

**BRUNO DAMACENO FARIA**

**DETERMINAÇÃO DA EXIGÊNCIA DE LISINA E DA PROTEÍNA IDEAL PARA  
SUÍNOS NA FASE DE CRESCIMENTO UTILIZANDO O MÉTODO DE  
GOETTINGEN**

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

Orientador: Melissa Izabel Hannas

Coorientadores: Horacio Santiago Rostagno  
Gabriel Cipriano Rocha  
Fabyano Fonseca e Silva  
Alysson Saraiva

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F224d  
2019 Faria, Bruno Damaceno, 1989-  
Determinação da exigência de lisina e da proteína ideal para  
suínos na fase de crescimento utilizando o método de Goettingen  
/ Bruno Damaceno Faria. – Viçosa, MG, 2019.  
1 tese eletrônica (61 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Melissa Izabel Hannas.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Zootecnia, 2019.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.303>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Suínos - Nutrição. 2. Aminoácidos na nutrição animal.  
3. Balanço de nitrogênio. 4. Diluição. I. Hannas, Melissa Izabel,  
1974-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.  
III. Título.

CDD 22. ed. 636.40852

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB6/2552

**BRUNO DAMACENO FARIA**

**DETERMINAÇÃO DA EXIGÊNCIA DE LISINA E DA PROTEÍNA IDEAL PARA  
SUÍNOS NA FASE DE CRESCIMENTO UTILIZANDO O MÉTODO DE  
GOETTINGEN**

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

APROVADA: 26 de abril de 2019.

Assentimento:



---

Bruno Damaceno Faria  
Autor



---

Melissa Izabel Hannas  
Orientador

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Zootecnia pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

À minha orientadora Melissa Izabel Hannas pela orientação, pelos vários ensinamentos, paciência, confiança e incentivos durante todo o tempo que estive sob sua orientação.

Aos professores coorientadores Horacio Santiago Rostagno e Gabriel Cipriano pela confiança, aprendizado e amizade. Agradeço também ao Dr. Gladstone Brumano e ao Dr. Julio Pupa por aceitarem o convite de fazerem parte da banca.

Ao professor Luiz Fernando Teixeira Albino que, por mais que não tenha sido meu coorientador no doutorado, sempre foi um grande amigo durante todo meu período como pós-graduando.

Agradeço e dedico esta conquista aos meus pais pelo apoio, carinho, compreensão, pelo amor incondicional que me incentiva na busca pela realização dos meus objetivos. Por acreditarem sempre em mim, estarem sempre ao meu lado, principalmente quando mais precisei.

Às minhas madrinhas e padrinhos, tios e tias, primos e primas que sempre me apoiaram e incentivaram na minha busca profissional.

Aos estagiários e amigos de trabalho, que foram fundamentais em todos os experimentos: Gustavo, Léo, Dani, Carol, Vanusa, Camila, Rômulo, os colombianos Mônica e Victor.

Agradecimento especial aos meus amigos e amigas da pós-graduação Priscila, Mariele, Cássia, Alessandra, Ariolino Neto, Lívia, Rosana, Jéssica Mansur e Matheus pelo companheirismo, troca de conhecimentos, amizade e carinho.

Aos meus velhos e novos amigos(as) Fabiano, Junin, Tuitier, Aline, Alex, Bruno Lustoza, Fabrício, Gotinha, Daniel, Darllan, Ana, Marcinha, Lúcio, Aline, Alan, Miltin, Papaulo, e Rodrigo agradeço a compreensão, o companheirismo e a amizade de anos.

Aos funcionários do Setor de Suinocultura da UFV, em especial ao Fernando, Dedeco, Arlindo (Lindão), Valdeir, Leandro e Chico por todo auxílio, companheirismo e por terem me proporcionado um excelente ambiente de trabalho durante a condução da pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia como o Venâncio, Mário, Alda, Cleone, Sr Helvécio e em especial à Fernanda que sempre me auxiliou em tudo que precisei.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Animal, em especial a Aline, Matheus, Sr. Mario e Monteiro.

Aos demais professores, colegas e funcionários do Departamento de Zootecnia que de alguma forma contribuíram para a conclusão de mais uma etapa em minha vida.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A todos vocês, muito obrigado!!

*Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso.  
Se estamos possuídos por uma inabalável determinação conseguiremos  
superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser  
sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.*

*Dalai Lama*

*"Costumamos aumentar nossa dor e sofrimento sendo excessivamente sensíveis, reagindo com exagero a fatos insignificantes e às vezes levando as coisas para um lado muito pessoal. Nossa tendência é a de levar fatos ínfimos muito a sério e ampliá-los de modo totalmente desproporcional, ao mesmo tempo em que permanecemos indiferentes ao que é realmente importante, àqueles fatos que têm efeitos profundos na nossa vida, além de consequências e implicações duradouras."*

*Dalai Lama*

## **BIOGRAFIA**

Bruno Damaceno Faria, filho de Paulo Roberto Faria e Odenir da Penha Damaceno Faria, nasceu em Viçosa – MG, em agosto de 1989.

Em março de 2008 iniciou a graduação em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo-o em maio de 2013. No mesmo ano ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na UFV, em nível de Mestrado, na área de Nutrição e Produção de Monogástricos, com foco em minerais orgânicos para frangos de corte, submetendo-se à defesa de dissertação em fevereiro de 2015.

Em março de 2015 iniciou o Doutorado, também na UFV, tendo como foco principal a determinação de lisina digestível e dos aminoácidos essenciais para suínos em crescimento. No ano de 2017 auxiliou na organização do evento de lançamento da 4ª edição das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais para Aves e Suínos.

Em janeiro de 2019 assumiu o cargo de Coordenador Comercial da linha de aditivos nutricionais na empresa Pancosma e em abril do mesmo ano submeteu à defesa da tese de doutorado.

## RESUMO

FARIA, Bruno Damaceno, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2019. **Determinação da exigência de lisina e da proteína ideal para suínos na fase de crescimento utilizando o método de Goettingen.** Orientadora: Melissa Izabel Hannas. Coorientadores: Horacio Santiago Rostagno, Gabriel Cipriano Rocha, Fabyano Fonseca e Silva e Alysso Saraiva.

Dois experimentos foram realizados na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Produção e Nutrição de Suínos da Universidade Federal de Viçosa com os objetivos de determinar a exigência de lisina digestível para suínos machos castrados em crescimento, através da exigência diária de nitrogênio para manutenção, máxima retenção diária de nitrogênio, utilizando o método de balanço de nitrogênio e, determinar a relação ótima dos aminoácidos essenciais para suínos machos castrados em crescimento, por meio do método de deleção. Ambos os experimentos utilizaram modelos matemáticos do método de Göttingen. No primeiro experimento foram realizados dois ensaios de balanço de nitrogênio, para animais com peso médio de  $25,20 \pm 0,24$  kg e  $56,08 \pm 0,67$  kg, respectivamente. Para cada ensaio foram utilizados 24 suínos machos castrados (Camborough x AGPIC 337), totalizando 48 animais, alojados individualmente em gaiolas de metabolismo. Foi formulada uma dieta concentrada (N6) à base de milho, farelo de soja e glúten de milho, com 27,0% de PB, 1,585% de lisina digestível e 3230 kcal de EM e uma dieta isenta em proteína (DIP) à base de amido de milho utilizada para diluir a dieta concentrada, através da técnica da diluição e assim compor os tratamentos com diferentes níveis de proteína bruta (N1 a N5): 6,22; 10,37; 14,53; 18,69 e 22,84% e com 0,365; 0,609; 0,853; 1,097 e 1,341% de lisina digestível, respectivamente. Cada ensaio consistiu em cinco dias de período de adaptação e dois períodos de cinco dias de coletas de fezes e urina. Para suínos com peso médio de 25 kg os valores de NMR,  $ND_{maxT}$  e a exigência de lisina digestível considerando 60% do  $ND_{maxT}$  foram, respectivamente, 170,32 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d, 3322,38 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d e 1,236%. Para os animais com peso médio de 56 kg os resultados para NMR,  $ND_{maxT}$  e a exigência de lisina considerando 80% do  $ND_{maxT}$  foram, respectivamente, 204,31 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d, 1667,45 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d e 0,900%. No segundo experimento, foram realizados dois ensaios de balanço de nitrogênio, com suínos machos castrados (Camborough x AGPIC 337) de  $23,81 \pm 2,39$  kg e  $59,48 \pm 0,93$  kg. Em cada um dos ensaios foram utilizados 11 tratamentos com duas repetições, dois períodos consecutivos de coletas e um animal por gaiola, totalizando 4 repetições com 22 animais por ensaio. Uma dieta balanceada (DB) foi formulada

para atender as exigências de todos os nutrientes. As outras dietas foram formuladas de forma a deletar 30% o aminoácido (AA) testado em cada tratamento. Cada ensaio consistiu em cinco dias de período de adaptação e 10 dias de coletas de fezes e urina (cinco dias em cada período). Para obter a relação ideal dos aminoácidos (RIAA) foram considerados os valores de  $bc^{-1}$  (eficiência de utilização do aminoácido limitante). A RIAA para suínos com peso médio de 25 kg foi Lis 100%, Met+Cis 57%, Treo 63%, Trip 18%, Arg 49%, Val 67%, Ile 57%, Leu 109%, Fen+Tir 112% e His 30%. Para suínos com peso médio de 60 kg, a RIAA foi Lis 100%, Met+Cis 57%, Treo 63%, Trip 23%, Arg 55%, Val 63%, Ile 56%, Leu 109%, Fen+Tir 118% e His 33%.

Palavras-chave: Aminoácido. Balanço de nitrogênio. Diluição. Deleção. Suínos.

## ABSTRACT

FARIA, Bruno Damaceno, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2019. **Determination of lysine requirement and ideal protein for growing pigs using the Goettingen method.** Adviser: Melissa Izabel Hannas. Co-advisers: Horacio Santiago Rostagno, Gabriel Cipriano Rocha, Fabyano Fonseca e Silva and Alysson Saraiva.

Two experiments were performed in the Unit of Teaching, Research and Extension in Swine Production and Nutrition of the Universidade Federal de Viçosa with the objective of determining the digestible lysine requirement for growing castrated male pigs, through daily nitrogen requirement for maintenance, maximum daily nitrogen retention, using the balance method and to determine the optimal ratio of essential amino acids to growing castrated male pigs by the deletion method. Both experiments use mathematical models of the Göttingen method. In the first trial were performed two nitrogen balance trials for animals with average weight of  $25,20 \pm 0,24$  kg and  $56,08 \pm ,67$  kg, respectively. For each trial, 24 castrated male pigs (Camborough X AGPIC 337) were used, totalizing 48 animals, housed individually in metabolism cages. A concentrated diet (N6) based on corn, soybean meal and corn gluten was formulated with 27.0% CP, 1.585% digestible lysine and 3230 kcal ME and a protein-free diet (DIP) based on corn starch used to dilute the concentrated diet using the dilution technique and thus to compose the treatments with different levels of crude protein (N1 to N5): 6,22; 10.37; 14.53; 18.69 and 22.84% and with 0.365; 0.609; 0.853; 1.097 and 1.341% digestible lysine respectively. Each trial consisted in five days of adaptation period and 10 days of collection of feces and urine (five day in each period). For pigs with an average weight of 25 kg, the values of NMR,  $ND_{maxT}$  and the lysine requirement were, considering 60% of the  $ND_{maxT}$ , respectively,  $170.32 \text{ mg}/BW_{kg}^{0.75}/d$ ,  $3322.38 \text{ mg}/BW_{kg}^{0.75}/d$  and 1.236%. For animals with an average weight of 56 kg, the results for NMR,  $ND_{maxT}$  and the lysine requirement were, considering 80% of  $ND_{maxT}$ , respectively,  $204.31 \text{ mg}/BW_{kg}^{0.75}/d$ ,  $1667.45 \text{ mg}/BW_{kg}^{0.75}/d$  and 0.900%. In the second experiment, two nitrogen balance tests were also carried out, with castrated male pigs (Camborough X AGPIC 337) of  $23.81 \pm 2.39$  kg and  $59.48 \pm 0.93$  kg. Eleven treatments with two replicates, two consecutive collection periods and one animal per cage were used, totaling 22 castrated male pigs per trial and 4 replicates per treatment. A balanced diet (DB) was formulated to meet the requirement of all nutrients. The other diets were formulated in order to delete 30% in each treatment the tested amino acid (AA). Each trial

consisted in five days of adaptation period and 10 days of collection of feces and urine (five day in each period). To obtain the ideal amino acid ratio (IAAR),  $bc^{-1}$  (limiting amino acid utilization efficiency) values were considered. The IAAR for growing pigs with average weight of 25 kg (trial 3) was Lys 100%, Met+Cys 57%, Thr 63%, Trp 18%, Arg 49%, Val 67%, Ile 57%, Leu 109%, Phe+Tyr 112% e His 30%. For growing pigs with average weight of 60 kg (trial 4) was Lys 100%, Met+Cys 57%, Thr 63%, Trp 23%, Arg 55%, Val 63%, Ile 56%, Leu 109%, Phe+Tyr 118% e His 33%.

Keywords: Amino acid. Nitrogen balance. Dilution. Deletion. Pigs.

## LISTA DE TABELAS

### **Capítulo 1: Exigência de lisina digestível para suínos em crescimento baseada no potencial de deposição proteica utilizando método de Goettingen**

**Tabela 1** - Composição percentual das dietas experimentais. ....31

**Tabela 2:** Composição nutricional e dos aminoácidos das dietas experimentais e proporção relativa dos aminoácidos em relação à lisina.....32

**Tabela 3:** Peso corporal médio (PC, kg), consumo de ração (CR, kg/d), nitrogênio ingerido (NI, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d), nitrogênio excretado (NEX, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d) e nitrogênio depositado (ND, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d) de suínos machos em crescimento obtidos em ensaios de balanço de nitrogênio<sup>14</sup> .....33

**Tabela 4:** Deposição proteica diária de suínos machos em crescimento, em termos da variação percentual do potencial teórico para deposição proteica (NDmaxT) .....34

**Tabela 5:** Exigência de lisina digestível para suínos machos em crescimento (25 kg), estimada de acordo com a eficiência de utilização de lisina, deposição de proteína e diferentes consumos de ração.....34

**Tabela 6:** Exigência de lisina digestível para suínos machos em crescimento (56 kg), estimada de acordo com a eficiência de utilização de lisina, deposição de proteína e diferentes consumos de ração.....35

### **Capítulo 2: Relação de proteína ideal para suínos em crescimento baseado em estudos de deleção**

**Tabela 1** - Composição percentual das dietas experimentais com base na deleção individual dos aminoácidos para os animais com peso médio de 25 kg.....54

**Tabela 2** - Composição nutricional das dietas experimentais considerando a deleção individual dos aminoácidos para os animais com peso médio de 25 kg\*.....55

**Tabela 3** - Composição percentual das dietas experimentais com base na deleção individual dos aminoácidos para os animais com peso médio de 60 kg.....57

**Tabela 4** - Composição nutricional das dietas experimentais considerando a deleção individual dos aminoácidos para os animais com peso médio de 60 kg\* ..... 58

**Tabela 5** - Efeito da deleção do aminoácido da dieta na qualidade de proteína, na retenção de nitrogênio e a relação ideal dos aminoácidos para suínos em crescimento com peso médio de 25 kg em ensaio de balanço de nitrogênio<sup>1</sup> ..... 60

**Tabela 6** - Efeito da deleção do aminoácido da dieta na qualidade de proteína, na retenção de nitrogênio e a relação ideal dos aminoácidos para suínos em crescimento com peso médio de 60 kg em ensaio de balanço de nitrogênio<sup>1</sup> ..... 61

## LISTA DE FIGURAS

### **Capítulo 1: Exigência de lisina digestível para suínos em crescimento baseada no potencial de deposição proteica utilizando método de Goettingen**

