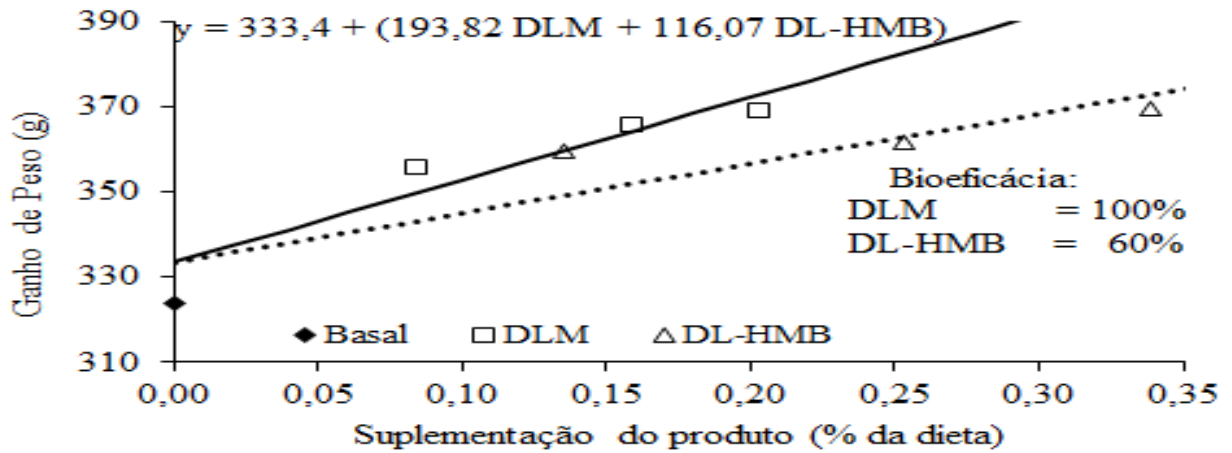


Figura 6. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 14 dias de idade

As respostas de desempenho para conversão alimentar referente aos níveis crescentes das fontes de metionina, para a fase de 1 a 14 dias demonstrada pela análise de regressão exponencial simultânea e regressão linear simultânea revela uma bioeficácia relativa da DL-HMB para a DLM de 59% (Figura 7) e 58% (Figura 8), respectivamente, em uma base de produtos.

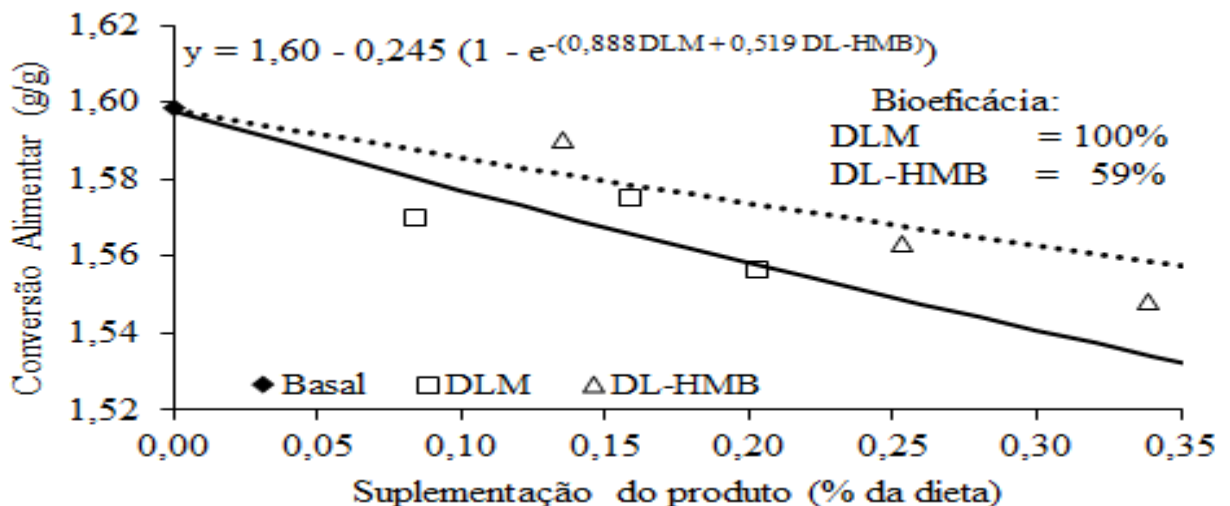


Figura 7. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar, em frangos de corte, no período de 1 a 14 dias de idade

