

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**EXIGÊNCIAS DE MANUTENÇÃO E EFICIÊNCIA DE  
DEPOSIÇÃO DE LISINA E TREONINA PARA SUÍNOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Marcos Speroni Ceron**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2013**

# **EXIGÊNCIAS DE MANUTENÇÃO E EFICIÊNCIA DE DEPOSIÇÃO DE LISINA E TREONINA PARA SUÍNOS**

**Marcos Speroni Ceron**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal - Nutrição de monogástricos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Zootecnia.**

**Orientador: Prof. Dr. Marcos Martinez Do Vale**

**Coorientador: Prof. Dr. Vladimir de Oliveira**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ceron, Marcos Speroni

Exigências de manutenção e eficiência de deposição de lisina e treonina para suínos / Marcos Speroni Ceron. - 2013.

81 p. ; 30cm

Orientador: Marcos Martinez do Vale

Coorientador: Vladimir de Oliveira

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, RS, 2013

1. Dieta 2. Nitrogênio 3. Nutrição 4. Proteína 5. Suinocultura I. Vale, Marcos Martinez do II. Oliveira, Vladimir de III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado**

**EXIGÊNCIAS DE MANUTENÇÃO E EFICIÊNCIA DE DEPOSIÇÃO DE  
LISINA E TREONINA PARA SUÍNOS**

Elaborada por  
**Marcos Speroni Ceron**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Zootecnia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Marcos Martinez do Vale, Dr.**  
**(Presidente/Orientador)**

---

**Andréa Machado Leal Ribeiro, Dr. (UFRGS)**

---

**Carlos Augusto Rigon Rossi, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2013.

## DEDICATÓRIA

A meus pais, Luiz Ceron e Clenir Maria Speroni Ceron, bem como, o restante de minha família por me apoiar e incentivar a prosseguir nos estudos.

Ao meu amor Ellen Aita Fagundes.

*In memoriam* a Juliana Speroni Lentz: “que esse anjo possa iluminar com a sua luz a vida dos que agora choram por sua perda”.

*In memoriam* ao Professor Paulo Alberto Lovatto, pelo seu trabalho acadêmico, mas, principalmente, por ter me ensinado a enfrentar os desafios com coragem e otimismo.

Agradeço pelo seu apoio e inspiração no amadurecimento dos meus conhecimentos e conceitos que me levaram a execução e conclusão desta dissertação. Conforme as palavras do professor João Radünz Neto: “Agora cabe aos alunos do Professor Lovatto dar continuidade ao seu trabalho”.

## **AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade.

Ao professor orientador Paulo Alberto Lovatto (*in memoriam*) pela amizade, incentivo, orientação, por participar no processo de construção de meu conhecimento, no apoio nas horas difíceis e pela oportunidade de participar de seu grupo de pesquisa.

Ao professor coorientador Vladimir de Oliveira pela grande amizade, incentivo, orientação e por participar no processo de construção de meu conhecimento. Também agradeço pela proposta do projeto, no grande auxílio na execução dos experimentos, redação da dissertação e artigos.

Ao professor Marcos Martinez do Vale pela amizade, incentivo, orientação e por participar no processo de construção de meu conhecimento e ter assumido minha orientação.

Ao professor Carlos Augusto Rigon Rossi pela grande amizade, companheirismo, orientação, por participar no processo de construção de meu conhecimento e apoio nos momentos difíceis. Estendo meu agradecimento também à sua família.

Aos professores Arlei Rodrigues Bonet de Quadros e Gerson Guarez Garcia pela amizade, incentivo, orientação e por participar no processo de construção de meu conhecimento.

Aos professores Thomé Lovato e João Radünz Neto, pelos ensinamentos e apoio nas horas difíceis.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia e a amiga Olirta Giuliani.

Aos alunos do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Bruno Neutzling Fraga e Gustavo Dias Lovato pela grande amizade, companheirismo e apoio na execução dos experimentos e nos momentos difíceis.

Ao aluno do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Cristiano Miguel Stefanello pela amizade e auxílio nas análises laboratoriais.

A equipe do Setor de Suínos e ao bolsista do Colégio Politécnico Yuri de Oliveira Chemeris pela amizade e responsabilidade.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Zootecnia  
Universidade Federal de Santa Maria

### EXIGÊNCIAS DE MANUTENÇÃO E EFICIÊNCIA DE DEPÓSICÃO DE LISINA E TREONINA PARA SUÍNOS

AUTOR: MARCOS SPERONI CERON  
ORIENTADOR: MARCOS MARTINEZ DO VALE  
COORIENTADOR: VLADIMIR DE OLIVEIRA  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de fevereiro de 2013.