**Figura 1:** Estimativa da exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) pelo ajuste de uma função exponencial entre o nitrogênio ingerido (NI) e nitrogênio excretado (NEX) após o fornecimento gradual de proteína para suínos em crescimento (peso médio de 25 kg); e = base do logaritmo natural .....36

**Figura 2:** Estimativa da exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) pelo ajuste de uma função exponencial entre o nitrogênio ingerido (NI) e nitrogênio excretado (NEX) após o fornecimento gradual de proteína para suínos em crescimento (peso médio de 56 kg); e = base do logaritmo natural. ....36

**Figura 3:** Estimativa do potencial teórico para deposição de nitrogênio (NDmaxT) para suínos em crescimento (peso médio de 25 kg), baseado na relação entre o nitrogênio ingerido (NI) e balanço de nitrogênio (ND). ....37

**Figura 4:** Estimativa do potencial teórico para deposição de nitrogênio (NDmaxT) para suínos em crescimento (peso médio de 56 kg), baseado na relação entre o nitrogênio ingerido (NI) e balanço de nitrogênio (ND). ....37

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1: Exigência de lisina digestível para suínos em crescimento baseada no potencial de deposição proteica utilizando método de Goettingen .....</b>	<b>16</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>16</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>18</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
2.1 Animais, dietas e alojamento .....	20
2.2 Dietas experimentais .....	20
2.3 Manejo .....	21
2.4 Análises químicas .....	21
2.5 Modelagem .....	22
2.6 Análise estatística .....	24
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>28</b>
<b>Capítulo 2: Relação de proteína ideal para suínos em crescimento baseado em estudos de deleção .....</b>	<b>38</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>38</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>40</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
2.1 Animais, alojamento e desenho experimental .....	42
2.2 Análises químicas .....	43
2.3 Análises estatísticas .....	44

<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>45</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>50</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>

## Capítulo 1: Exigência de lisina digestível para suínos em crescimento baseada no potencial de deposição proteica utilizando método de Goettingen

### RESUMO

A lisina desempenha papel essencial no metabolismo proteico dos suínos, como primeiro aminoácido (AA) limitante em dietas para suínos a base de milho e farelo de soja, sendo importante que sua exigência seja atendida nas formulações e garantida através do arraçamento. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar a exigência diária de nitrogênio para manutenção, máxima retenção diária de nitrogênio e a exigência de lisina digestível para suínos machos castrados em crescimento considerando o método de balanço de nitrogênio. Dois ensaios foram realizados utilizando o balanço de nitrogênio, para animais com peso médio de  $25,20 \pm 0,24$  kg e  $56,08 \pm 0,67$  kg, respectivamente. Para cada ensaio foram utilizados 24 suínos machos castrados (Camborough x AGPIC 337), totalizando 48 animais, alojados individualmente em gaiolas de metabolismo. Foi formulada uma dieta concentrada (N6) à base de milho, farelo de soja e glúten de milho, com 27,0% de PB, 1,585% de lisina digestível e 3230 kcal de EM e uma dieta isenta em proteína (DIP) à base de amido de milho utilizada para diluir a dieta concentrada, através da técnica da diluição e assim compor os tratamentos com diferentes níveis de proteína bruta (N1 a N5): 6,22; 10,37; 14,53; 18,69 e 22,84% e com 0,365; 0,609; 0,853; 1,097 e 1,341% de lisina digestível, respectivamente. Cada ensaio consistiu em cinco dias de período de adaptação e 10 dias de coletas de fezes e urina (cinco dias em cada período). A exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) foi obtida pela relação entre o nitrogênio ingerido (NI) e o nitrogênio excretado (NEX), a máxima retenção teórica de nitrogênio ( $NR_{maxT}$ ) como o valor limite da função entre NI e nitrogênio depositado (ND) e a ingestão do aminoácido limitante (IAAL) através da equação  $IAAL = (\ln NR_{maxT} - \ln(NR_{maxT} - NR)) / 16bc^{-1}$ . Para suínos com peso médio de 25 kg os valores de NMR,  $ND_{maxT}$  e a exigência de lisina digestível considerando 60% do  $ND_{maxT}$  foram, respectivamente, 170,32 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d, 3322,38 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d e 1,236%. Para os animais com peso médio de 56 kg os resultados para NMR,  $ND_{maxT}$  e a exigência de lisina considerando 80% do  $ND_{maxT}$  foram, respectivamente, 204,31 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d, 1667,45 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d e 0,900%. Utilizando ensaios de balanço de nitrogênio e a técnica da diluição foi possível determinar as exigências de nitrogênio e lisina para manutenção para suínos em crescimento, e estimar exigência de lisina digestível, obtendo valores semelhantes aos estabelecidos na literatura.

**Palavras-chave:** Suínos em crescimento. Nitrogênio de manutenção. Lisina. Exigência. Diluição.

## ABSTRACT

Lysine plays an important role in pigs metabolism, and it is important that their requirement is met in the diets formulation and guaranteed through the providing feed. Thus, the objective of this study was to determine the daily requirement of nitrogen for maintenance, maximum daily retention of nitrogen and the requirement of lysine for growing castrated male pigs. Two experiments were performed from nitrogen balance trials for animals with average weight of  $25,20 \pm 0,24$  kg and  $56,08 \pm 0,67$  kg, respectively. For each trial, 24 castrated male pigs (Camborough X AGPIC 337) were used, totalizing 48 animals, housed individually in metabolism cages. A concentrated diet (N6) based on corn, soybean meal and corn gluten was formulated with 27.0% CP, 1.585% digestible lysine and 3230 kcal ME and a protein-free diet (DIP) based on corn starch used to dilute the concentrated diet using the dilution technique and thus to compose the treatments with different levels of crude protein (N1 to N5): 6,22; 10.37; 14.53; 18.69 and 22.84% and with 0.365; 0.609; 0.853; 1.097 and 1.341% digestible lysine respectively. Each trial consisted in five days of adaptation period and 10 days of collection of feces and urine (five day in each period). Nitrogen maintenance requirement (NMR) was obtained by the relationship between nitrogen intake (NI) and nitrogen excretion (NEX), the theoretical maximum nitrogen retention ( $NR_{maxT}$ ) as the limit value of the function between NI and nitrogen deposition (ND) and the ingestion of the limiting amino acid (LAAI) by the equation  $LAAI = (\ln NR_{maxT} - \ln(NR_{maxT} - NR)) / 16bc^{-1}$ . For pigs with an average weight of 25 kg, the values of NMR,  $ND_{maxT}$  and the lysine requirement were, considering 60% of the  $ND_{maxT}$ , respectively, 170.32 mg/ $BW_{kg}^{0.75}/d$ , 3322.38 mg/ $BW_{kg}^{0.75}/d$  and 1.236%. For animals with an average weight of 56 kg, the results for NMR,  $ND_{maxT}$  and the lysine requirement were, considering 80% of  $ND_{maxT}$ , respectively, 204.31 mg/ $BW_{kg}^{0.75}/d$ , 1667.45 mg/ $BW_{kg}^{0.75}/d$  and 0.900%. Using nitrogen balance trials and the dilution technique it was possible to determine the N and lysine requirements for maintenance for growing pigs, and to estimate the digestible lysine requirement through models obtaining values similar with those established by the literature.

**Keywords:** Growing pigs. Nitrogen maintenance. Lysine. Requirement. Dilution.

## 1. INTRODUÇÃO

A lisina é o primeiro aminoácido limitante em dietas à base de milho e farelo de soja para suínos, sendo usada como referência para determinar as exigências de outros aminoácidos. Dessa forma, a estimativa precisa das exigências desse aminoácido para os animais é fundamental para a formulação da dieta. Entretanto, a necessidade dietética de lisina pode ser influenciada por fatores, como o nível de proteína e energia da dieta, a qualidade das fontes de proteína na dieta, idade, peso, sexo e o genótipo (Samadi & Liebert, 2006a; 2007a).

O método utilizado para determinação da exigência aminoacídica é um fator preponderante. Parte dos estudos disponíveis com o objetivo de determinar a exigência de lisina têm utilizado a metodologia de suplementação de aminoácidos as dietas para determinação das exigências dos aminoácidos essenciais. No entanto, essa técnica apresenta desvantagens, tais como, a suplementação de níveis crescentes de um único aminoácido a uma dieta basal resultando em dietas com um perfil diferente de aminoácidos e, em níveis elevados de suplementação, o aminoácido deixaria de ser o primeiro limitante (Gous e Morris, 1985). Sendo assim, estudos tem relatado que a técnica de diluição da dieta poderia superar essas falhas, uma vez que ela proporciona relações aminoacídicas constantes entre os níveis avaliados resultando em dados mais confiáveis e precisos (Gous, 1980; Samadi & Liebert, 2007a).

O método de Goettingen, o qual adota a técnica de diluição das dietas, é um modelo utilizado para descrever o potencial de desempenho do animal, levando em consideração a retenção máxima teórica de nitrogênio ( $NR_{maxT}$ ) que é estimada através de uma função exponencial entre o nitrogênio retido (NR) e o nitrogênio ingerido (NI). O  $NR_{maxT}$  é um parâmetro importante, pois programas atuais de nutrição precisam de informações sobre como usar o potencial genético de forma a maximizar o NR e, conseqüentemente, as exigências de aminoácidos. Dessa forma, através desse método é possível a aplicação da técnica do balanço de nitrogênio para descrever a máxima deposição proteica e estimar as exigências de aminoácidos, como a lisina, auxiliando no desenvolvimento de modelos matemáticos de predição de exigências nutricionais (Samadi & Liebert, 2006a, b; Samadi & Liebert, 2007a, b; Dorigam et al., 2014).

Na literatura, existem trabalhos realizados com aves que utilizaram o método de Goettingen para determinar a exigência de lisina (Samadi & Liebert, 2007a), porém não há trabalhos com suínos, o que dificulta a comparação de alguns dos parâmetros avaliados com outros resultados já obtidos. Os avanços genéticos anuais realizados pelos sistemas de seleção, também tornam necessária a constante atualização das exigências nutricionais dos suínos.

Somando a isto, os modelos de determinação da exigência nutricional baseados em dose resposta são estáticos e aplicados apenas para a resposta de desempenho obtida, sendo seu uso limitado em função de repetições contínuas, tornando a pesquisa mais onerosa.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo estimar a exigência de lisina digestível para suínos em crescimento através de ensaios de nitrogênio, considerando o potencial para retenção de nitrogênio, a eficiência dietética da lisina e o consumo de ração.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética para Uso de Animais de Produção (CEUAP) da Universidade Federal de Viçosa (UFV; Minas Gerais, Brasil), com protocolo número 18/2016.

### **2.1 Animais, dietas e alojamento**

Dois experimentos foram realizados a partir de ensaios de balanço de nitrogênio nas instalações da Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Produção e Nutrição de Suínos do Departamento de Zootecnia da UFV. No total, 48 suínos machos castrados (Camborough x AGPIC 337) foram alojados em gaiolas de metabolismo (1,27m de comprimento x 0,56m de largura x 0,75m de altura) compostas de comedouro e bebedouro individuais numa sala com luz e ventilação controlada ( $T^{\circ}C_{\text{Min}} - 18 / T^{\circ}C_{\text{Máx}} - 27$ ).

Foi realizado um ensaio de balanço de nitrogênio para animais com peso médio de  $25,20 \pm 0,24$  kg e outro para animais com peso médio de  $56,08 \pm 0,67$  kg. Para cada ensaio foram utilizados 24 animais. Os suínos foram distribuídos em um delineamento completamente ao acaso, formado por seis tratamentos e quatro repetições cada, repetido no tempo uma vez.

### **2.2 Dietas experimentais**

Os tratamentos consistiram em seis dietas isoenergéticas com diferentes níveis de nitrogênio preparadas pela técnica de diluição, conforme descrito por Fisher e Morris (1970), mantendo constante a relação ideal de todos os nutrientes proposto por Rostagno et al. (2011), exceto para lisina digestível, a qual foi deficiente e limitante as respostas dos suínos às dietas experimentais. Foi formulada uma dieta concentrada (N6) à base de milho, farelo de soja e glúten de milho, com 27,0% de PB, 1,585% de lisina digestível e 3230 kcal de EM e uma dieta isenta em proteína (DIP) à base de amido de milho (Tabela 1). A DIP foi utilizada para diluir a dieta concentrada, através da técnica da diluição e assim, compor os tratamentos com diferentes níveis de proteína bruta (N1 a N5): 6,22; 10,37; 14,53; 18,69 e 22,84% e com 0,365; 0,609;

0,853; 1,097 e 1,341% de lisina digestível respectivamente. As proporções da dieta N6 e da DIP foram: N1=23,03:76,97; N2=38,42:61,58; N3=53,82:46,18; N4=69,21:30,79, N5=84,61:15,39 e N6=100:0. A composição nutricional das dietas experimentais dos ensaios 1 e 2 estão apresentados na tabela 2.

### 2.3 Manejo

Os ensaios de balanço de nitrogênio foram divididos em cinco dias de período de adaptação às dietas experimentais e às gaiolas e dois consecutivos períodos, de cinco dias cada, de coleta quantitativa de fezes e urina, perfazendo-se 8 repetições.

No início do período de adaptação, as dietas foram fornecidas *ad libitum* para estimar o nível de consumo individual. Durante a fase de adaptação foi quantificado o consumo diário de ração e ajustada com base no menor consumo por peso metabólico ( $PC^{0,75}$ ) para ser fornecido durante o período de coleta (Sakomura e Rostagno, 2007). A quantidade de ração fornecida para os animais com peso médio de 25 kg foi de 79,97 g/ $PC_{kg}^{0,75}$  e para os animais com peso médio de 56 kg foi de 89,83 g/ $PC_{kg}^{0,75}$ . Durante o período de coleta, a ração foi fornecida duas vezes ao dia e a água à vontade.

As fezes eliminadas no período de 24 horas foram coletadas duas vezes ao dia (manhã e tarde) para evitar fermentação, pesadas, separadas em sacos plásticos identificados para o respectivo animal e armazenadas em freezer (-20 °C) até o final do período de coleta para posteriores análises.

A urina eliminada pelos animais foi filtrada, recolhida em baldes plásticos contendo 20 mL de solução de HCl (1:1) para evitar a proliferação bacteriana, quantificada e uma fração (150 mL) foi armazenada, diariamente, em recipientes de vidro identificados para o respectivo animal na geladeira (3 °C) até o final do período de coleta para posteriores análises.

### 2.4 Análises químicas

As fezes foram descongeladas e homogeneizadas, posteriormente liofilizadas por 72 horas (50 a -80°C; LP 510, Liotop®). As amostras foram pesadas para quantificar o material pré-seco e assim, moídas em moinho de bola (TE-650, Tecnal®) e armazenadas em potes de plásticos identificados. Da fração total de urina coletada de cada animal foi retirada uma alíquota de 30 mL, mantida sob refrigeração para análise posterior.

O conteúdo total de nitrogênio nas fezes, urinas e dietas foi quantificado seguindo o método Kjeldal (método # 2001.11), de acordo com a AOAC (2002) no destilador de nitrogênio (TE-036/1; Tecnal®). O cálculo de proteína bruta foi baseado no fator 6,25 a partir do conteúdo

de nitrogênio determinado. As composições dos aminoácidos totais das rações foram analisadas por cromatografia líquida (HPLC) no Laboratório da Ajinomoto Biolatina (São Paulo – SP, Brasil).

## 2.5 Modelagem

Para a modelagem da exigência de aminoácido pelo “método de Goettingen” é necessário determinar a exigência do nitrogênio de manutenção (NMR), a qual é uma parte do total de nitrogênio retido (NR), indicando a quantidade de nitrogênio a ser depositada para repor as perdas endógenas via fezes. A NMR (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia) foi obtida pela relação entre o nitrogênio ingerido (NI, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia) e o nitrogênio excretado (NEX, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia), considerando a NMR como o intercepto da função exponencial no eixo Y (NEX) para NI = 0, de acordo com a equação:

$$NEX = NMR (e^{b.NI}) \quad (1.1)$$

O modelo exponencial (1.1) foi ajustado para dados de NEX usando a técnica de otimização não linear (Levenberg-Marquardt) com o SAS (Statistical Analysis System, version 9.1).