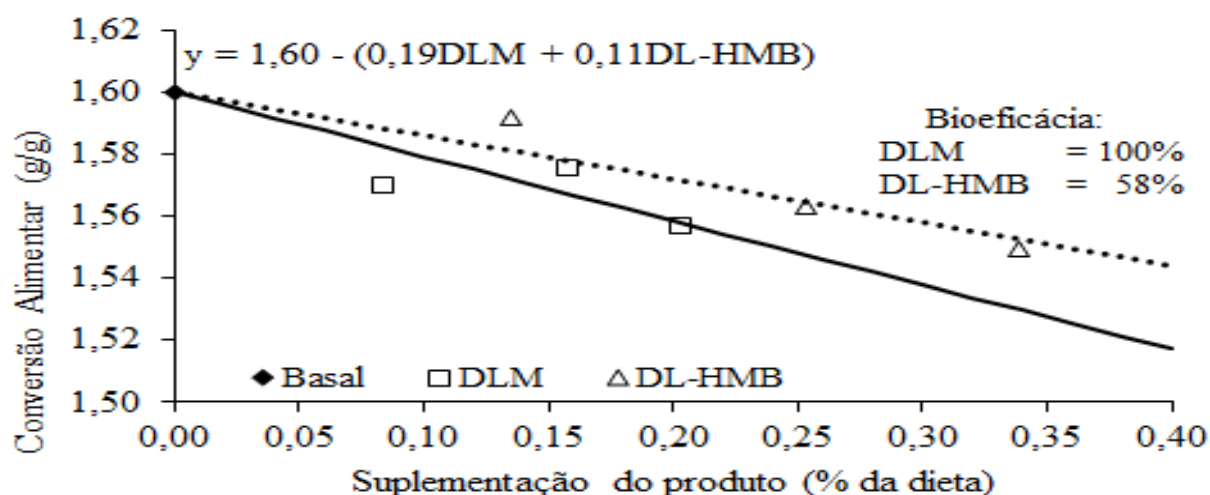


Figura 8. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metilutanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar (b), em frangos de corte, no período de 1 a 14 dias de idade

Ao comparar as respostas máximas obtidas com a suplementação de DLM-65 e DL-HMB, em relação à dieta basal (Tabela 6), para a fase de 1 a 21 dias, verifica-se uma melhora no desempenho para o ganho de peso e conversão alimentar, observando que o maior nível de suplementação avaliado neste estudo (0,287% de DLM e 0,442% de DL-HMB), permitiu melhor resposta de desempenho dos animais. Estes resultados diferem dos encontrados por Payne et al. (2006) e Viana et al. (2009), que observaram respostas de desempenho semelhante nas aves suplementadas com níveis crescentes de DL-HMB ou DLM em quantidade equivalente a 65% da quantidade de cada nível de DL-HMB.

Tabela 6. Desempenho de frangos de corte, de 1 a 21 dias de idade, alimentados com rações suplementadas com diferentes fontes de metionina.

1 a 21 dias			
Tratamento- Fonte – Nível Suplementar	Consumo de ração (g)	Ganho de peso (g)	Conversão alimentar (g/g)
1 Basal	1077,417	670,836	1,606
2 DLM – Nível 1	1139,254	734,264	1,552
3 DLM – Nível 2	1159,285	747,364	1,552
4 DLM – Nível 3	1151,413	752,293	1,530
5 DL-HMB – Nível 1	1154,009	741,052	1,557
6 DL-HMB – Nível 2	1164,659	753,009	1,547
7 DL-HMB – Nível 3	1160,324	766,935	1,513
CV (%)	2,656	3,208	2,280

A análise de regressão exponencial simultânea e regressão linear simultânea para ganho de peso revelou uma bioeficácia relativa da DL-HMB para a DLM de 86% (Figura 9) e 72% (Figura 10), respectivamente para conversão alimentar, em uma base de produtos, para a fase de 1 a 21 dias.