Dois experimentos foram realizados com o objetivo de determinar a exigência de manutenção e eficiência marginal de utilização para deposição de proteína dos aminoácidos lisina e treonina, através da técnica de balanço de nitrogênio. Foram utilizados 12 suínos castrados, em cada um dos experimentos, com peso vivo médio de  $52 \pm 2$  kg (experimento lisina) e  $72 \pm 2$  kg (experimento treonina). Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas, mantidos em sala climatizada com temperatura de  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ . O delineamento experimental foi um changeover constituído de quatro dietas elaboradas para atender 30, 50, 60 e 70% das exigências nutricionais de lisina digestível estandardizada e 30, 45, 60 e 70% das exigências nutricionais de treonina digestível estandardizada. A quantidade ração fornecida foi calculada para suprir 2,6 vezes à energia metabolizável de manutenção. Os demais aminoácidos foram adicionados às dietas para atingir a proporção de, no mínimo, 15% de suas exigências expressas em relação ao aminoácido teste. Os animais foram alimentados quatro vezes ao dia, com um ajuste diário no consumo de ração de acordo com uma taxa de ganho médio diária de 0,8 kg de peso vivo. Os experimentos foram divididos em dois períodos experimentais consecutivos (sete dias de adaptação e cinco dias de coleta). No experimento de lisina não houve diferença significativa da matéria seca ingerida (MSI) e energia metabolizável ingerida (EMI) entre os diferentes níveis de lisina na ração. Já no experimento de treonina observou-se diferença significativa da MSI e EMI entre os tratamentos. No experimento de lisina o nitrogênio excretado representou, em média, 46% do nitrogênio ingerido, sendo que 35% desse nitrogênio excretado foi eliminado pelas fezes e o restante (65%) na urina. No experimento de treonina o nitrogênio excretado representou, em média, 43% do nitrogênio ingerido, sendo que 35 e 65% desse nitrogênio excretado foi eliminado pelas fezes e urina, respectivamente. As perdas totais de lisina e treonina foram de  $36,4$  e  $46,3$   $\text{mg kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ , respectivamente, resultando na exigência diária para manutenção de  $40,4$   $\text{mg kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$  de lisina e  $62,2$   $\text{mg kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$  de treonina. Em nossos experimentos a eficiência marginal de utilização de lisina e treonina foram de 90 e 74%, respectivamente, ou seja, 10% da lisina e 26% da treonina estandardizada ingerida não foram recuperadas nas proteínas corporais.

**Palavras-chaves:** Dieta. Nitrogênio. Nutrição. Proteína. Suinocultura.

## **ABSTRACT**

Dissertation of Master  
Program of Post-Graduation in Animal Science  
Federal University of Santa Maria

### **MAINTENANCE REQUIREMENT AND MARGINAL EFFICIENCY OF LYSINE AND THREONINE UTILIZATION FOR PIGS**

AUTHOR: MARCOS SPERONI CERON  
ADVISOR: MARCOS MARTINEZ DO VALE  
CO ADVISOR: VLADIMIR DE OLIVEIRA

Site and Date of Defense: Santa Maria, 27 the February the 2013.

Two experiments were performed in order to determine the maintenance requirements and marginal efficiency of utilization of the amino acids lysine and threonine, through the nitrogen balance technique. It was used 12 castrated pigs, on each experiment, with an average weight of  $52 \pm 2$  kg (experiment with lysine) and  $72 \pm 2$  kg (experiment with threonine) were kept in metabolism crates in temperature-controlled room of  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ . The pigs were distributed in four diets formulated to supply 30, 50, 60 and 70% of expected standardized digestible lysine requirements and supply 30, 45, 60 and 70% of expected standardized digestible threonine requirements using a changeover design with two periods (seven to adaptation and five collection). All of other essential amino acids were furnished at a minimum of 15% excess level relative to the level of amino acid test. The feed was provided to cover 2.6 times the metabolizable energy requirements needed to maintenance with a daily adjustment according to the expected gain of 0.8 kilograms. The lysine experiment there was no difference ( $P > 0.00$ ) in dry matter intake (DMI) and metabolizable energy intake (MEI) between treatments. Already in the experiment threonine significant difference was observed of DMI and MEI between treatments. In lysine experiment the amount nitrogen excreted represents on average 46% of the nitrogen ingested with 35% of the nitrogen excreted in feces and 65% in urine. As in lysine experiment the amount nitrogen excreted represents on average 43% of the nitrogen ingested with 35 and 60% of the nitrogen excreted in feces and urine, respectively. The total losses were lysine and threonine  $36.4$  and  $46.3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$ , respectively, resulting in lysine maintenance requirements of  $40.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$  and threonine maintenance requirements of  $62.2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$ . In our experiment the marginal efficiency of lysine and threonine utilization was 90 and 74%, respectively, meaning that 10% of lysine and 26% of intake of standardized threonine was not recovered in the body protein.