Uma vez que o NMR foi estimado é possível calcular o nitrogênio retido (NR). O nitrogênio depositado no corpo foi calculado como a diferença entre o NI e NEX. O NR representa a utilização total de nitrogênio pelo suíno, portanto, foi calculado como: NR = ND + NMR (Sünder et al., 2010).

A máxima retenção teórica de nitrogênio (NR<sub>max</sub>T, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia), é determinada como o valor limite da função entre NI e nitrogênio retido (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia) (equação 1.2), sendo estimada por um processo estatístico após várias interações pelo algoritmo Levenberg-Marquardt até a menor possível soma de quadrados do resíduo. Esse modelo não linear para animais monogástricos em crescimento foi aplicado de acordo com estudos de Samadi & Liebert (2006a, b; 2007a, b).

$$NR = NR_{max}T (1 - e^{-b.NI}) \quad (1.2)$$

$$ND = NR_{max}T (1 - e^{-b.NI}) - NMR \quad (1.3)$$

Onde:

NR = Nitrogênio retido (ND + NMR)

ND = Nitrogênio depositado ou balanço de nitrogênio (NI – NEX)

NI = Nitrogênio ingerido

NMR = Exigência de nitrogênio para manutenção

$NR_{\max T}$  = Máxima retenção teórica de nitrogênio

$b$  = inclinação da curva de retenção de nitrogênio (indicando a qualidade da proteína da dieta, independentemente do nitrogênio ingerido)

$e$  = base do logaritmo natural ( $\ln$ )

O atributo “teórico” é dado a este parâmetro, porque o valor estimado não é atingível em condições práticas, mesmo se os suínos forem criados em perfeitas condições. Entretanto, este é um importante parâmetro dentro do procedimento de modelagem para obter a exigência de aminoácidos (AA) para níveis graduados definidos para fazer uso do máximo teórico dentro do escopo de dados práticos.

Para o cálculo da exigência de lisina, a função exponencial na equação (1.2) foi log transformada. A equação (1.4) gerada pela transformação da equação (1.2) permitiu avaliar a eficiência da proteína na dieta (qualidade da proteína alimentar) independentemente da quantidade de nitrogênio ingerido.

$$b = (\ln NR_{\max T} - \ln(NR_{\max T} - NR)) / NI \quad (1.4)$$

$$NI = (\ln NR_{\max T} - \ln(NR_{\max T} - NR)) / b \quad (1.5)$$

A equação (1.5) calcula o NI necessário para um determinado desempenho (NR) que depende da qualidade da proteína do alimento fornecido ( $b$ ). Baseado na equação (1.5), a ingestão necessária do aminoácido limitante (IAAL) na dieta é estabelecida. A qualidade da proteína alimentar ( $b$ ) é linearmente dependente da concentração do aminoácido limitante na proteína alimentar ( $c$ ) (Samadi & Liebert 2006a, b; 2007a, b). Estudos dose resposta usando a técnica de suplementação que é comumente baseada no princípio fundamental da relação entre o conteúdo do aminoácido limitante na dieta e a resposta do crescimento animal, o qual é também considerado na equação (1.6)

$$IAAL = (\ln NR_{\max T} - \ln(NR_{\max T} - NR)) / 16bc^{-1} \quad (1.6)$$

Onde:

IAAL = ingestão do aminoácido limitante dependendo do desempenho dos suínos e eficiência de utilização do aminoácido limitante ( $\text{mg/kg}^{0,75}$ )

$bc^{-1}$  = inclinação entre a concentração do aminoácido limitante ( $c$ ) e a qualidade da proteína dietética ( $b$ ). Indicando a eficiência de utilização do aminoácido

O número 16 resulta da limitação da concentração de aminoácidos na proteína da dieta ( $\text{g}/16 \text{ g N}$ ).

## 2.6 Análise estatística

Os dados de balanço de nitrogênio foram analisados estatisticamente por uma ANOVA one-way usando o procedimento GLM e foram ajustados a modelos exponenciais usando o procedimento PROC NLIN para modelos não lineares com o pacote estatístico SAS (Statistical Analysis System, versão 9.1).

Em estudos anteriores, um valor médio é geralmente aplicado como “valor de trabalho” para NMR, uma vez que os resultados dentro das faixas de peso médio são semelhantes (Samadi & Liebert, 2008). Assim, para uma abordagem propriamente estatística, o objetivo aqui foi verificar se existem diferenças entre os parâmetros do modelo (NMR,  $NR_{\max}T$  e  $b$ ) e verificar a igualdade dos modelos exponenciais ajustados (1.1) e (1.2) em cada peso médio, utilizando os dados do balanço de nitrogênio.

## 3. RESULTADOS

Os dados referentes aos ensaios (Ensaio 1 e Ensaio 2) de balanço de nitrogênio para suínos em crescimento com peso médio de 25 e 56 kg estão apresentados na Tabela 3. Para suínos com peso médio de 25 kg o NI, NEX e ND aumentaram de forma linear ( $P < 0,05$ ) com o fornecimento gradual de nitrogênio nas dietas, enquanto para os animais com peso médio de 56 kg foram observados aumentos lineares ( $P < 0,05$ ) no NI e NEX e resposta quadrática ( $P < 0,05$ ), para o ND com o aumento dos níveis de nitrogênio dietético.

As regressões entre a ingestão diária de nitrogênio e o total de nitrogênio excretado, dependendo do peso médio, foram ajustadas por funções exponenciais para determinar o NMR (Figuras 1 e 2). Os valores médios das exigências de NMR para suínos em crescimento de 25 e 56 kg foram, respectivamente,  $170,32 \text{ mg/PC}_{\text{kg}}^{0,75}/\text{d}$  e  $204,31 \text{ mg/PC}_{\text{kg}}^{0,75}/\text{d}$ .

Os valores estimados de  $ND_{\max}T$  diminuíram de  $3322,38 \text{ mg/PC}_{\text{kg}}^{0,75}/\text{d}$  para  $1667,45 \text{ mg/PC}_{\text{kg}}^{0,75}/\text{d}$ , respectivamente para suínos com peso médio 25 e 56 kg (Figuras 3 e 4).

Os resultados da modelagem das exigências de lisina digestível para suínos com peso médio de 25 e 56 kg estão apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6. A fim de ajustar os cálculos para condições práticas de desempenho, é sugerido neste trabalho de 50 a 80% do  $ND_{\max}T$  como deposição proteica diária para suínos com peso médio de 25 kg e de 60 a 90% para suínos com 56 kg (Tabelas 5 e 6). As predições foram realizadas a partir de curvas de consumo de ração dependendo do peso médio dos animais.

Em animais com peso médio de 25 kg, as taxas de deposição proteica calculadas em função da variação do percentual do  $ND_{\max}T$  de 50%, 60%, 70% e 80% foram de  $116,77 \text{ g/d}$ ,

140,13 g/d, 163,48 g/d e 186,83 g/d, respectivamente. Já para animais com peso médio de 56 kg, as taxas de deposição proteica foram de 128,16 g/d, 149,52 g/d, 170,88 g/d e 192,24 g/d para variações de  $ND_{maxT}$  de 60 a 90% (Tabela 4).

Para animais com peso médio de 25 kg (Ensaio 1), considerando a deposição proteica relativa a 60% do  $ND_{maxT}$ , a exigência de lisina calculada foi de 14,214 g/d e de 1,236% na dieta, para um consumo diário de 1,15 kg (Tabela 5). Considerando que o maior ND nesse trabalho para o peso médio de 25 kg representou 57,98% do  $ND_{maxT}$ , o valor estimado para exigência de lisina na dieta, com o consumo de 1,15 kg, foi de 1,173%.

Para animais com peso médio de 56 kg (Ensaio 2), considerando a deposição proteica relativa a 60% do  $ND_{maxT}$ , a exigência de lisina calculada foi de 12,380 g/d e de 0,590% na dieta, para um consumo diário de 2,10 kg (Tabela 6). Considerando que o maior ND nesse trabalho para o peso médio de 56 kg representou 88,96% do  $ND_{maxT}$ , o valor estimado para exigência de lisina na dieta, com o consumo de 2,10 kg, foi de 1,325%.

#### 4. DISCUSSÃO

O método de Goettingen tem como princípio a técnica da diluição, onde possibilita a determinação dos valores de NMR,  $ND_{maxT}$ , os quais dependem do genótipo e peso médio dos animais e, a partir desses valores, permite determinar a exigência de lisina digestível para suínos em crescimento, levando em consideração o consumo de ração e o percentual de  $ND_{maxT}$ . A partir disso, a abordagem utilizada foi possível determinar os parâmetros do modelo e estimar a exigência de lisina para diferentes taxas de deposição proteica.

A perda de nitrogênio endógeno no trato digestivo ocorre através da descamação de células epiteliais da mucosa intestinal e mucinas produzidas e secretadas pelas células através do trato gastrointestinal (Scott et al., 1982). O NMR estimado representa a quantidade de nitrogênio a ser consumido para compensar essa perda endógena. Neste estudo, os valores para NMR de 170,31 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d e 204,32 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d, respectivamente determinados para suínos com peso médio de 25 e 56 kg, são inferiores ao valor de 250 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d determinado por Fuller et al. (1989) para suínos com peso médio de 46 kg. Entretanto, diferentemente deste trabalho, para determinar o NMR, Fuller et al. (1989) utilizaram dietas contendo elevado teor de N e cada dieta continha um AA essencial na quantidade ideal e os outros AAs com o dobro da exigência. Assim foram estimados um valor de NMR para cada AA essencial e a soma desses diferentes valores determinou o NMR final.

Em um dos primeiros estudos sobre exigência de lisina digestível para manutenção, Fuller et al. (1989) concluíram que os suínos em crescimento necessitam de  $36 \text{ mg/PC}_{\text{kg}}^{0,75}/\text{d}$  de lisina digestível. Este valor representa o intercepto da relação entre lisina ingerida e nitrogênio depositado, método amplamente utilizado para estimar as exigências de aminoácidos de suínos (NRC, 1998). Utilizando os dados de lisina ingerida e ND coletados no primeiro ensaio, foi estimado o valor de  $39,26 \text{ mg/PC}_{\text{kg}}^{0,75}/\text{d}$  para exigência de lisina digestível para manutenção. Esse resultado é similar aos valores encontrados por Ceron et al. (2013) de  $40,4 \text{ mg/PC}_{\text{kg}}^{0,75}/\text{d}$  e por Roth et al. (2003) de  $38 \text{ mg/PC}_{\text{kg}}^{0,75}/\text{d}$ , utilizando porcas multíparas como modelo experimental.

Diferentemente do NMR, o  $\text{ND}_{\text{maxT}}$  reduziu em quase 50% com o avanço do peso, de  $3322,38 \text{ mg/PC}_{\text{kg}}^{0,75}/\text{d}$  (25 kg) para  $1667,45 \text{ mg/PC}_{\text{kg}}^{0,75}/\text{d}$  (56 kg). Essa redução é evidente com o avanço da idade, pois a taxa de degradação passa a ser superior a taxa de síntese, consequentemente há menor deposição de proteína em animais de maior idade por unidade de tamanho metabólico. A maior capacidade de deposição proteica em animais mais jovens pode estar associada com a melhor utilização do nitrogênio (Zuprizal et al., 1992).

Como a lisina é o aminoácido referência, sua recomendação é necessária para formulação das dietas com base no conceito da proteína ideal. Os níveis de recomendação de lisina digestível nas dietas foram estimados baseados nas porcentagens dos  $\text{ND}_{\text{maxT}}$  e nas estimativas de consumo de ração para suínos com diferentes pesos médios. Os consumos de ração foram estimados baseados nos consumos praticados pelos animais durante os períodos de adaptação e nos consumos determinados por tabelas de recomendações como Rostagno et al. (2017) e pelo NRC (2012).

No ensaio 1 (25 kg) a lisina digestível foi estimada para o  $\text{ND}_{\text{maxT}}$  de 57,98%, correspondendo a necessidade de 13,49 g/d e 1,173% de lisina digestível para um consumo médio de 1,15 kg. Essa estimativa está de acordo com a recomendação de Rostagno et al. (2017; 2011) que estimaram valores médios entre 12,19 g/d a 13,63 g/d de lisina digestível, o que correspondem a concentração de lisina digestível de 1,211% a 1,155%, respectivamente, para os consumos médios de 1,00 kg a 1,18 kg de ração. O modelo utilizado permite que, variando o consumo predito, pode-se alterar a concentração ótima de lisina digestível dietética. Baseado nisto, a recomendação deste trabalho, de lisina referente a 60% do  $\text{ND}_{\text{maxT}}$  para deposição proteica (140,13 g/d), está de acordo com a recomendação do NRC (2012), no qual estima o nível de lisina digestível variando de 1,23% a 0,98% respectivamente para consumos de 0,953 kg a 1,582 kg. Oliveira et al. (2006) trabalhando com diferentes níveis de lisina para suínos machos castrados de 15 a 30 kg determinaram que o nível de 1,10%, com consumo médio de 1,06 kg, proporcionou os melhores resultados de desempenho para os animais. Corroborando

com o presente estudo, Gandra et al. (2012) verificaram melhores resultados para suínos nessa fase com níveis de lisina entre 1,10% e 1,20%. De acordo com Trindade Neto et al. (2005), esta resposta indica maior eficiência do uso dos nutrientes na fase de crescimento dos animais com o aumento da concentração dietética de lisina. Os resultados encontrados nos ensaios para deposição proteica de 60% do  $ND_{max}T$  foram similares ao observados por Trindade Neto et al. (2005).

No ensaio 2 (56 kg), a lisina digestível foi estimada para o  $ND_{max}T$  de 88,96%, correspondendo a necessidade de 27,81 g/d e 1,325% de lisina digestível para um consumo médio de 2,10 kg. Essa estimativa está acima das recomendações da literatura, porém ela foi baseada apenas no grupo de animais que obtiveram o maior ND, não representando a média de desempenho de todos os animais, mas indica o potencial de deposição da genética utilizada para o aumento do nível de lisina digestível na dieta. Rostagno et al. (2017; 2011) estimaram valores médios para lisina digestível entre 20,20 g/d e 21,21 g/d, o que corresponde a 0,865% e 0,916% na dieta, com consumo médio de 2,30 kg de ração, sendo similar a recomendação deste trabalho (20,69 g/d) referente ao  $ND_{max}T$  de 80%. Para animais com peso médio de 60 kg e deposição proteica de 155 g/d, que corresponde as recomendações entre 70% e 80% do  $ND_{max}T$  deste trabalho, o NRC (2012) recomenda 0,91% de lisina digestível, suportando os resultados observados na presente pesquisa. Segundo Friesen et al. (1995) animais com alta taxa de deposição proteica requerem maior concentração de lisina na dieta, devido a maior síntese proteica diária.

## 5. CONCLUSÃO

O procedimento aplicado neste estudo fornece uma avaliação sobre a alteração do potencial de deposição proteica dos animais, dependendo do peso médio. Os dados determinados através do metabolismo de nitrogênio (NMR,  $NR_{max}T$ ) são importantes como base de dados para outras aplicações de modelos, incluindo a modelagem da exigência de aminoácidos, como a lisina, dependendo da deposição diária de proteína, da eficiência do aminoácido limitante da dieta e do consumo diário de ração. Com base nisso e na flexibilidade que o modelo permite, as exigências de lisina digestível estimadas variaram de 1,236% a 1,173% (considerando 60% do  $ND_{max}T$ ) e 1,089% a 0,900% (considerando 80% do  $ND_{max}T$ ), respectivamente, para suínos com peso médio de 25 e 56 kg de alto potencial genético.