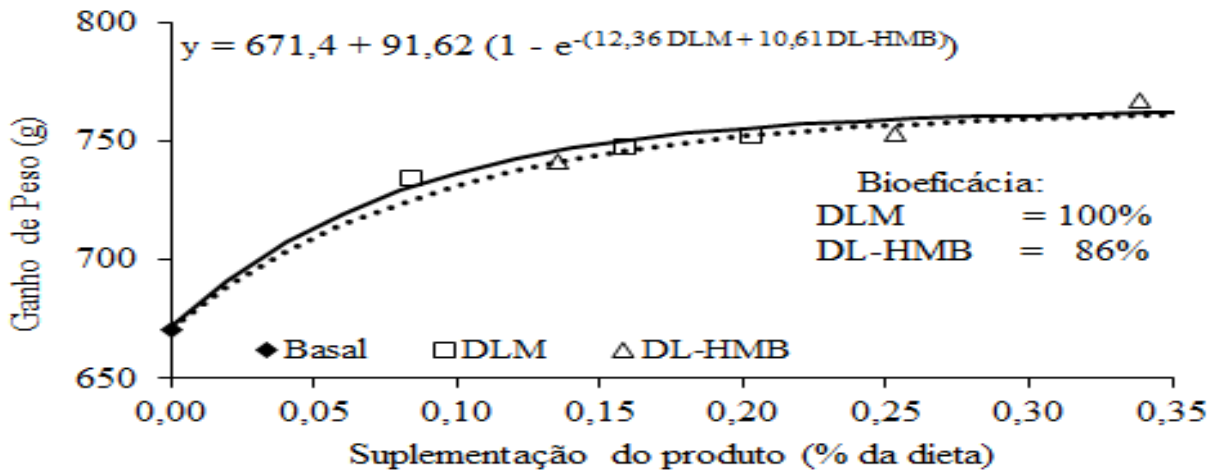


Figura 9. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 21 dias de idade

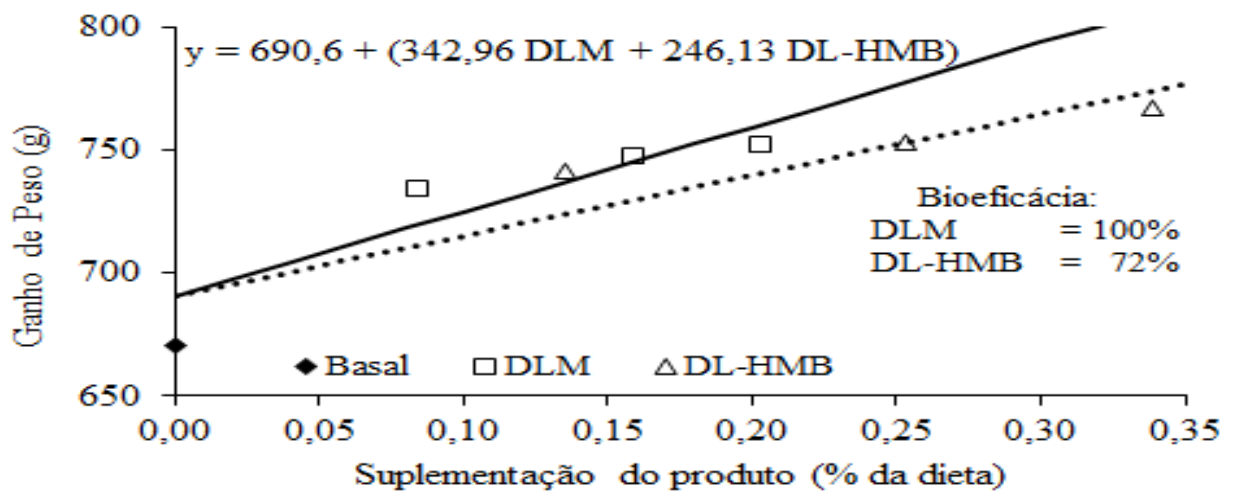


Figura 10. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso, em frangos de corte, no período de 1 a 21 dias de idade

A análise de regressão exponencial simultânea e regressão linear simultânea para conversão alimentar revelou uma bioeficácia relativa da DL-HMB para a DLM de 34%

(Figura 11) e 71% (Figura 12), respectivamente, para conversão alimentar, em uma base de produtos, para a fase de 1 a 21 dias.