**Key words:** Diet. Nitrogen. Nutrition. Protein. Pig production.



## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

Tabela 1 - Composição centesimal e calculada das dietas de suínos alimentados com níveis crescentes de lisina digestível estandardizada.....46

Tabela 2 - Matéria seca ingerida, energia metabolizável ingerida e balanço de nitrogênio de suínos consumindo dietas com teores crescentes de lisina digestível estandardizada.....47

### ARTIGO 2

Tabela 1 - Composição centesimal e calculada das dietas de suínos alimentados com níveis crescentes de treonina digestível estandardizada .....64

Tabela 2 - Matéria seca ingerida, energia metabolizável ingerida e balanço de nitrogênio de suínos consumindo dietas com teores crescentes de treonina digestível estandardizada.....65

## **LISTA DE FIGURAS**

- Figura 1 – Figura representativa de respostas de indivíduos e da média do grupo submetido a diferentes níveis de um nutriente (FISHER et al., 1973, HAUSCHILD, 2010)..... 19
- Figura 2 – Destino metabólico dos aminoácidos no organismo do animal (RINGEL, 2005).....23

### **ARTIGO 1**

- Figura 1 – Retenção de treonina (y) em função da ingestão de treonina digestível estandardizada (x) em suínos alimentados com níveis crescentes de lisina .....48

### **ARTIGO 2**

- Figura 1 - Retenção de treonina (y) em função da ingestão de treonina digestível estandardizada (x) em suínos alimentados com níveis crescentes de treonina..... 66

## LISTA DE ABREVIATURAS

BW	Body weight
DMI	Dry matter intake
EM	Energia metabolizável
EMI	Energia metabolizável ingerida
MSI	Matéria seca ingerida
N	Nitrogênio
NDI	Nitrogênio digestível ingerido
NE	Nitrogen excreted
NE	Nitrogênio excretado
NE:NNE	Relation between essential and nonessential nitrogen
NE:NNE	Relação entre nitrogênio essencial e não essencial
NI	Nitrogênio ingerido
PV	Peso vivo
SID lysine	Standardized digestible lysine
TDest	Treonina digestível estandardizada
TDestI	Treonina digestível estandardizada ingerida
TDestI:EMI	Relação entre TDestI e EMI

## **LISTA DE APÊNDICES**

APÊNDICE A – Publicação durante o curso de mestrado .....	79
---	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Cenário da suinocultura brasileira e conceitos sobre exigências nutricionais para suínos .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Modelos matemáticos para otimizar a nutrição e avaliar as estratégias nutricionais.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Métodos utilizados para determinar as exigências nutricionais .....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Método empírico .....	18
2.3.2 Método fatorial .....	19
<b>2.4 Proteínas.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Lisina e Treonina como aminoácido limitante para suínos .....</b>	<b>20</b>
2.5.1 Lisina .....	20
2.5.2 Treonina.....	21
<b>2.6 Exigência de manutenção de lisina e treonina para suínos.....</b>	<b>21</b>
2.6.1 Processos fisiológicos que influenciam as exigências de manutenção de lisina e treonina para suínos.....	23
2.6.1.1 <i>Turnover</i> proteico .....	24
2.6.1.2 Perdas epiteliais de aminoácidos .....	24
2.6.1.3 Perda de aminoácidos via fezes e urina .....	25
2.6.1.4 Perda de aminoácidos endógenos .....	25
<b>2.7 Eficiência de deposição de lisina e treonina para suínos.....</b>	<b>27</b>
<b>3 ARTIGO 1 - MAINTENANCE REQUIREMENT AND MARGINAL EFFICIENCY OF LYSINE UTILIZATION FOR PIGS .....</b>	<b>30</b>
Abstract .....	31
Resumo .....	32
Introduction .....	33
Material and Methods .....	34
Results and Discussion .....	36
Conclusion .....	40
References.....	40
<b>4 ARTIGO 2- Exigência de manutenção e eficiência marginal de deposição de treonina em suínos .....</b>	<b>49</b>
Resumo .....	50
Abstract .....	51
Introdução .....	52
Material e Métodos.....	53
Resultados e Discussão .....	55
Conclusão .....	59
Referências .....	60
<b>5 DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>67</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>79</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Na suinocultura as exigências nutricionais devem ser constantemente reavaliadas para permitir a otimização dos nutrientes da dieta, uma vez que a alimentação representa, aproximadamente, 70% dos custos de produção (TALAMINI et al. 2006). O conhecimento adequado das exigências de aminoácidos do animal permite reduzir as excessivas margens de segurança adotadas pelos nutricionistas na formulação de ração, reduzindo assim os custos de produção com o fornecimento excessivo de nutrientes aos animais (OLIVEIRA et al., 2005).