## 6. REFERÊNCIAS

- Association of Official Agricultural Chemists [AOAC]. 2002. Official Methods of Analysis of the AOAC. 17ed. AOAC, Rockville, MD, USA.
- Ceron, M. S. Exigências de manutenção e eficiência de deposição de lisina e treonina para suínos. 2013. 83f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- Dorigam, J. C. O., Sakomura, N. K., Hauschild, L., Da Silva, E.P., Bendezu, H. C. P., Fernandes, J. B. K. 2014. Reevaluation of the digestible lysine requirement for broilers based on genetic potencial. *Scientia Agricola*, v.71, n.3, p.195-203.
- Fisher, C.; Morris, T. R. 1970. The determination of the methionine requirement of laying pullets by a diet dilution technique. *British Poultry Science*, v. 11, n. 1, p. 67 - 82,
- Fuller, M. F. et al. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs 2. Requirements for maintenance and for tissue protein accretion. *British Journal of Nutrition*, v. 62, p. 255-267.
- Friesen, K. G., Nelssen, J. L., Goodband, R. D., Tokach, M. D., Unruh, J. A., Kropf, D. H., and Kerr, B. J. 1995. The effect of dietary lysine on growth carcass composition and lipid metabolism in high-lean growth gilts. *Journal of Animal Science* 73, 3392-3401.
- Gandra, E. R. S., Trindade Neto, M. A., Berto, D. A., Budiño, F. E. L., Gandra, F. R., Schammas, E. A. 2012. Digestible lysine levels in diets for pigs from 24 to 50 kg under sanitary segregation. *R. Bras. Zootec.*, v.41, n.9, p.2039-2047.
- Gous, R.M. 1980. An improved method for measuring the response of broiler chickens to increasing dietary concentrations of an amino acid. In: *European Poultry Conference. Proceedings...Hamburg: World's Poultry Science Association. Hamburg*, v.3, p. 32–39.
- Gous, R. M.; Morris, T. R. 1985. Evaluation of a diet dilution technique for measuring the response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. *British Poultry Science*, v.26, p.147–161.
- National Research Council [NRC]. 1998. *Nutrient Requirements of Swine*, 10<sup>th</sup> edition. National Academies Press, Washington, DC, USA.
- National Research Council [NRC]. 2012. *Nutrient requirements of swine*, 11<sup>th</sup> revised edition. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Oliveira, A.L.S.; Donzele, J.L.; Oliveira, R.F.M. et al. 2006. Exigência de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 15 aos 30 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, p.2338-2343.

- Rostagno, H. S., Albino, L.F.T., Donzele, J.L. et al. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa: UFV, 186 p.
- Rostagno, H. S., Albino, L.F.T., Hannas, M.I. et al. 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa: UFV, 488 p.
- Roth, F.X.; Jahn, B.M.; Schönberger, W. 2003. Essential amino acid requirements for maintenance in adult sows. In: Souffrant, W.B.; Metges, C.C. (Ed). Progress in research on energy and protein metabolism. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, p.717-720.
- Sakomura, N. K.; Rostagno, H. S. 2007. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, 238p.
- Samadi; Liebert, F. 2006a. Estimation of nitrogen maintenance requirements and potential for nitrogen deposition in fast-growing chickens depending on age and sex. Poultry Science, v.85, n.8, p.1421-1429.
- Samadi; Liebert, F. 2006b. Modeling of threonine requirement in fast-growing chickens, depending on age, sex, protein deposition, and dietary threonine efficiency. Poultry Science, v.85, n.11, p.1961-1968.
- Samadi; Liebert, F. 2007a. Lysine requirement of fast growing chickens - effects of age, sex, level of protein deposition and dietary lysine efficiency. The Journal of Poultry Science, v. 44, n. 1, p. 63-72.
- Samadi; Liebert, F. 2007b. Threonine requirement of slow-growing male chickens depends on age and dietary efficiency of threonine utilization. Poultry Science, v. 86, n. 6, p. 1140-1148.
- Samadi, Liebert, F., 2008. Modelling the optimal lysine to threonine ratio in growing chickens depending on age and efficiency of dietary amino acid utilization. Br. Poult. Sci. 49, 45–54.
- SAS INSTITUTE Inc. SAS/STAT. User's guide, version 9.1. Cary: SAS Institute, 2005.
- Scott ML, Nesheim MC and Young RJ 1982. Nutrition of the chicken. 3<sup>th</sup> ed. Ithaca New York. Scott ML and Associates.
- Sünder, A., Wecke, C., Liebert, F., 2010. Ergebnisse zur Anwendung eines exponentiellen N-Verwertungsmodells bei der Bewertung des Aminosäurebedarfes für Legehennen modernen Genotyps: schätzung des N-Erhaltungsbedarfes und maximalen N-Retentionsvermögens in der Legespitze. In: Gierus, H. (Ed.), 11th Tagung Schweine Und Geflügelernährung. Universität Halle-Wittenberg, pp. 62–64.

- Trindade Neto, M.A.; Moreira, J.A.; Berto, D.A. et al. 2005. Energia metabolizável e lisina digestível para suínos na fase de crescimento, criados em condições de segregação sanitária. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, p.1980-1989.
- Zuprizal, Labier M and Chagneau AM. 1992. Effect of age and sex on the true digestibility of amino acids of rapessed and soybean meals in growing broilers. *Poultry Science* 71, 1486-1492.

## TABELAS

**Tabela 1** - Composição percentual das dietas experimentais.

Ingredientes	27% PB (N6)	Livre de proteína
Milho (7,88%)	40,730	-
Farelo de soja (45%)	47,380	-
Glúten de milho (60%)	3,000	-
Açúcar	2,000	3,000
Amido	-	82,150
Óleo de soja	1,909	2,500
Fosfato bicálcico	1,257	1,962
Calcário	0,791	0,661
Sal	0,389	0,434
Bicarbonato de sódio	-	0,103
Carbonato de potássio	-	1,767
DL - Metionina (99%)	0,147	-
L - Lisina (79%)	0,397	-
L - Treonina (98%)	0,124	-
L - Valina (96,5%)	0,009	-
Cloreto de colina (60%)	0,100	0,100
Suplemento vitamínico <sup>1</sup>	0,125	0,125
Suplemento mineral <sup>2</sup>	0,125	0,125
Antibiótico	0,010	0,010
BHT <sup>3</sup>	0,010	0,010
Inerte <sup>4</sup>	1,500	7,053

<sup>1</sup>Suplemento vitamínico contendo por kg de ração: Vit. A - 6875 U.I.; Vit. D3 - 1500 U.I.; Vit. E - 40.0 U.I.; Vit. B1 - 1,00 mg; Vit. B2 - 3,13 mg; Vit. B6 - 2,00 mg; Vit. B12 - 0,020 mg; Acido Pantotênico - 15,0 g; Biotina - 0,100 mg; Vit. K3 - 3,00 mg; Ácido Fólico - 0,300 mg; Ácido nicotínico - 30,0 mg.

<sup>2</sup>Suplemento mineral contendo por kg de ração: Ferro - 80,0 mg; Cobre - 12,0 mg; Manganês - 40,0 mg; Zinco - 110 mg; Iodo - 1,00 mg; Selênio - 0,36 mg.

<sup>3</sup>Butil hidroxi tolueno 99%; <sup>4</sup>Caulim.



Fósforo disponível (%) <sup>1</sup>	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Cálcio (%) <sup>1</sup>	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
Sódio (%) <sup>1</sup>	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Potássio (%) <sup>1</sup>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cloro (%) <sup>1</sup>	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
BE (meq/kg) <sup>1</sup>	270,00	270,00	270,00	270,00	270,00	270,00

<sup>1</sup> Valores calculados com base em Rostagno *et al.*, 2011.

<sup>2</sup> Valores analisados.

**Tabela 3:** Peso corporal médio (PC, kg), consumo de ração (CR, kg/d), nitrogênio ingerido (NI, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d), nitrogênio excretado (NEX, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d) e nitrogênio depositado (ND, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/d) de suínos machos em crescimento obtidos em ensaios de balanço de nitrogênio<sup>1,4</sup>

Ensaio 1 (25 kg)									
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	EPM	P-valor	Modelo
PC	25,12	25,18	25,20	25,25	25,23	25,20	1,19	NS	-
CR	0,897	0,899	0,899	0,901	0,900	0,899	2,04	NS	-
NI	760,51	1187,56	1712,16	2372,71	2958,89	3405,12	137	*	L
NEX	247,84	406,97	516,34	650,54	1080,39	1443,07	72	*	L
ND	512,67	780,59	1195,82	1722,17	1878,50	1926,05	86	*	L
Ensaio 2 (56 kg)									
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	EPM	P-valor	
PC	56,01	55,91	56,06	56,28	56,15	56,09	0,67	NS	-
CR	1,839	1,836	1,840	1,845	1,848	1,842	0,02	NS	-
NI	993,52	1410,33	1940,33	2605,07	3251,84	3820,47	147	*	L
NEX	351,60	550,80	855,95	1121,76	1873,41	2393,33	106	*	L
ND	641,92	859,53	1084,38	1483,31	1378,43	1427,14	50	*	Q

<sup>1</sup> As médias dos valores foram obtidas de dois períodos de coleta; <sup>4</sup>Valores calculados dos tratamentos: N1 = 0,365% de Lisina Digestível (Lis. Dig.) 6,22% de proteína bruta (PB), N2 = 0,609% de Lis. Dig. e 10,37% de PB, N3 = 0,853% de Lis. Dig. e 14,53% de PB, N4 = 1,097% de Lis. Dig. e 18,69% de PB, N5 = 1,341% de Lis. Dig. e 22,84% de PB, N6 = 1,585% de Lis. Dig. e 27,00% de PB.

EPM – Erro padrão da média;

NS – Não significativo; \**P* < 0,05.

L – Efeito Linear; Q – Efeito Quadrático

**Tabela 4:** Deposição proteica diária de suínos machos em crescimento, em termos da variação percentual do potencial teórico para deposição proteica (ND<sub>max</sub>T)

	Ensaio 1 (25 kg)	Ensaio 2 (56 kg)
ND <sub>max</sub> T (mg/PC <sub>kg</sub> <sup>0,75</sup> /d)	3322,38	1667,45
Peso médio (kg)	25,20	56,20
	Deposição proteica (g/d) <sup>1</sup>	
50% ND <sub>max</sub> T	116,77	-
60% ND <sub>max</sub> T	140,13	128,16
70% ND <sub>max</sub> T	163,48	149,52
80% ND <sub>max</sub> T	186,83	170,88
90% ND <sub>max</sub> T	-	192,24

<sup>1</sup> Calculado baseado no peso médio

**Tabela 5:** Exigência de lisina digestível para suínos machos em crescimento (25 kg), estimada de acordo com a eficiência de utilização de lisina, deposição de proteína e diferentes consumos de ração

	Ensaio 1 (25 kg)			
ND <sub>max</sub> T	50	60	70	80
Deposição proteica (g/d)	116,77	140,13	163,48	186,83
Eficiência de utilização da lisina (bc <sup>-1</sup> )	47,79 x 10 <sup>-6</sup>			
Exigência de lisina digestível (g/PC <sub>kg</sub> <sup>0,75</sup> /d)	0,972	1,264	1,640	2,170
Exigência de lisina digestível (g/d)	10,931	14,214	18,445	24,410
	Nível ótimo de lisina digestível na dieta (%)			
Consumo de ração diário (kg) <sup>1</sup>				
0,95	1,151	1,496	1,942	2,569
1,05	1,041	1,354	1,757	2,325
1,15	0,951	1,236	1,604	2,123

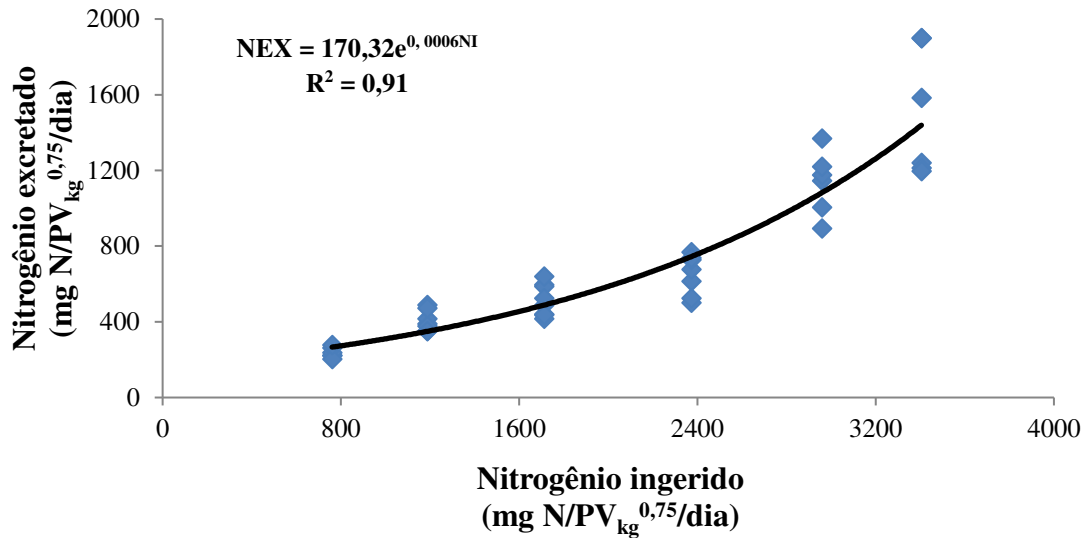
<sup>1</sup> Consumo de ração diário predito baseado no consumo observado durante o período de adaptação

**Tabela 6:** Exigência de lisina digestível para suínos machos em crescimento (56 kg), estimada de acordo com a eficiência de utilização de lisina, deposição de proteína e diferentes consumos de ração

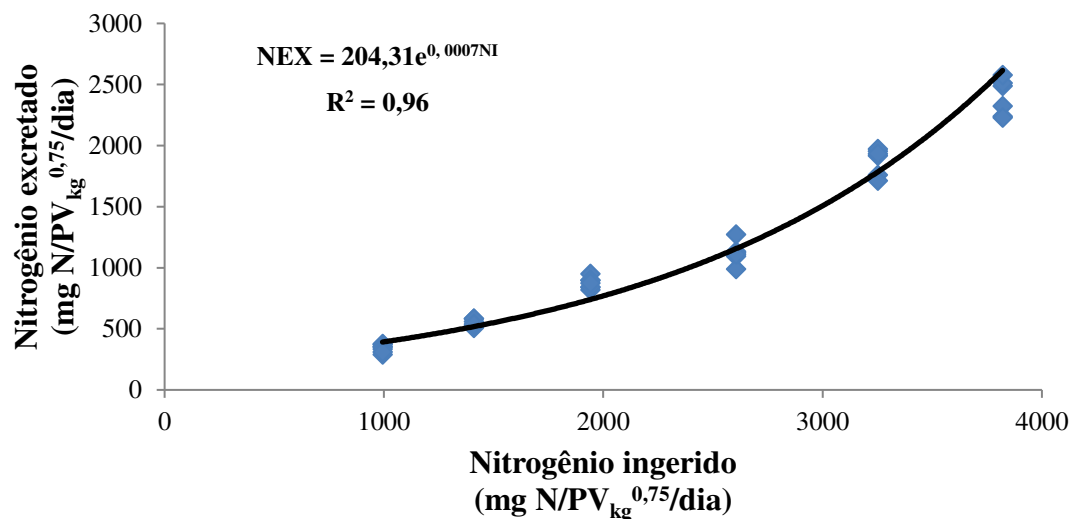
ND <sub>max</sub> T	Ensaio 2 (56 kg)			
	60	70	80	90
Deposição proteica (g/d)	128,16	149,52	170,88	192,24
Eficiência de utilização da lisina (bc <sup>-1</sup> )	10,68 x 10 <sup>-5</sup>			
Exigência de lisina digestível (g/PC <sub>kg</sub> <sup>0,75</sup> /d)	0,604	0,772	1,010	1,415
Exigência de lisina digestível (g/d)	12,380	15,832	20,697	29,012
Nível ótimo de lisina digestível na dieta (%)				
Consumo de ração diário (kg) <sup>1</sup>				
1,90	0,652	0,833	1,089	1,527
2,10	0,590	0,754	0,986	1,382
2,30	0,538	0,688	0,900	1,261