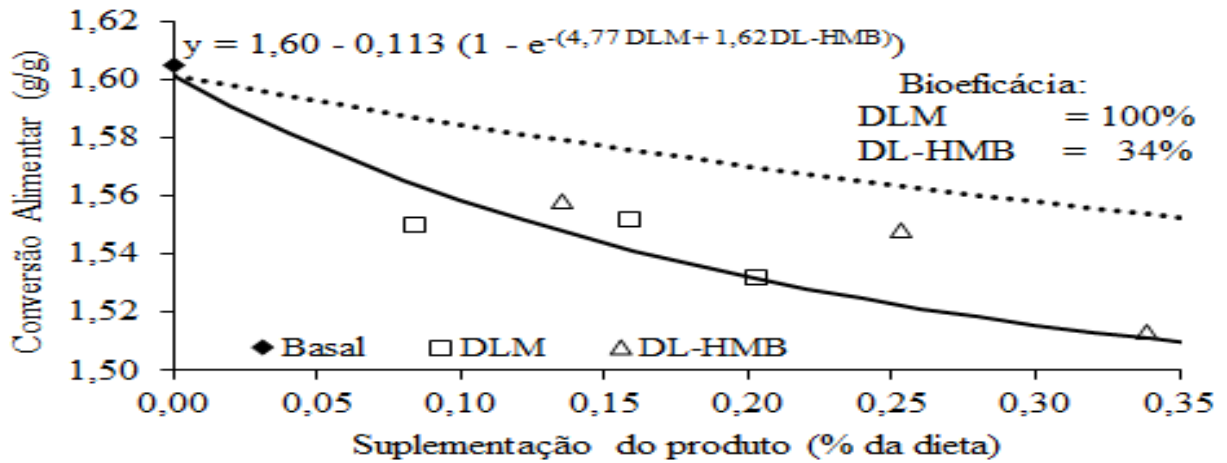


Figura 11. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar, em frangos de corte, no período de 1 a 21 dias de idade

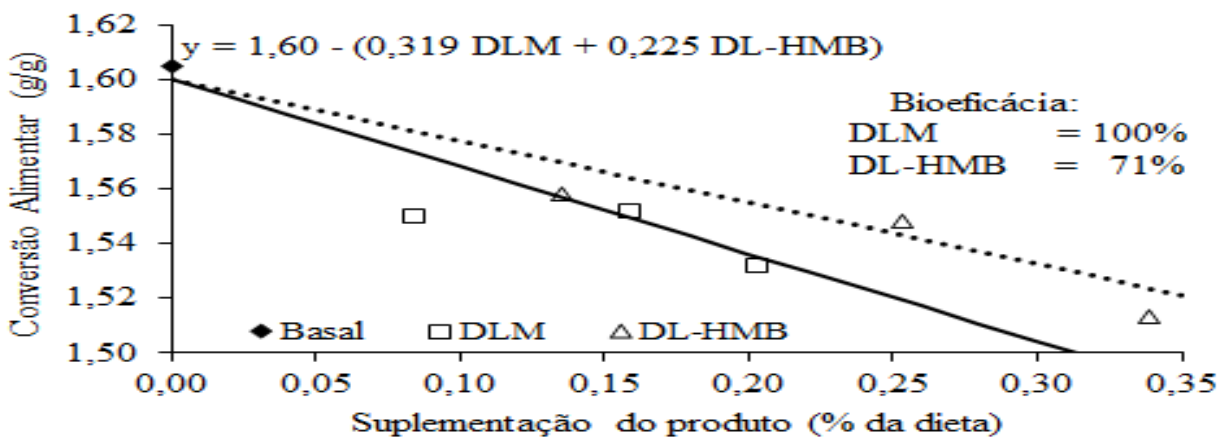


Figura 12. Bioeficácia do ácido DL 2-hidróxi 4-metil utanoico (DL-HMB) em relação à DL-Metionina (DLM), com base na conversão alimentar, em frangos de corte, no período de 1 a 21 dias de idade