As exigências de aminoácidos podem ser determinadas pelo método empírico, que se baseia na resposta média da população a determinados níveis de ingestão de nutrientes, ou pelo método fatorial, o qual divide a exigência da proteína entre manutenção e crescimento (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). As exigências de aminoácidos para manutenção são a prova que, independentemente da exigência para deposição de proteína, existe uma atividade metabólica constante, resultantes da perda de produtos nitrogenados que precisam ser repostos para prevenir o balanço negativo de aminoácidos (MOUGHAN, 2003).

O principal destino metabólico dos aminoácidos provenientes da dieta é para atender as exigências de manutenção e da deposição de proteína. No entanto, a eficiência com que os aminoácidos são utilizados para manutenção e para deposição não é a mesma entre os diferentes aminoácidos (ADEOLA, 1995).

A lisina e a treonina são o primeiro e o terceiro aminoácido limitante na dieta de suínos a base de milho e farelo de soja, além de participarem na constituição dos tecidos ósseos, formação do colágeno, músculos e compor parcela significativa das exigências de manutenção dos animais (JOHNSTON et al. 2000). Vários estudos foram conduzidos para estimar as exigências totais (manutenção e deposição) de lisina e treonina para suínos em crescimento e terminação, mas com uma grande variação entre seus resultados. Nas condições brasileiras, existem relativamente poucos experimentos sobre o assunto abordado no presente estudo.

A correta determinação das exigências de manutenção e a eficiência de deposição de aminoácidos são informações fundamentais para o desenvolvimento de modelos mecanísticos, visando estimar o crescimento de animais ingerindo diferentes dietas e criados em diversas situações ambientais (POMAR et al., 2007). Assim o objetivo dessa dissertação é determinar

as exigências de manutenção e a eficiência de deposição dos aminoácidos lisina e treonina para suínos.

## **2 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO**

### **2.1 Cenário da suinocultura brasileira e conceitos sobre exigências nutricionais para suínos**

#### **Cenário da suinocultura**

A suinocultura é uma atividade de grande importância no cenário nacional de produção de proteína animal. O setor suinícola cresce e estimula o desenvolvimento de uma cadeia produtiva extremamente complexa, visando assim atender as exigências do mercado interno e externo. Atualmente o rebanho brasileiro é de aproximadamente 40 milhões cabeças e um abate estimado de 42 milhões cabeças por ano, garantindo uma produção aproximada de três milhões de toneladas de carne suína por ano (ANUALPEC, 2012). Em 2011 foram exportadas mais de 570 milhões toneladas de carne suína. Os principais destinos das exportações de carne suína são Rússia, Hong Kong, Ucrânia, Argentina e Angola.

Os primeiros avanços marcantes na suinocultura nacional são verificados a partir da década de setenta, com a modernização de indústrias e produtores, principalmente vinculados aos sistemas integrados de produção. Atualmente, a atividade dispõe de unidades produtivas com alta qualidade genética e nutrição de precisão, preocupadas com questões sanitárias e ambientais (ABIPECS, 2009). A suinocultura brasileira tem bons índices zootécnicos e oferece, tanto ao mercado interno como ao externo, produtos com qualidade reconhecida. Contudo, apesar dos esforços de organizações e indústrias, o consumo de carne suína de aproximadamente 15 kg/habitante/ano, ainda é baixo, especialmente quando comparado aos maiores consumidores como a China, Estados Unidos e União Européia (ANUALPEC, 2012).