<sup>1</sup> Consumo de ração diário predito baseado no consumo observado durante o período de adaptação

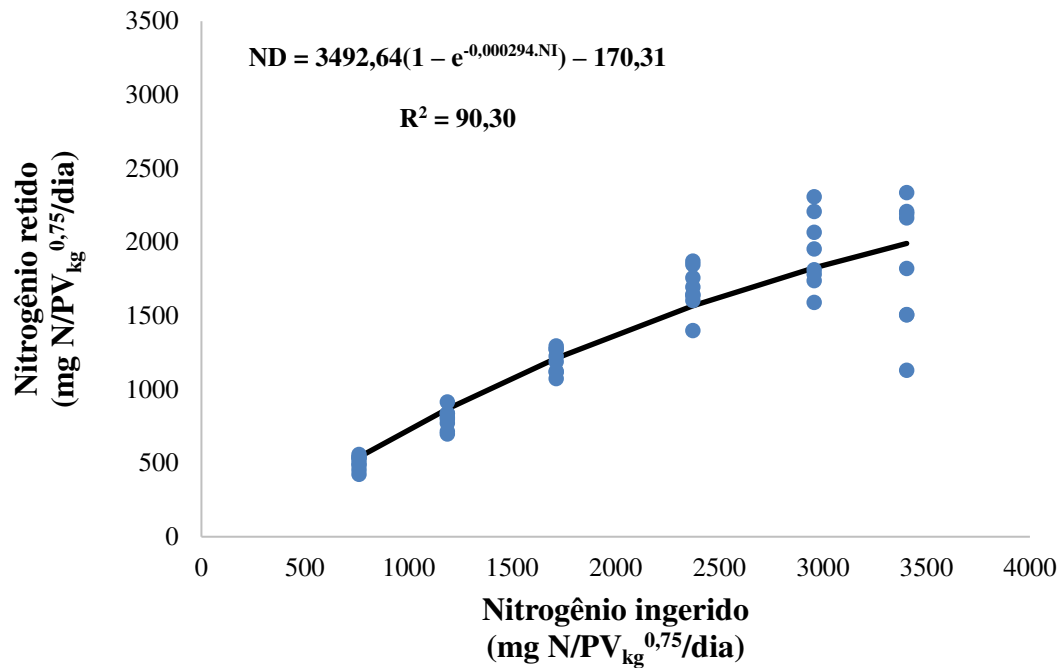
## FIGURAS



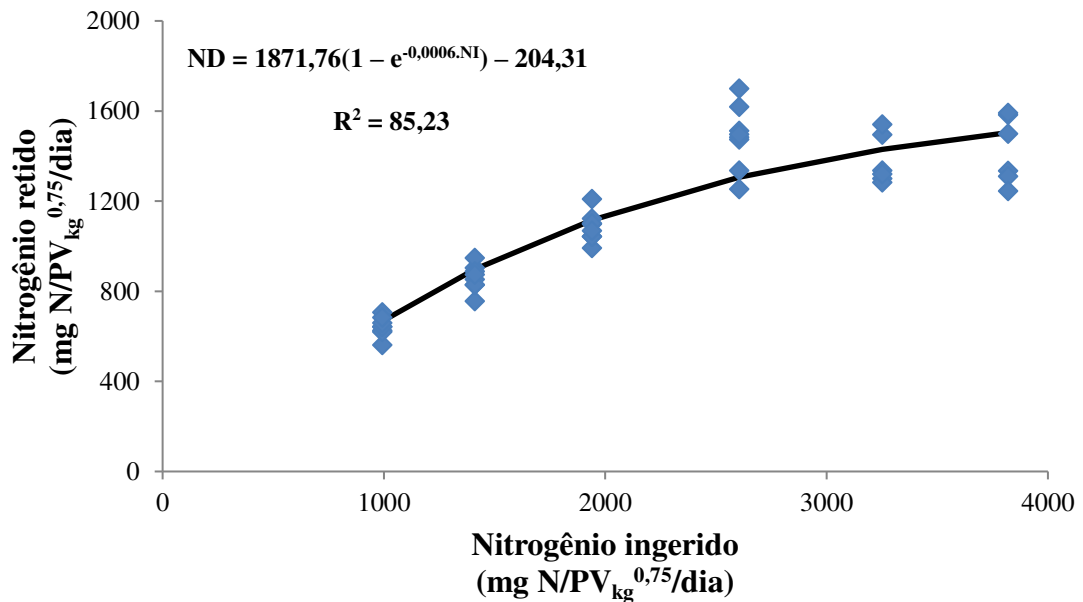
**Figura 1:** Estimativa da exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) pelo ajuste de uma função exponencial entre o nitrogênio ingerido (NI) e nitrogênio excretado (NEX) após o fornecimento gradual de proteína para suínos em crescimento (peso médio de 25 kg); e = base do logaritmo natural



**Figura 2:** Estimativa da exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) pelo ajuste de uma função exponencial entre o nitrogênio ingerido (NI) e nitrogênio excretado (NEX) após o fornecimento gradual de proteína para suínos em crescimento (peso médio de 56 kg); e = base do logaritmo natural.



**Figura 3:** Estimativa do potencial teórico para deposição de nitrogênio (NDmaxT) para suínos em crescimento (peso médio de 25 kg), baseado na relação entre o nitrogênio ingerido (NI) e balanço de nitrogênio (ND).



**Figura 4:** Estimativa do potencial teórico para deposição de nitrogênio (NDmaxT) para suínos em crescimento (peso médio de 56 kg), baseado na relação entre o nitrogênio ingerido (NI) e balanço de nitrogênio (ND).

## Capítulo 2: Relação de proteína ideal para suínos em crescimento baseado em estudos de deleção

### RESUMO

Uma relação ideal de aminoácidos (RIAA) ou proteína de referência é necessária como um perfil padrão para a máxima retenção de nitrogênio (NR) em suínos levando em consideração o nitrogênio depositado (ND) e a eficiência da proteína dietética ( $bc^{-1}$ ). Assim, o objetivo deste estudo foi determinar a relação ótima dos aminoácidos essenciais para suínos em crescimento, através do método de deleção utilizando ensaios de balanço de nitrogênio com suínos machos castrados de alto potencial genético de  $23,81 \pm 2,39$  kg e  $59,48 \pm 0,93$  kg. Em cada um dos ensaios foram utilizados 11 tratamentos com 2 repetições, em dois períodos consecutivos de coletas e um animal por gaiola, totalizando 22 suínos machos castrados (Camborough x AGPIC 337) por ensaio em 4 repetições. Uma dieta balanceada (DB) foi formulada para atender as exigências de todos nutrientes e energia. As outras dietas foram formuladas de forma a deletar 30% o aminoácido (AA) essencial testado em cada tratamento. Cada ensaio consistiu em cinco dias de período de adaptação e 10 dias de coletas de fezes e urina (cinco dias em cada período). O consumo de ração foi determinado a partir do menor consumo por peso metabólico por bloco. O volume de urina e o peso das fezes foram registrados diariamente, e uma parte das amostras foi armazenada para posterior análise de nitrogênio. O NR foi calculado pela soma do ND e do nitrogênio exigido para manutenção (NMR). Em ambos os ensaios, as deleções reduziram o NR dos animais, porém em proporções diferentes para cada AA em cada ensaio. Os valores de  $bc^{-1}$  para cada AA teste foi utilizado para calcular a RIAA. A RIAA ou proteína ideal para suínos com peso médio de 25 kg foi de Lis 100%, Met+Cis 57%, Treo 63%, Trip 18%, Arg 49%, Val 67%, Ile 57%, Leu 109%, Fen+Tir 112% e His 30%. Para suínos com peso médio de 60 kg, a RIAA ou proteína ideal foi de Lis 100%, Met+Cis 57%, Treo 63%, Trip 23%, Arg 55%, Val 63%, Ile 56%, Leu 109%, Fen+Tir 118% e His 33%. Em conclusão, muitas das relações dos AAs essenciais determinadas no presente estudo, usando o método da deleção, foram similares as relações recomendadas em estudos anteriores e podem ser utilizadas para utilização das predições nutricionais para suínos de alto potencial genético em crescimento.

**Palavras chaves:** Suínos em crescimento. Aminoácidos essenciais. Relação ideal. Proteína ideal. Deleção. Balanço de nitrogênio.

## ABSTRACT

An ideal amino acid ratio (IAAR) or reference protein is needed as an ideal profile to maximum nitrogen retention (NR) in pigs taking into the nitrogen deposition (ND) and the dietary efficiency protein ( $bc^{-1}$ ). Thus, the aim of this study was to determine the optimal ratio of essential amino acids for growing pigs through the deletion method using nitrogen balance trials with castrated male pigs (Camborough x AGPIC 337) of  $23.81 \pm 2.39$  kg e  $59.48 \pm 0.93$  kg. Eleven treatments with two replicates, two consecutive collection periods and one animal per cage were used, totaling 22 castrated male pigs per trial, and 4 replicates. A balanced diet (DB) was formulated to meet the requirement of all nutrients. The other diets were formulated in order to delete 30% in each treatment the tested amino acid (AA). Each trial consisted in five days of adaptation period and 10 days of collection of feces and urine (five day in each period). Feed intake was determined from the lowest consumption per metabolic weight per bloc. Urine volume and feces weight were recorded daily, and a portion of the samples were stored for further nitrogen analysis. The NR was calculated by the sum of the ND and the nitrogen maintenance requirement (NMR). In both trials, the deletions reduced the NR of the animals, but in different proportions for each AA and in each trial. The  $bc^{-1}$  values for each AA test were used to calculate the IAAR. The IAAR for growing pigs with average body weight of 25 kg was Lys 100%, Met+Cys 57%, Thr 63%, Trp 18%, Arg 49%, Val 67%, Ile 57%, Leu 109%, Phe+Tyr 112% e His 30%. For growing pigs with average body weight of 60 kg was Lys 100%, Met+Cys 57%, Thr 63%, Trp 23%, Arg 55%, Val 63%, Ile 56%, Leu 109%, Phe+Tyr 118% e His 33%. In conclusion, many of the essential amino acid ratios determined in the present study, using the deletion method, were similar to the recommendations of the ratios presented in previous studies.

**Keywords:** Growing pigs. Essential amino acids. Ideal ratio. Ideal protein. Deletion. Nitrogen balance.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma relação ideal de aminoácidos ou proteína de referência é necessária como um perfil padrão quando se avalia a qualidade de outras proteínas da dieta. Uma vez que o nitrogênio de aminoácidos essenciais também pode ser utilizado na síntese de aminoácidos não essenciais, uma proteína com aminoácidos essenciais em excesso em relação aos aminoácidos não essenciais pode ainda suportar a retenção máxima de nitrogênio. Uma definição mais restrita de uma proteína ideal é aquela que inclui a quantidade mínima de cada um dos aminoácidos essenciais compatíveis com a utilização máxima da proteína como um todo (Wang e Fuller, 1989). Dessa forma, muitas pesquisas buscam determinar qual o ótimo balanço de aminoácidos dietéticos para suínos em crescimento. O ótimo perfil de aminoácidos dietéticos é considerado por ser aquele no qual, para uma dada ingestão de nitrogênio (NI), resulta em maior retenção de nitrogênio (NR).

A exigência de aminoácidos para suínos em crescimento inclui dois componentes, uma exigência para manutenção e uma exigência para deposição proteica. Há evidências de estudos demonstrando que o padrão de exigências de aminoácidos para cada espécie é muito diferente (Dorigam et al., 2016), e que a necessidade total do animal deve, portanto, depender da contribuição relativa do aminoácido para manutenção e para deposição proteica do total necessário (Fuller et. al., 1989).

O desenvolvimento de novas metodologias de determinação das exigências aminoacídicas em animais de produção podem auxiliar no desenvolvimento de modelos matemáticos de predição de exigências. Wang e Fuller (1989) desenvolveram uma abordagem com base em uma dieta completa de aminoácidos elaborada a partir dos pressupostos reais para uma relação de aminoácidos de uma dieta ideal. Esta dieta completa continha suplementação com aminoácidos industriais para cada um dos aminoácidos em estudo para fornecer 100% do nível de exigência assumida. No passo seguinte, o aminoácido em estudo foi suprimido individualmente a partir da dieta completa. Essa supressão ou deleção do aminoácido em estudo é chamada de técnica da deleção. Ambas as respostas foram medidas, com a dieta completa e suprimida, respectivamente. A inclinação observada dos critérios de resposta entre estas dietas foi utilizada para a conclusão de proporções dietéticas ideais entre aminoácidos individuais (Wecke & Liebert, 2013).

Estudos da relação de proteína ideal através do método da deleção permitem em um único ensaio avaliar a relação padrão dos aminoácidos, em menor tempo e custo.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi determinar a relação ideal dos aminoácidos (RIAA) essenciais lisina, metionina + cisteína, treonina, triptofano, arginina, valina, isoleucina, leucina, fenilalanina + tirosina e histidina para suínos em crescimento com pesos médios de 25 e 60 kg, através do método de deleção utilizando ensaios de balanço de nitrogênio.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética para Uso de Animais de Produção (CEUAP) da Universidade Federal de Viçosa (UFV; Minas Gerais, Brasil), com protocolo número 18/2016.

### **2.1 Animais, alojamento e desenho experimental**

Dois experimentos foram realizados a partir de ensaios de balanço de nitrogênio nas instalações da Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Produção e Nutrição de Suínos do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa. No total, 44 suínos (Camborough x AGPIC 337) machos castrados foram alojados em gaiolas de metabolismo. Os ensaios de balanço de nitrogênio foram divididos em cinco dias de adaptação e dois consecutivos períodos de coleta (cinco dias cada). Para cada ensaio foram utilizados 22 animais, com peso médio de  $23,81 \pm 2,39$  kg e  $59,48 \pm 0,93$  kg, respectivamente. Os suínos foram distribuídos em um delineamento em blocos casualizados, formado por 11 tratamentos, duas repetições por tratamento e dois blocos, em um total de 4 repetições por tratamento em cada um dos ensaios.

Os animais foram alojados individualmente em gaiolas de metabolismo compostas de comedouro e bebedouro individuais numa sala com luz e ventilação controlada.

Uma dieta balanceada (DB) foi formulada, para cada peso médio, para atender as exigências nutricionais e a relação ideal dos aminoácidos de acordo com as recomendações de Rostagno et al. (2011) para suínos em crescimento. As dietas experimentais (Tabelas 1 e 2) foram baseadas em milho, farinha de trigo e arroz quirera, isoenergéticas, e atendiam as demais recomendações nutricionais semelhantes a DB e formuladas para manter a relação nitrogênio essencial / nitrogênio total (Ne/Nt) em 53,66% e 65,01%, correspondendo a aproximadamente 15,24% e 14,10% de proteína bruta respectivamente para os animais com peso médio de 25 e 60 kg (Tabelas 3 e 4). Para calcular e manter os níveis de Ne e Nt foram consideradas as

exigências e o conteúdo de N dos aminoácidos essenciais e o conteúdo de N da mistura que continha alanina, glicina e ácido glutâmico em níveis de 20, 20 e 60% respectivamente.

Para compor os tratamentos experimentais foi utilizada a técnica de deleção, a qual consistiu em reduzir da dieta balanceada 30% da exigência do aminoácido teste em cada tratamento, sendo eles: lisina (Lis), metionina + cisteína (Met + Cis), treonina (Treo), triptofano (Trip), arginina (Arg), valina (Val), isoleucina (Ile), leucina (Leu), fenilalanina + tirosina (Fen + Tir) e histidina (His). Porém, no ensaio com peso médio de 25 kg, não foi possível a redução da arginina em 30%, chegando a uma deleção aproximada de 26%. Já no ensaio com peso médio de 60 kg, a deleção da arginina e da leucina foram de 21% e 29% respectivamente.