De acordo com a análise de regressão deste trabalho, a bioeficácia média do DL-HMB em relação à DLM para as fases estudadas foi de 71 e 50%, para o ganho de peso e conversão alimentar, respectivamente. Ambos os resultados foram significativamente inferiores a 80%, que é o teor de substância ativa da DL-HMB em relação à DLM (65%), o que representa um valor considerável partindo do valor esperado de 65% para este produto.

No entanto, alguns estudos na literatura (LEMME et al., 2002; JANSMAN et al., 2003; PAYNE et al. 2006) observaram valores de bioeficácia média da DL-HMB em relação à DLM entre 57% e 65%. Estas variações nos valores de bioeficácia entre os estudos são consideradas comuns e inevitáveis, por serem estimadas através de ensaios biológicos.

Hoehler et al. (2005b), utilizando regressão exponencial simultânea, obtiveram valores de bioeficácia relativa média, da DL-HMB para a DLM, de 63% para ganho de peso e, 67% para conversão alimentar, na fase de 1 a 42 dias, em cinco experimentos com frangos de corte, em quatro diferentes países.

De acordo com Lemme et al. (2007), as diferenças encontradas entre as duas fontes estudadas podem ser atribuídas a vários fatores. Os produtos são quimicamente diferentes, a DLM é composta por 1% de água e 99% de metionina, sendo que suas moléculas são constituídas de monômeros, ou seja, forma em que são absorvidas sem precisar de nenhuma outra transformação (PENZ JR., 1994; LESSON e SUMMERS, 2001). Já a DL-HMB é composta por 12% de água e impurezas, 88% de substâncias ativas, sendo que 65% destas moléculas estão sob a forma monomérica e os 23% remanescentes em dímeros e oligômeros (BOEBEL e BAKER, 1982; LAWSON e IVEY, 1986), que segundo Van Weerden et al. (1992), apresentam valor nutricional reduzido.

O processo de absorção da DLM e do HMB é diferente. A DLM é absorvida de forma mais rápida e eficiente que os monômeros de DL-HMB. Isso pode ser observado em estudos com radioisótopos (^{14}C), onde a recuperação de (^{14}C) foi maior naqueles animais alimentados com DL-HMB. Esse estudo mostrou ainda que a incorporação de (^{14}C) nos músculos do peito e coxa dos frangos foi maior para aves alimentadas com DLM (LINGENS e MOLNAR, 1996);

Além disso, a DL-HMB é parcialmente degradada por microrganismos intestinais, fato que parece afetar significativamente a eficiência de absorção. Uma vez que é absorvida passivamente, a DL-HMB permanece por mais tempo no lúmen intestinal, sendo sujeita a uma maior degradação pré-absortiva. Isto foi comprovado por Drew et al. (2003) que, utilizando dietas marcadas, verificaram que a DL-HMB é cerca de 10% menos absorvida na porção distal do íleo do que a DLM.

As moléculas de DL-HMB ao serem convertidas em L-Metionina por transaminação, acarretam em perdas adicionais da eficácia biológica do HMB, as quais são adicionadas às perdas ocorridas no intestino, podendo ser esta mais uma razão para a baixa eficiência relativa da DL-HMB (HASSEBERG, 2002).

4 Conclusões

Nas condições em que o experimento foi realizado, a análise de regressão exponencial e linear simultânea revelaram que a bioeficácia média da DL-HMB, em relação à DLM, para ganho de peso e conversão alimentar, para as fases estudadas, foram respectivamente de 70% e 38% (1 a 7 dias), 63% e 59% (1 a 14 dias), 79% e 53% (1 a 21 dias), em uma base de produtos.