No início do período de adaptação, as dietas foram fornecidas *ad libitum* para estimar o nível de consumo individual. Durante essa fase de adaptação foi quantificado o consumo diário de ração e o consumo ajustado com base no menor consumo por peso metabólico ( $PC^{0,75}$ ) para ser fornecido durante o período de coleta (Sakomura e Rostagno, 2007). A quantidade de ração fornecida para os animais com peso médio de 25 kg foi de 84,64 g/ $PC_{kg}^{0,75}$  e 85,62 g/ $PC_{kg}^{0,75}$ , respectivamente para os animais de cada bloco. Para os animais com peso médio de 60 kg, a quantidade de ração fornecida foi de 75,59 g/ $PC_{kg}^{0,75}$  e 71,04 g/ $PC_{kg}^{0,75}$  respectivamente para os animais de cada. Durante o período de coleta a ração foi fornecida duas vezes ao dia e a água à vontade.

As fezes eliminadas no período de 24 horas foram coletadas duas vezes ao dia (manhã e tarde) para evitar perda de amônia, pesadas, separadas em sacos plásticos identificados para o respectivo animal e armazenadas em freezer (-20 °C) até o final do período de coleta para posteriores análises.

A urina eliminada pelos animais foi filtrada, recolhida em baldes plásticos contendo 20 mL de solução de HCl (1:1) para evitar a proliferação bacteriana, quantificada e uma fração (150 mL) foi armazenada em recipientes de vidro identificados para o respectivo animal na geladeira (3 °C) até o final do período de coleta para posteriores análises.

## 2.2 Análises químicas

As fezes foram descongeladas e homogeneizadas, posteriormente liofilizadas por 72 horas (-50 a -80°C; LP 510, Liotop®). As amostras foram pesadas para quantificar o material pré-seco e assim, moídas (TE-650, Tecnal®) e armazenadas em potes de plásticos identificados para o respectivo animal. Da fração total de urina coletada de cada animal foi retirada uma alíquota de 30 mL, mantida sob refrigeração para análise posterior.

O conteúdo total de nitrogênio nas fezes, urinas e dietas foi quantificado seguindo o método Kjeldal (método # 2001.11), de acordo com a AOAC (2002) no destilador de nitrogênio (TE-036/1; Tecnal). O cálculo de proteína bruta foi baseado no fator 6,25 a partir do conteúdo de nitrogênio determinado. Os aminoácidos totais das rações experimentais foram analisados pelo método de cromatografia líquida no laboratório da Upscience Brasil (Hortolândia, São Paulo, Brasil).

### 2.3 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram analisados através da análise de variância (ANOVA) unidirecional com o pacote estatístico SAS 9.1, usando o PROC NLIN para ajustar modelos não lineares. O nitrogênio depositado (ND, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/day) foi calculado pela diferença entre o nitrogênio ingerido (NI, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/day) e o nitrogênio excretado (NEX, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/day). O nitrogênio retido (NR, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/day) foi considerado como a soma do ND e do nitrogênio de manutenção (NMR, mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/day). Os valores de NMR considerados foram de 170,32 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia para os animais com peso médio de 23,81 kg e 204,31 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia para os animais com peso médio de 59,48 kg determinados em estudo anteriores (Faria et al., 2018a, b). A qualidade da proteína dietética (b) em cada tratamento foi estimada de acordo com a equação de Samadi e Liebert (2008):

$$b = [\ln \text{NR}_{\text{máxT}} - \ln (\text{NR}_{\text{máxT}} - \text{NR})] / \text{NI} \quad (2.1)$$

Onde  $\text{NR}_{\text{máxT}}$  é a máxima retenção teórica de nitrogênio (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/day). O valor de  $\text{NR}_{\text{máxT}}$  é considerado “teórico”, pois o valor estimado não é atingível em condições práticas, mesmo que os animais sejam criados em perfeitas condições. Entretanto, este é um importante parâmetro usado para modelagem de exigências de aminoácidos (Samadi e Liebert, 2006a, b). Os valores de  $\text{NR}_{\text{máxT}}$  para suínos em crescimento usados nos cálculos foram 3492,70 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia para os animais 25 do ensaio 3 e 1871,76 mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia, respectivamente para animais de 25 e 60 kg, ambos valores também estimados por Faria et al. (2018a, b).

A qualidade da proteína alimentar (b) e a concentração (c) do aminoácido limitante (AAL) na dieta foram diretamente utilizados para determinar a eficiência de utilização do AAL (bc<sup>-1</sup>), a qual somente é válida quando o aminoácido está em posição limitante. Usando este procedimento para avaliar a relação ótima dos aminoácidos, somente são permitidas comparações dentro da mesma faixa de peso médio, pois o valor de  $\text{NR}_{\text{máxT}}$  varia de acordo com o peso e afeta o valor de bc<sup>-1</sup> estabelecido (Samadi e Liebert, 2008). A relação entre a eficiência da lisina (aminoácido referência) e a eficiência do AAL em estudo é utilizada para

derivar as relações ideais dos aminoácidos (RIAA), de acordo com a seguinte equação (Wecke e Libert, 2013):

$$\text{RIAA} = bc_{\text{Lis}}^{-1} : bc_{\text{AAL}}^{-1} \quad (2.2)$$

### 3. RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de balanço de nitrogênio para suínos com peso médio de 25 e 60 kg estão apresentados nas tabelas 5 e 6. Dos dados obtidos foram derivados os valores de *b* (qualidade da proteína), *c* (concentração do aminoácido na proteína da dieta),  $bc^{-1}$  (eficiência de utilização do aminoácido), bem como a relação ideal dos aminoácidos (RIAA) essenciais com a lisina como aminoácido referência.

Em ambos os ensaios, menores valores absolutos no balanço de nitrogênio foram obtidos com os tratamentos onde houve deleção dos aminoácidos comparados com a dieta basal, com exceção do tratamento com deleção de valina no ensaio com peso médio de 60 kg.

Observa-se que, para os animais com peso médio de 25 kg, o efeito da deleção reduziu a retenção de nitrogênio (NR), porém essa redução variou em função de cada AA. Com as deleções dos AAS as retenções de nitrogênio foram menores, sendo verificados os percentuais de ND de 84, 81; 88, 89, 78, 90, 86, 81, 79 e 95%, respectivamente, para os aminoácidos, Lis, Met + Cis, Treo, Trip, Arg, Val, Ile, Leu, Fen + Tir e His. A deleção reduziu quantitativamente a qualidade da proteína (*b*) para todos os AAS, sendo verificado em percentual a dieta basal os valores de 83 para Lis, 85 para Met + Cis, 87 para Treo, 90 para Trip, 81 para Arg, 88 para Val, 85 para Ile, 81,8 para Leu, 80 para Fen + Tir e 97 para His; confirmando, portanto, a posição limitante dos aminoácidos em estudo.

Utilizando as eficiências de utilização individual dos aminoácidos apresentadas na Tabela 5, os resultados das relações ideais dos aminoácidos (RIAA) foram de Lis 100%, Met + Cis 57%, Treo 63%, Trip 18%, Arg 49%, Val 67%, Ile 57%, Leu 109%, Fen + Tir 112% e His 30% para animais com peso médio de 25 kg.

No ensaio realizado com suínos com peso médio de 60 kg, o efeito da deleção também reduziu a retenção de nitrogênio dos animais, porém em menor proporção comparado às reduções na deposição de nitrogênio verificadas com animais de peso médio de 25 kg e, com exceção do tratamento onde houve deleção da valina, o qual não apresentou redução no NR. Com as deleções dos AAS as retenções de nitrogênio foram menores, sendo verificados os percentuais de ND de 96, 98, 97; 82, 84, 93, 91, 84 e 95, respectivamente, para os aminoácidos, Lis, Met + Cis, Treo, Trip, Arg, Ile, Leu, Fen + Tir e His.

Para animais de 60 kg de peso vivo médio, a deleção não reduziu quantitativamente a qualidade da proteína (*b*) para os aminoácidos Met + Cis e Val, os quais apresentaram a qualidade da proteína de 100 e 106% em relação a dieta basal. Os demais aminoácidos apresentaram a qualidade da proteína em relação percentual a dieta basal de 91 para Lis, 95 para Treo, 79 para Trip, 80 para Arg, 88 para Ile, 89 para Leu, 81 para Fen + Tir e 99 para His; confirmando, portanto, a posição limitante dos aminoácidos em estudo.

Utilizando as eficiências de utilização individual dos aminoácidos apresentadas na Tabela 6, os resultados das relações ideais dos aminoácidos (RIAA) foram de Lis 100%, Met + Cis 57%, Treo 63%, Trip 23%, Arg 55%, Val 63%, Ile 56%, Leu 109%, Fen + Tir 118% e His 33% para animais com peso médio de 60 kg.

#### 4. DISCUSSÃO

O modelo utilizado neste estudo foi aplicado como forma alternativa de prever a relação ideal dos aminoácidos (RIAA) essenciais para suínos em crescimento, considerando os resultados quantitativos de desempenho (ND e NR) e as eficiências dos aminoácidos ( $bc^{-1}$ ) observadas com a deleção individual destes nas dietas. Apesar de se ter fornecido para os animais dietas contendo deficiência individual de aminoácidos, isso não prejudicou o consumo de ração dos animais durante todo o período experimental. Os consumos foram regulados de acordo com o menor consumo por peso metabólico obtido em cada bloco, sendo essa a causa possível dos consumos, em cada fase, serem menores que os consumos médios normalmente praticados por animais com peso médio de 25 e 60 kg.

Apesar de as deleções para Arg no ensaio com animais de 25 kg e para Arg e Leu no ensaio com animais de 60 kg não terem atingido 30%, Wang e Fuller (1989) determinaram que a deleção de pelo menos 20% do aminoácido em estudo era suficiente para torná-lo, por sua vez o primeiro aminoácido limitante na dieta.

Como as dietas experimentais de ambos os ensaios foram formuladas com teores de proteína bruta (PB) reduzidos em 15,24% e 14,10% do recomendado por Rostagno et al. (2011), de 19,24 e 17,07%, respectivamente para animais com peso médio entre 30 e 50 e 50 e 70 kg, as relações de N essencial (Ne) e N total (Nt) foram levadas em consideração, com o intuito de não influenciar o uso do aminoácido essencial para suprir as demandas de aminoácidos não essenciais e conseqüentemente os resultados, e garantir a eficiência na utilização da proteína.

No ensaio de 25 kg, o declínio nos valores de *b* das dietas limitantes em AAs em comparação com o valor de *b* obtido da dieta balanceada, como apresentado na Tabela 5, válida

a posição limitante do AA em estudo como sugerido por Wecke e Liebert (2013). O valor de  $b$  no tratamento no qual a histidina foi o AA limitante foi mais próximo do valor de  $b$  da dieta balanceada, pois o NEX nesse tratamento foi inferior aos demais, proporcionando ao ND e conseqüentemente ao NR valores próximos dos valores obtidos pela DB. Porém, quantitativamente, a deleção da His nesse ensaio promoveu redução no valor de  $b$ , o que não interferiu no cálculo da RAAI.

No ensaio 60 kg, nem todos os valores de  $b$  das dietas limitantes em AAs apresentaram declínios em comparação ao valor de  $b$  obtido pela dieta balanceada. O tratamento no qual a His foi o AA limitante, mais uma vez, apresentou menor redução no valor de  $b$  em comparação ao valor de  $b$  da dieta balanceada, mas neste caso o fator determinante foi o NI, que neste tratamento foi o segundo menor em valor absoluto. Já nos tratamentos onde Met + Cis e Val foram os AAs limitantes, neste ensaio, os valores de  $b$  foram numericamente superiores ao valor de  $b$  obtido pela dieta balanceada. Isto ocorreu em função de os valores de NI e NEX para ambos os tratamentos terem sido os menores obtidos, o que conseqüentemente aumentou o valor de  $b$  em cada tratamento. Porém em todos estes casos, os valores de RAAI foram estabelecidos.

Segundo Baldwin (1976), cada parâmetro estimado por modelos matemáticos utilizados na suinocultura apresenta uma determinada imprecisão, pois os princípios biológicos são estruturados com base em informações disponíveis e não no real estado do sistema biológico animal. Assim, os modelos são uma aproximação da realidade, embora, permitam acessar de forma dinâmica e quantitativa o complexo sistema biológico.

As RIAA essenciais estimadas estão próximas do perfil ideal de AA preconizado por Rostagno et al. (2011 e 2017), exceto para Arg:Lis no ensaio com animais de 60 kg que foi de 55%, Leu:Lis em ambos os ensaios que foi de 109% e Fen+Tir:Lis que foi de 112% e 118%, respectivamente, para animais com peso médio de 25 e 60 kg. O valor encontrado neste trabalho para RIAA de Arg para suínos com peso médio de 60 kg extrapola os dados encontrados na literatura, porém este fato foi devido a sua não deleção em 30%, pois se a concentração deste AA na dieta ( $c$ ) fosse menor, a relação  $bc^{-1}$  da Arg seria maior, o que reduziria a relação  $bc_{Lis}^{-1}$ :  $bc_{Arg}^{-1}$ . Além de a Arg possuir importante função na síntese de ácido úrico, o antagonismo existente esse AA e a Lis aumenta a arginase renal induzindo a quebra da Arg (Silva et al., 2012). Essa é uma possível explicação para o valor da relação Arg:Lis no ensaio com animais de 25 kg (49%) ter sido superior ao encontrado na literatura (42 a 46%), porém esse valor está próximo da relação determinada pelo NRC (2012) de 46%. Wang e Fuller (1989) em uma série

de experimentos utilizando a técnica de deleção de aminoácidos, para avaliar a relação ideal de aminoácidos na dieta, determinaram que as relações de Leu:Lis e Fen+Tir:Lis para suínos em crescimento foi de 120 e 110%, respectivamente. No sistema de avaliação de alimentos dinamarquês (Danish Nutrient Standards, 2014) as relações ideais para estes AAs extrapolam os 100%, sendo obtidos valores de 103% para Leu:Lis e 116% para Fen+Tir:Lis, demonstrando que os valores encontrados neste trabalho para estes AAs estão de acordo com os níveis praticados.

Apesar das relações de Met + Cis:Lis para ambos os ensaios estarem de acordo com os resultados encontrados na literatura para suínos em crescimento (Rostagno et al., 2017; NRC, 2012; Rostagno et al., 2011), é importante destacar que nestes trabalhos não foi fornecido Cis (cisteína) nas dietas resultando em menor relação Cis:Met (aproximadamente 25:75). As exigências de Met + Cis foram estabelecidas com base em que um mínimo de 50% dos aminoácidos sulfurosos deve ser suprido por Met (metionina) (Rostagno et al., 2017). Porém, Cis pode ser considerada como um aminoácido semi-essencial, pois pode ser sintetizada pelos animais a partir da Met (Yin et al., 2016). Além disso, o cumprimento da exigência de aminoácidos sulfurosos não pode ser feito somente pela soma desses dois aminoácidos, pois Met não pode ser sintetizada a partir da Cis (Boisen et al., 2000). Assim sendo, mesmo que a relação Cis:Met destes estudos tenha sido menor que 50:50, isto não inviabilizou as respostas encontradas. Inúmeros trabalhos (Yi et al., 2006; Gaines et al., 2005; Lawrence et al., 2005; Gaines et al., 2004a, b) foram desenvolvidos para avaliar a melhor relação Met+Cis:Lis e encontraram valores similares para suínos em crescimento, com peso médio variando de 8 a 68 kg, de 57 a 61%.

Assim como Met e Cis, Fen e Tir seguem o mesmo conceito, no qual o primeiro deve suprir também um mínimo de 50% das necessidades dos suínos (Rostagno et al., 2017).