5 Referências bibliográficas

- BERTECHINI, A.G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: Ufla, v.1, 2006. 301p.
- BERTECHINI, A.G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: Ufla, v.2, 2012. 301p.
- BOEBEL, K.P.; BAKER, D.H. Efficacy of the calcium salt and free forms of methionine hydroxy-analog for chicks. **Poultry Science**, v.61, p.1167-1175, 1982.
- BRUGALLI, I. Eficácia relativa das fontes de metionina – Por que a indústria está repensando esta questão? **Revista Aveworld**, v.4, p.31-35, 2003.
- BUTOLO, J.E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: CBNA, 2002. 430p.
- DANNER, E.; BESSEI, W. Effectiveness of liquid DL-methionine hydroxy analogue-free acid (DL-MHA-FA) compared to DL-methionine on performance of laying hens. **Archives Geflügelk**, v.66, n.3, p.97–101, 2002a.
- DREW, M.D.; VAN KESSEL, A.G.; MAENZ, D.D. Absorption of methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid in conventional and germ-free chickens. **Poultry Science**, v.82, p.1149-1153, 2003.
- ELWERT, C.; FERNANDES, E.A.; LEMME, A. Biological effectiveness of methionine hydroxy-analogue calcium salt in relation to DL-methionine in broiler chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.21, n.10, p.1506-1515, 2008.
- ESTEVE-GARCIA, E.; LLAURADO, L. Performance, breast meat yield and abdominal fat deposition of male broiler chickens fed diets supplemented with DL-methionine or DL-methionine hydroxy analog free acid. **British Poultry Science**, v.38, p.397-404, 1997.
- HASSEBERG, HA. No hay una monomerización importante en metionina hidroxianáloga. **Amino NewsTM**, v.3, n.1, 2002.
- HOEHLER, D.; LEMME, A.; ROBERSON, K. et al. Impact of methionine sources on performance in turkeys. **Journal of Applied Poultry Research**, v.14, p.296-305, 2005a.
- HOEHLER, D.; LEMME, A.; JENSEN, S.K. et al. Relative effectiveness of methionine sources in diets for broiler chickens, **Journal of Applied Poultry Research**, v.14, p.679-693, 2005b.
- HUYGHEBAERT, G. Comparison of DL-methionine and methionine hydroxy analog-free acid in broilers by using multi-exponential regression models. **British Poultry Science**, v.34, p.351-359, 1993.
- JANSMAN, A.J.M.; KAN, C.A.; WIEBENGA, J. **Comparison of the biological efficacy of DL-methionine and hydroxy-4-methyl-thiobutanoic acid (HMB) in pigs and poultry**. Centraal Veevoederbureau (CVB, Central Bureau for Livestock Feeding), The Netherlands 2003, Documentation Report No. 29.

KRATZER, D.D.; LITTELL, R.C. Appropriate statistical methods to compare dose responses of methionine sources. **Poultry Science** v.85, p.947-954, 2006.

LAWSON, C.Q; IVEY, F.J. Hydrolysis of 2-hydroxy-4 (methylthio) butanoic acid dimer in two model systems. **Poultry Science**, v. 65; p. 1749-1753, 1986.

LEMME, A.; HOEHLER, D.; BRENNAN, J.J. et al. Relative effectiveness of methionine hydroxy analog compared to DL-methionine in broiler chick. **Poultry Science**, v.81, p.838-845, 2002.

LEMME, A.; PETRI, A.; REDSHAW, M. **Revisão: O que há de novo sobre as fontes comerciais de metionina em aves.** (S.L.): Degussa Feed Additives-amino acids and more, 2007. 34p.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Nutrition of the chicken.** 4.ed. Guelph: University Books, 2001. 591p.

LINGENS, G.; MOLNAR, S. Studies on metabolism of broilers by using ¹⁴C-labelled DL-methionine and DL-methionine hydroxy analogue Ca-salt. **Archives of Animal Nutrition**, v.49, p.113-124, 1996.

LITTELL, R.C.; HENRY, P.R.; LEWIS, A.J. et al. Estimation of relative bioavailability of nutrients using SAS procedures. **Journal of Animal Science**, v.75, p.2672-2683, 1997.