A Treo em deficiência resulta em reduções no crescimento e na eficiência dos suínos, em comparação com as deficiências dos outros principais AAs. Neste estudo, as relações encontradas de Treo:Lis para suínos em crescimento estão de acordo com as relações determinadas na literatura (Rostagno et al., 2017; NRC, 2012; Rostagno et al., 2011), os quais recomendam de 61% a 65% para suínos com peso médio de até 70 kg. Os valores obtidos no presente trabalho corroboram com pesquisas realizadas para determinar a relação Tre:Lis que proporcionaria melhor desempenho animal. Van Milgen e Le Bellego (2003) em um estudo de meta-análise concluíram que a relação ótima de Treo:Lis varia de 58% para 65% respectivamente para suínos com peso médio de 15 e 110 kg. Wecke e Liebert (2010) em

estudos utilizando ensaios de balanço de N determinaram que a relação ótima Treo:Lis é de 61% para suínos de 30 a 110 kg.

Quando se trata em determinar qual a ótima relação Trp:Lis para suínos há uma série de divergências, pois é difícil conduzir pesquisas sobre essa relação. Isso se deve ao fato de que as taxas de inclusão deste AA são relativamente baixas e as faixas dos níveis testados serem também limitantes, consequentemente dificultando a elaboração de dietas testes. Além de ser um aminoácido difícil de analisar, existe discordância na quantidade de Trp presente nos principais ingredientes básicos utilizados nas pesquisas, o que pode afetar os níveis calculados nas dietas testes. Na literatura (Rostagno et al., 2017; NRC, 2012; Rostagno et al., 2011), a relação ideal recomendada para Trp:Lis apresenta variação de 17% a 20% para suínos em crescimento. Essa relação estaria de acordo com o valor encontrado neste trabalho para suínos com peso médio próximo a 25 kg, porém inferior a relação encontrada para suínos com peso médio próximo a 60 kg. Simongiovanni et al. (2012) determinaram que a relação ótima de Trp:Lis para suínos entre 7 e 25 kg varia de 17% a 22%. Complementamente a isso, Simongiovanni et al. (2013) determinaram que, para suínos entre 25 e 120 kg, a relação ótima varia entre 17 e 21%, existindo divergências quanto aos valores encontrados.

Os AAs de cadeia ramificada (BCAA) tais como Leu, Ile e Val apresentam estrutura química semelhante e em função disso competem umas com as outras pelas mesmas enzimas que catalisam as duas primeiras etapas catabólicas (Langer et al. 2000). O excesso de Leu na dieta aumenta os níveis de desidrogenase cetona de cadeia ramificada, aumentando o catabolismo de Ile e Val e, consequentemente, as necessidades nutricionais desses dois AAs (Wiltafsky et al., 2010). Em ambos os ensaios não foi observado efeito negativo do antagonismo nos tratamentos sob os consumos de ração onde houveram as deleções de Ile e Val, uma vez que os consumos foram próximos do consumo do tratamento com deleção de Leu. Neste estudo, as relações de Val:Lis e Ile:Lis foram determinadas em, respectivamente, 67% e 57% para animais de 25 kg e 63% e 56% para animais de 60 kg, as quais foram similares, porém com uma variação, às relações determinadas na literatura (Rostagno et al., 2017; NRC, 2012; Rostagno et al., 2011) de 65% a 69% para Val e 52% a 55% para Ile. Wiltafsky et al. (2009) determinaram que, para suínos com peso médio entre 8 a 25 kg a relação ótima de Val:Lis que proporciona melhor desempenho está na faixa de 65% a 67%. Parr et al. (2003) trabalharam com diferentes níveis de suplementação de Ile digestível para suínos com peso médio de 25 a 45 kg e encontraram que, o melhor ganho de peso dos animais foi obtido quando utilizado

0,54% de Ile digestível numa dieta com 0,95% de Lis digestível, ou seja, uma relação ideal Ile:Lis de 57%.

As relações His:Lis ideais determinadas neste estudo de 30% e 33%, respectivamente para animais com peso médio de 25 e 60 kg, também estão próximas das relações de 33 e 34% recomendadas, respectivamente, por Rostagno et al. (2017 e 2011) e NRC (2012) para suínos em crescimento. Apesar da relação do ensaio com peso médio de 25 kg ter sido um pouco inferior, Boisen et al. (2000) fizeram uma avaliação de diferentes trabalhos e mostraram relações determinadas anos atrás de todos os 10 AAs essenciais para suínos em crescimento, dentre eles a His. Dentre os trabalhos apresentados, a faixa da relação ideal His:Lis variou de 26% (INRA, 1984) até 36% (Rhone-Poulenc, 1993).

As informações de determinação das RIAA essenciais para suínos, utilizando o balanço de nitrogênio, ainda são escassas na literatura, porém esta metodologia permite maior facilidade, rapidez e redução dos custos na obtenção de resultados que no futuro poderão ser utilizadas em modelos com inserção de outras variáveis.

## 5. CONCLUSÃO

Em conclusão, muitas das relações determinadas no presente estudo, utilizando o método da deleção, foram semelhantes às recomendações das relações apresentadas em estudos anteriores. As relações de proteína ideal determinadas no presente estudo podem ser utilizadas como referência para programas de arraaçamento e utilizadas em novas pesquisas adicionando componentes para avaliação da proteína ideal em diferentes condições como estresse ambiental ou desafio sanitário que permitirão melhor entendimento das relações dos aminoácidos e exigências nutricionais dos suínos.

## 6. REFERÊNCIAS

- Association of Official Agricultural Chemists [AOAC]. 2002. Official Methods of Analysis of the AOAC. 17ed. AOAC, Rockville, MD, USA.
- Boisen S, Hvelplund T, Weisbjerg MR. 2000. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livest Prod Sci.* 64(2–3):239–251.
- Baldwin, R. L. 1976. Principles of modelling animal systems. *Proceeding New Zealand*, v. 36, p. 128-139.

- Danish Nutrient Standards. 2014. Nutrient requirements standards, 19<sup>th</sup> revised edition. Pig Research Centre, Denmark.
- Dorigam, J. C. O., Sakomura, N. K., Sarcinelli, M. F., Gonçalves, C. A., de Lima, M. B., Peruzzi, N. J. 2016. Optimal in-feed amino acid ratio for broiler breeder hens based on deletion studies. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101 (6), 1194 - 1204.
- Faria, B. D.; Toledo, L. T.; Rodrigues, G. A. et al. Lysine requirements for pigs with 56kg based on genetic potential. In: *Zootecnia Brasil 2018, 2018a*, Goiânia. Anais... Goiânia: Associação Brasileira de Zootecnia.
- Faria, B. D.; Rodrigues, G. A.; Toledo, L. T. et al. Lysine requirements for pigs with 25kg based on genetic potential. In: *Zootecnia Brasil 2018, 2018b*, Goiânia. Anais... Goiânia: Associação Brasileira de Zootecnia.
- Fuller, M. F. et al. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs 2. Requirements for maintenance and for tissue protein accretion. *British Journal of Nutrition*, v. 62, p. 255-267.
- Gaines, A.M., G.F. Yi, B.W. Ratliff, P. Srichana, G.L. Allee, C.D. Knight, and K.R. Perryman. 2004a. Estimation of the true ileal digestible sulfur amino acid:lysine ratio for early finishing gilts weighing 45 to 68 kilograms. *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 1): 577 (Abstr.).
- Gaines, A.M., G.F. Yi, B.W. Ratliff, P. Srichana, G.L. Allee, C.D. Knight, and K.R. Perryman. 2004b. Estimation of the true ileal digestible sulfur amino acid:lysine ratio for growing pigs weighing 29 to 45 kilograms. *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 1): 576 (Abstr.).
- Gaines, A. M., G. F. Yi, B. W. Ratliff, P. Srichana, D. C. Kendall, G. L. Allee, C. D. Knight, and K. R. Perryman. 2005. Estimation of the ideal ratio of true ileal digestible sulfur amino acids:lysine in 8- to 26-kg nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 83: 2527-2534.
- INRA, 1984. *The Diet of Non-Ruminant Animals: Pigs, Rabbits and Poultry*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 282 p.
- Langer, S., Scislowski, P. W. D., Brown, D. S., Dewey, P., & Fuller, M. F. 2000. Interactions among the branched-chain amino acids and their effects on methionine utilization in growing pigs: Effects on plasma amino- and keto-acid concentrations and branched-chain keto-acid dehydrogenase activity. *British Journal of Nutrition*, 83, 49–58.
- Lawrence, K.R., C.N. Groesbeck, R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.M. DeRouchey, J.L. Nelssen and C.R. Neill. 2005. Evaluation of the true ileal digestible (TID) total sulfur

- amino acid (TSAA) to lysine ratio for finishing pigs weighing 33 to 60 kg. *J. Anim. Sci.* 83 (Suppl. 2):66 (Abstr).
- NRC (National Research Council). 2012. Nutrient requirements of swine, 11<sup>th</sup> revised edition. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Parr, T. M., B. J. Kerr, and D. H. Baker. 2003. Isoleucine requirement of growing (25 to 45 kg) pigs. *J. Anim. Sci.* 81:745-752.
- Rhone–Poulenc, 1993. Rhodimet Nutrition Guide, 55 p.
- 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: UFV, 2011. 186 p.
- Rostagno, H. S., Albino, L.F.T., Hannas, M.I. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa: UFV, 2017. 488 p.
- Sakomura, N. K.; Rostagno, H. S. 2007. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, 238p.
- Samadi; Liebert, F. 2006a. Estimation of nitrogen maintenance requirements and potential for nitrogen deposition in fast-growing chickens depending on age and sex. *Poultry Science*, v.85, n.8, p.1421-1429.
- Samadi; Liebert, F. 2006b. Modeling of threonine requirement in fast- growing chickens, depending on age, sex, protein deposition, and dietary threonine efficiency. *Poultry Science*, v.85, n.11, p.1961- 1968.
- Samadi, Liebert, F., 2008. Modelling the optimal lysine to threonine ratio in growing chickens depending on age and efficiency of dietary amino acid utilization. *Br. Poult. Sci.* 49, 45–54, <http://dx.doi.org/10.1080/00071660701821667>.
- SAS INSTITUTE Inc. SAS/STAT. User's guide, version 9.1. Cary: SAS Institute, 2005.
- Silva, L.M.G.S.; Murakami, A.E.; Fernandes, J.I.M.; Dalla Rosa, D.; Urgnani, J.F. 2012. Effects of dietary arginine supplementation on broiler breeder egg production and hatchability. *Revista de Ciência Avícola*, 14: 276-273.
- Simongiovanni A, Corrent E, Le Floc'h N, van Milgen J. 2012. Estimation of the tryptophan requirement in piglets by meta-analysis. *Animal*. 6:4:594–602.
- Simongiovanni A, Corrent E, Le Floc'h N, van Milgen J. 2013. Tryptophan requirement in growing pigs determined by meta-analysis. *Journées Recherche Porcine*. 45:163-164.
- Van Milgen, J. and L. LeBellego. 2003. A meta-analysis to estimate the optimum threonine to lysine ratio in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81 (Suppl. 1):553 (Abstr.).

- Wang, T. C.; Fuller, M. F. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs: I. experiments by amino acid deletion. *British Journal of Nutrition*, v. 62, p. 77 – 89.
- Wecke, C., and F. Liebert. 2010. Optimal dietary lysine to threonine ratio in pigs (30–110 kg BW) derived from observed dietary amino acid efficiency. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 94 (6):e277-85.
- Wecke, C. and Liebert, F. 2013. Improving the reliability of optimal in-feed amino acid ratios based on individual amino acid efficiency data from N balance studies in growing chicken. *Animals*, v. 3, p. 558 – 573.
- Wiltafsky, M. K., B. Schmidlein, and F. X. Roth. 2009. Estimates of the optimum dietary ratio of standardized ileal digestible valine to lysine for eight to twenty-five kilograms of body weight pigs. *J. Anim. Sci.* 87:2544-2553.
- Wiltafsky, M. K., Pfaffl, M. W., & Roth, F. X. 2010. The effects of branched-chain amino acid interactions on growth performance, blood metabolites, enzyme kinetics and transcriptomics in weaned pigs. *British Journal of Nutrition*, 103, 964–976.
- Yi, G. F., A. M. Gaines, B. W. Ratliff, P. Srichana, G. L. Allee, K. R. Perryman, and C. D. Knight. 2006. Estimation of the true ileal digestible lysine and sulfur amino acid requirement and comparison of the bioefficacy of 2-hydroxy-4-(methylthio)butanoic acid and DL-methionine in eleven- to twenty-six-kilogram nursery pigs. *J Anim Sci* 84:1709-1721.
- Yin, J.; Ren, W.; Yang, G.; Duan, J.; Huang, X.; Fang, R.; Li, C.; Li, T.; Yin, Y.; Hou, Y.; Kim, S. W.; Wu, G. 2016. L-Cysteine metabolism and its nutritional implications. *Mol. Nutr. Food Res.* 60, 134-146.

**Tabela 1** - Composição percentual das dietas experimentais com base na deleção individual dos aminoácidos para os animais com peso médio de 25 kg

Ingredientes	Composição percentual, %										
	T11 (DB)	T1 (Lis)	T2 (Met+Cis)	T3 (Treo)	T4 (Trip)	T5 (Arg)	T6 (Val)	T7 (Ile)	T8 (Leu)	T9 (Fen + Tir)	T10 (His)
Milho	55,36	55,36	55,36	55,36	55,36	55,36	55,36	55,36	55,361	55,36	55,36
Farinha Trigo	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Arroz Quirera	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Óleo	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Calcário Calcítico	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
Fosfato Bicálcico	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Sal	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Lisina HCl	1,10	0,71	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
DL-Metionina	0,32	0,32	0,15	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
L-Treonina	0,45	0,45	0,45	0,25	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
L-Triptofano	0,14	0,14	0,14	0,14	0,08	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
L-Arginina	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,00	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
L-Valina	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,22	0,45	0,45	0,45	0,45
L-Isoleucina	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,17	0,35	0,35	0,35
L-Leucina	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,11	0,43	0,43
L-Fenilalanina	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,532	0,53	0,22	0,53
L-Histidina	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,09

<b>Mistura<sup>2</sup></b>	5,67	6,02	5,78	5,83	5,72	5,79	5,85	5,80	5,89	5,84	5,81
<b>Premix<sup>1</sup></b>	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
<b>Inerte</b>	0,00	0,04	0,06	0,04	0,01	0,00	0,04	0,04	0,09	0,14	0,00
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

<sup>1</sup>Conteúdo (%): Bicarbonato de sódio = 0,28; Carbonato de potássio = 0,48; Suplemento mineral = 0,13; Suplemento vitamínico = 0,13; Cloreto de colina = 0,10; Antibiótico (Tilosina) = 0,01; Antioxidante (BHT) = 0,01; \*Suplementação de Vitamina e Mineral por kg de dieta: vitamina A, 6875 UI; vitamina D<sub>3</sub>, 1500 UI; vitamina E, 40 UI; vitamina K<sub>3</sub>, 3,00 mg; vitamina B<sub>1</sub>, 1,00 mg; vitamina B<sub>2</sub>, 3,13 mg; ac. nicotínico, 30 mg; ac. pantotênico, 15 mg; vitamina B<sub>6</sub>, 2,00 mg; vitamina B<sub>12</sub>, 0,02 mg; ac. fólico, 0,30 mg; biotina, 0,10 mg; colina, 200 mg; cobre, 12 mg; ferro, 80 mg; iodo, 1,00 mg; manganês, 40 mg; selênio, 0,36 mg; zinco, 110 mg. <sup>2</sup>Na mistura contém: alanina, glicina e ácido glutâmico em níveis de 20, 20 e 60% respectivamente.