MAENZ, D.D.; ENGELE-SCHAAN, C.M. Methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid are transported by distinct Na⁺ dependent and H⁺ dependent systems in the brush border membrane of the chick intestinal epithelium. **Journal of Nutrition**, v.126, p.529-536, 1996a.

MAENZ, D.D.; ENGELE-SCHAAN, C.M. Methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid are partially converted to nonabsorbed compounds during passage through the small intestine and heat exposure does not affect small intestinal absorption of methionine sources in broiler chicks. **Journal of Nutrition**, v.126, p.1438-1444, 1996b.

PAYNE, R.L.; LEMME, A.; SEKO, H. et al. Bioavailability of methionine hydroxy analog-free acid relative to DL-methionine in broilers. **Animal Science Journal**, v.77, p.427-439, 2006.

PENZ Jr., A.M. Metionina e hidróxi análogos (MHA) em nutrição de aves. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 1994, Campinas, **Anais...** Campinas: FACTA, 1994, p. 85-94.

PIEPHO, H.P. letter to the editor: A cautionary note on appropriate statistical methods to compare dose responses of methionine sources. **Poultry Science**, v.85, p.1511-1512, 2006.

RODEHUTSCORD, M.; PACK, M. Estimates of essential amino acid requirements from dose-response studies with rainbow trout and broiler chicken: Effect of mathematical model. **Archives of Animal Nutrition**, v.52, p.223-244, 1999.

ROSTAGNO, H.S.; BARBOSA, W.A. Biological efficacy and absorption of DL-methionine hydroxy analog free acid compared to DL-methionine in chickens as affected by heat stress. **British Poultry Science**, v.36, p.303-312, 1995.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. Version 6.11. 4.ed. v.2. Cary: SAS Institute, 1996. 842p.

TIMMLER, R.; RODEHUTSCORD, M. Dose-response relationships for valine in the growing White Pekin duck. **Poultry Science**, v.82, p.1755-1762, 2003.

THOMAS, O.P.; TAMPLIN, S.D.; CRISSEY, E. et al. An evaluation of methionine hydroxy analog free acid using a nonlinear (exponential) bioassay. **Poultry Science**, v.70, p.605-610, 1991.

VAN WEERDEN, E.J., SCHUTTE, J.B.; BERTRAM, H.L. Utilization of the polymers of methionine hidroxy analogue free acid (MHA-FA) in broiler chicks. **Archives fur Geflugelkunde**, v.56, p.63-68, 1992.

VIANA, M.T.S.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S. et al. Fontes e níveis de metionina em dietas para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.9, p.1751-1756, 2009.

WEERDEN, E.J.; SCHUTTE, J.B. Comparison of DL-methionine, DL-methionine-Na, DL-methionine hydroxy analogue-Ca, and DL-methionine hydroxy analogue free acid with layers. **Poultry Science**, v.63, p.1793-1799, 1984.

CAPÍTULO IV

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições em que o experimento foi realizado, as estimativas encontradas para a exigência de metionina + cistina foi: para a fase 1 a 7 dias foi 0,891% que corresponde a um consumo de 1,441 g/dia de met + cis e a uma relação metionina + cistina:lisina total de 67%; para a fase de 1 a 14 dias foi de 0,917% que corresponde a um consumo de 5,151 g/dia de met + cis e a uma relação metionina + cistina:lisina total de 69% e para a fase de 1 a 21 dias para o ganho de peso foi de 0,912% que corresponde a um consumo de 10,387 g/dia de met + cis. e uma relação metionina + cistina:lisina total de 69% e para a conversão alimentar foi de 0,94% que corresponde a um consumo de 10,705 g/dia de met + cis e uma relação metionina + cistina:lisina total de 71%.

Neste trabalho a análise de regressão exponencial e linear simultânea revelaram bioeficácia média da DL-HMB em relação DLM para ganho de peso e conversão alimentar para as fases estudadas foram respectivamente: 70% e 38% (1 a 7 dias), 63% e 59% (1 a 14 dias), 79% e 53% (1 a 21 dias), em uma base de produtos.