**Tabela 2** - Composição nutricional das dietas experimentais considerando a deleção individual dos aminoácidos para os animais com peso médio de 25 kg\*

	<b>T11</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T9</b>	<b>T10</b>
	<b>(DB)</b>	<b>(Lis)</b>	<b>(Met + Cis)</b>	<b>(Treo)</b>	<b>(Trip)</b>	<b>(Arg)</b>	<b>(Val)</b>	<b>(Ile)</b>	<b>(Leu)</b>	<b>(Fen + Tir)</b>	<b>(His)</b>
<b>EM (kcal/kg)<sup>1</sup></b>	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230
<b>Nutrientes, %</b>											
<b>Proteína Bruta<sup>1/2</sup></b>	15,24/ 17,59	15,24/ 18,12	15,24/ 16,15	15,24/ 17,39	15,24/ 17,09	15,24/ 16,75	15,24/ 17,79	15,24/ 17,25	15,24/ 16,77	15,24/ 16,72	15,24/ 17,17
<b>Lisina dig.<sup>1</sup></b>	1,037	0,726	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037
<b>Lisina total<sup>2</sup></b>	1,096	0,817	1,188	1,098	1,157	1,197	1,090	NE	1,000	0,992	1,043
<b>Met+Cis Dig.<sup>1</sup></b>	0,581	0,581	0,407	0,581	0,581	0,581	0,581	0,581	0,581	0,581	0,581
<b>Met+Cis total<sup>2</sup></b>	0,347	0,325	0,228	0,373	0,382	0,376	0,359	NE	0,415	0,287	0,310

<b>Treonina dig.<sup>1</sup></b>	0,653	0,653	0,653	0,457	0,653	0,653	0,653	0,653	0,653	0,653	0,653
<b>Treonina total<sup>2</sup></b>	0,554	0,575	0,550	0,351	0,487	0,518	0,529	NE	0,570	0,584	0,618
<b>Triptofano dig.<sup>1</sup></b>	0,187	0,187	0,187	0,187	0,131	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187
<b>Triptofano total<sup>2</sup></b>	0,057	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	0,054	0,049	0,052
<b>Arginina dig.<sup>1</sup></b>	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,320	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436
<b>Arginina total<sup>2</sup></b>	0,429	0,423	0,422	0,408	0,381	0,336	0,426	NE	0,445	0,455	0,471
<b>Valina dig.<sup>1</sup></b>	0,716	0,716	0,716	0,716	0,716	0,716	0,501	0,716	0,716	0,716	0,716
<b>Valina total<sup>2</sup></b>	0,676	0,686	0,758	0,668	0,593	0,670	0,561	NE	0,647	0,685	0,701
<b>Isoleucina dig.<sup>1</sup></b>	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,399	0,570	0,570	0,570
<b>Isoleucina total<sup>2</sup></b>	0,551	0,585	0,569	0,514	0,521	0,603	0,586	NE	0,529	0,527	0,593
<b>Leucina dig.<sup>1</sup></b>	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	0,726	1,037	1,037
<b>Leucina total<sup>2</sup></b>	0,995	1,021	1,061	0,952	0,894	1,088	1,026	NE	0,719	1,021	1,014
<b>Fen+Tir dig.<sup>1</sup></b>	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	1,037	0,726	1,037
<b>Fen+Tir total<sup>2</sup></b>	1,016	1,092	0,978	1,050	0,978	1,067	1,011	NE	1,010	0,772	1,056
<b>Histidina dig.<sup>1</sup></b>	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342	0,239
<b>Histidina total<sup>2</sup></b>	0,399	0,439	0,399	0,429	0,371	0,427	0,408	NE	0,353	0,416	0,283
<b>Ne:Nt</b>	53,660	53,650	53,650	53,640	53,650	54,000	53,640	53,630	53,650	53,640	53,720

<sup>1</sup> Valores calculados; <sup>2</sup>Valores analisados; \*Os valores de cálcio (0,733%), fósforo (0,363%), sódio (0,400%), cloro (0,333%) e potássio (0,602%) foram iguais em todos os tratamentos.

NE: Valores não encontrado.

**Tabela 3** - Composição percentual das dietas experimentais com base na deleção individual dos aminoácidos para os animais com peso médio de 60 kg

<b>Ingredientes</b>	<b>T11 (DB)</b>	<b>T1 (Lis)</b>	<b>T2 (Met+Cis)</b>	<b>T3 (Treo)</b>	<b>T4 (Trip)</b>	<b>T5 (Arg)</b>	<b>T6 (Val)</b>	<b>T7 (Ile)</b>	<b>T8 (Leu)</b>	<b>T9 (Fen + Tir)</b>	<b>T10 (His)</b>
<b>Milho</b>	65,41	65,41	65,41	65,41	65,41	65,41	65,41	65,41	65,41	65,41	65,41
<b>Farinha Trigo</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
<b>Arroz Quirera</b>	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
<b>Óleo</b>	6,78	6,78	6,78	6,78	6,78	6,78	6,78	6,78	6,78	6,78	6,78
<b>Calcário Calcítico</b>	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
<b>Fosfato Bicálcico</b>	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
<b>Sal</b>	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
<b>Lisina HCl</b>	0,93	0,60	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
<b>DL-Metionina</b>	0,28	0,28	0,12	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
<b>L-Treonina</b>	0,38	0,38	0,38	0,20	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
<b>L-Triptofano</b>	0,11	0,11	0,11	0,11	0,06	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
<b>L-Arginina</b>	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
<b>L-Valina</b>	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,17	0,36	0,36	0,36	0,36
<b>L-Isoleucina</b>	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,14	0,29	0,29	0,29
<b>L-Leucina</b>	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,00	0,26	0,26
<b>L-Fenilalanina</b>	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,15	0,42
<b>L-Histidina</b>	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,05
<b>Mistura<sup>2</sup></b>	7,00	7,31	7,10	7,14	7,04	7,15	7,15	7,11	7,19	7,14	7,14

<b>Premix*</b>	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
<b>Inerte</b>	1,59	1,61	1,65	1,63	1,60	1,52	1,63	1,63	1,66	1,72	1,57
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

<sup>1</sup>Conteúdo (%): Bicarbonato de sódio = 0,24; Carbonato de potássio = 0,37; Suplemento mineral = 0,09; Suplemento vitamínico = 0,09; Cloreto de colina = 0,10; Antibiótico (Tilosina) = 0,01; Antioxidante (BHT) = 0,01; \*Suplementação de Vitamina e Mineral por kg de dieta: vitamina A, 4840 UI; vitamina D<sub>3</sub>, 1056 UI; vitamina E, 28,20 UI; vitamina K<sub>3</sub>, 2,11 mg; vitamina B<sub>1</sub>, 0,70 mg; vitamina B<sub>2</sub>, 2,20 mg; ac. nicotínico, 21 mg; ac. pantotênico, 10,60 mg; vitamina B<sub>6</sub>, 1,41 mg; vitamina B<sub>12</sub>, 0,01 mg; ac. fólico, 0,21 mg; biotina, 0,07 mg; colina, 141 mg; cobre, 8,40 mg; ferro, 56 mg; iodo, 0,70 mg; manganês, 28 mg; selênio, 0,26 mg; zinco, 77 mg. <sup>2</sup>Na mistura contém: alanina, glicina e ácido glutâmico em níveis de 20, 20 e 60% respectivamente.

**Tabela 4 - Composição nutricional das dietas experimentais considerando a deleção individual dos aminoácidos para os animais com peso médio de 60 kg\***

Nutrientes (%)	T11	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
	(DB)	(Lis)	(Met+Cis)	(Treo)	(Trip)	(Arg)	(Val)	(Ile)	(Leu)	(Fen + Tir)	(His)
<b>EM (kcal/kg)<sup>1</sup></b>	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230
<b>Proteína Bruta<sup>1/2</sup></b>	14,097/	14,097/	14,097/	14,097/	14,097/	14,097/	14,097/	14,097/	14,097/	14,097/	14,097/
	16,688	17,180	16,192	16,939	15,757	16,823	16,286	17,416	16,257	16,457	15,851
<b>Lisina dig.<sup>1</sup></b>	0,891	0,624	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891
<b>Lisina total<sup>2</sup></b>	1,255	0,723	0,929	0,967	0,848	0,904	1,068	1,169	0,983	0,972	0,936
<b>Met+Cis Dig.<sup>1</sup></b>	0,526	0,526	0,368	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526
<b>Met+Cis total<sup>2</sup></b>	0,333	0,359	0,173	0,332	0,336	0,335	0,316	0,447	0,356	0,366	0,317
<b>Treonina dig.<sup>1</sup></b>	0,579	0,579	0,579	0,405	0,579	0,579	0,579	0,579	0,579	0,579	0,579
<b>Treonina total<sup>2</sup></b>	0,579	0,560	0,518	0,391	0,566	0,499	0,529	0,580	0,558	0,580	0,553

<b>Triptofano dig.<sup>1</sup></b>	0,160	0,160	0,160	0,160	0,112	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160
<b>Triptofano total<sup>2</sup></b>	0,089	0,129	0,109	0,108	0,064	0,072	0,062	0,085	0,088	0,081	0,092
<b>Arginina dig.<sup>1</sup></b>	0,365	0,365	0,365	0,365	0,365	0,289	0,365	0,365	0,365	0,365	0,365
<b>Arginina total<sup>2</sup></b>	0,515	0,441	0,469	0,424	0,436	0,339	0,466	0,467	0,434	0,456	0,426
<b>Valina dig.<sup>1</sup></b>	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615	0,431	0,615	0,615	0,615	0,615
<b>Valina total<sup>2</sup></b>	0,571	0,563	0,558	0,547	0,608	0,605	0,464	0,576	0,634	0,610	0,602
<b>Isoleucina dig.<sup>1</sup></b>	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,343	0,490	0,490	0,490
<b>Isoleucina total<sup>2</sup></b>	0,468	0,461	0,445	0,440	0,481	0,437	0,462	0,327	0,457	0,504	0,479
<b>Leucina dig.<sup>1</sup></b>	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,634	0,891	0,891
<b>Leucina total<sup>2</sup></b>	0,878	0,895	0,897	0,841	0,892	0,870	0,968	0,926	0,642	0,907	0,863
<b>Fen+Tir dig.<sup>1</sup></b>	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,891	0,624	0,891
<b>Fen+Tir total<sup>2</sup></b>	0,936	1,001	0,972	0,950	0,994	0,887	1,034	0,964	0,963	0,676	0,938
<b>Histidina dig.<sup>1</sup></b>	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294	0,206
<b>Histidina total<sup>2</sup></b>	0,487	0,446	0,395	0,489	0,421	0,407	0,356	0,469	0,419	0,448	0,270
<b>Ne:Nt</b>	65,010	65,010	65,010	65,010	65,020	65,010	65,020	65,000	65,010	65,010	65,010

<sup>1</sup> Valores calculados; <sup>2</sup>Valores analisados; \* Os valores de cálcio (0,552%), fósforo (0,269%), sódio (0,170%), cloro (0,160%) e potássio (0,425%) foram iguais em todos os tratamentos.

**Tabela 5** - Efeito da deleção do aminoácido da dieta na qualidade de proteína, na retenção de nitrogênio e a relação ideal dos aminoácidos para suínos em crescimento com peso médio de 25 kg em ensaio de balanço de nitrogênio<sup>1</sup>

	<b>DB</b>	<b>Lis</b>	<b>Met + Cis</b>	<b>Treo</b>	<b>Trip</b>	<b>Arg</b>	<b>Val</b>	<b>Ile</b>	<b>Leu</b>	<b>Fen + Tir</b>	<b>His</b>
<b>PC</b>	23,46±0,33	23,69±1,94	23,81±1,63	23,60±1,50	23,91±1,31	24,03±2,53	24,04±2,14	23,98±1,82	23,95±1,75	24,02±1,48	23,72±0,88
<b>CR</b>	906±13	913±59	917±50	911±46	920±41	923±78	940±51	922±58	921±56	924±48	915±31
<b>NI</b>	2192±10	2224±7	1992±7	2137±7	2101±7	2033±12	2194±28	2101±12	2078±12	2074±12	2128±12
<b>NEX</b>	581±16	863±30	681±38	726±55	672±61	774±131	738±44	724±18	767±47	793±47	596±38
<b>ND</b>	1611±23	1361±30	1311±40	1411±52	1429±57	1259±127	1456±31	1377±21	1311±46	1281±49	1532±37
<b>NR</b>	1781±23	1531±30	1481±40	1582±52	1600±57	1429±127	1627±31	1547±21	1481±46	1451±49	1702±37
<b>b</b>	325±5	270±7	278±10	284±13	293±15	262±30	286±9	279±5	266±11	260±11	314±10
<b>c</b>	-	4,45	2,58	2,91	0,85	2,04	3,17	2,59	4,76	4,77	1,53
<b>bc<sup>-1</sup></b>	-	61±2	108±4	97±4	345±18	123±13	90±3	108±2	56±2	54±2	205±6
<b>IAAR</b>	-	<b>100</b>	<b>57</b>	<b>63</b>	<b>18</b>	<b>49</b>	<b>67</b>	<b>57</b>	<b>109</b>	<b>112</b>	<b>30</b>

<sup>1</sup>As médias dos valores foram obtidas de dois períodos de coleta; PC = peso corporal (kg); CR = consumo de ração (g/dia); NI = nitrogênio ingerido (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia); NEX = nitrogênio excretado (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia); ND = nitrogênio depositado (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia); NR = nitrogênio retido (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia); *b* = inclinação da função exponencial ou qualidade da proteína (×10<sup>-6</sup>); *c* = concentração de aminoácido na proteína da dieta (g AA/100g PB); *bc<sup>-1</sup>* = eficiência de utilização do aminoácido (×10<sup>-6</sup>); RIAA = relação ideal do aminoácido (%).

**Tabela 6** - Efeito da deleção do aminoácido da dieta na qualidade de proteína, na retenção de nitrogênio e a relação ideal dos aminoácidos para suínos em crescimento com peso médio de 60 kg em ensaio de balanço de nitrogênio<sup>1</sup>

	<b>DB</b>	<b>Lis</b>	<b>Met + Cis</b>	<b>Treo</b>	<b>Trip</b>	<b>Arg</b>	<b>Val</b>	<b>Ile</b>	<b>Leu</b>	<b>Fen + Tir</b>	<b>His</b>
<b>PC</b>	59,15±1,00	58,38±7,23	58,93±6,63	59,03±6,18	60,65±4,35	60,35±4,00	60,13±3,78	59,95±2,55	58,78±1,23	59,68±1,53	59,33±0,83
<b>CR</b>	1564±28	1542±96	1553±83	1556±74	1590±36	1584±30	1580±25	1578±1	1575±5	1573±19	1567±32
<b>NI</b>	1868±53	1672±56	1664±52	1767±55	1642±51	1738±54	1694±53	1826±57	1669±32	1715±53	1657±51
<b>NEX</b>	878±56	726±47	692±28	810±37	833±53	911±27	665±15	903±33	771±33	886±15	713±40
<b>ND</b>	990±23	946±84	972±9	957±44	809±2	827±43	1029±22	923±63	898±52	829±22	944±15
<b>NR</b>	1194±23	1150±84	1176±9	1161±44	1013±2	1031±43	1233±22	1127±63	1102±52	1033±22	1148±15
<b>B</b>	580±30	530±51	581±7	551±30	460±1	462±25	616±19	509±39	515±33	468±9	575±20
<b>C</b>	-	4,075	2,56	2,69	0,8	1,95	2,99	2,20	4,30	4,27	1,46
<b>bc<sup>-1</sup></b>	-	130±13	227±3	205±11	575±1	237±13	206±6	231±18	120±8	110±2	394±14
<b>RIAA</b>	-	<b>100</b>	<b>57</b>	<b>63</b>	<b>23</b>	<b>55</b>	<b>63</b>	<b>56</b>	<b>109</b>	<b>118</b>	<b>33</b>

<sup>1</sup>As médias dos valores foram obtidas de dois períodos de coleta; PC = peso corporal (kg); CR = consumo de ração (g/dia); NI = nitrogênio ingerido (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia); NEX = nitrogênio excretado (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia); ND = nitrogênio depositado (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia); NR = nitrogênio retido (mg/PC<sub>kg</sub><sup>0,75</sup>/dia); *b* = inclinação da função exponencial ou qualidade da proteína (×10<sup>-6</sup>); *c* = concentração de aminoácido na proteína da dieta (g AA/100g PB); *bc*<sup>-1</sup> = eficiência de utilização do aminoácido (×10<sup>-6</sup>); RIAA = relação ideal do aminoácido (%).