Atualmente o mercado consumidor da carne suína passa por um período de transição, cujo molde se dará a partir de uma nova sociografia dos mercados, onde o consumidor terá maior consciência da qualidade da carne suína ofertada no mercado, o que causará aumento no consumo. O brasileiro vem ampliando o consumo de carne suína na mesma medida em que a renda cresce e o nível educacional se eleva no País. Acredita-se que em pouco tempo o consumo de carne suína no Brasil alcance 30 kg/habitante/ano, média idêntica a de outros



países produtores de carne suína e com grande mercado doméstico, como Estados Unidos, China, Rússia e México (ABCS, 2012).

Para 2050, o mundo terá uma população aproximada de nove bilhões de habitantes, sendo que 86% desse crescimento populacional estará localizado na Ásia e África. Este processo de crescimento populacional vai elevar a demanda de carne suína mundial, devido ao aumento da renda e do poder de consumo dos países Asiáticos e Africanos (ABCS, 2012).

Na busca por atender a demanda atual e futura do mercado interno por carne suína de qualidade e com baixo preço, a suinocultura brasileira vem desenvolvendo diversas estratégias para melhorar a qualidade da carne e aumentar o volume produzido. Assim, determinar com eficácia as exigências e eficiência de deposição de aminoácidos para suínos em crescimento pode ser uma estratégia para reduzir os custos de produção de suínos.

### **Nutrição de suínos**

Na suinocultura as exigências nutricionais devem ser constantemente reavaliadas para permitir a otimização dos nutrientes da dieta, uma vez que alimentação representa 70% dos custos de produção (TALAMINI et al., 2006). O conhecimento adequado das exigências de aminoácidos do animal permite reduzir as excessivas margens de segurança adotadas pelos nutricionistas na formulação de ração, reduzindo assim, os custos de produção com o fornecimento excessivo de nutrientes aos animais (OLIVEIRA et al., 2005).

O principal desafio da indústria suinícola é a conversão de modo eficiente, de proteína de origem vegetal em proteína animal. Essa conversão tem uma eficiência de aproximadamente 50%, devido às perdas proteicas oriundas no processo de digestão, manutenção, síntese proteica e do uso dos aminoácidos como fonte de energia (TAMMINGA et al., 1995).

A determinação acurada das exigências de aminoácidos para manutenção e deposição de proteína (crescimento do animal), assim como um adequado suprimento desses aminoácidos através do alimento, são de grande importância para otimização da produção, além da redução da poluição ambiental devido à menor presença de elementos poluentes nos dejetos dos animais (JONDREVILLE & DOURMAD, 2005).

Dentre os diversos nutrientes existentes nos alimentos, a proteína tem grande participação nas exigências nutricionais dos animais domésticos, pois a mesma é principalmente incorporada como massa estrutural, enquanto que os carboidratos e gorduras

provenientes da dieta servem primeiramente como fonte energética para o animal. No entanto, a proteína contida no alimento não pode ser totalmente aproveitada, uma vez que parte dos aminoácidos contidos na molécula proteica é perdida durante o processo de digestão, absorção e metabolismo, contribuindo para o suprimento das exigências nutricionais do animal (BROWN et al., 2006).

A formulação de dietas mais adequadas à exigência nutricional do animal permitirá a obtenção de uma carcaça com elevado teor de proteína em detrimento a gordura, e uma redução no impacto ambiental em decorrência da perda de nutrientes através das fezes e urina. A melhor utilização dos nutrientes fornecidos na dieta possibilitará ainda uma melhora na conversão alimentar e um maior ganho de peso pelo animal com um consequente aumento de produtividade e uma redução nos custos de produção (PEDROZO, 2002).

Apesar de existirem pesquisas sobre o assunto nos últimos anos, alguns dos mecanismos internos de utilização de nutrientes ainda são desconhecidos, ignorados, não quantificados, ou são simplesmente teorizados. A falta de estudo e quantificação do metabolismo de nutrientes prejudica a determinação adequada das exigências de manutenção e da eficiência de deposição de aminoácidos para suínos (LEWIS, 2003).

O conhecimento do efeito dos nutrientes no metabolismo do animal é fundamental para estimar as exigências de manutenção e a eficiência de deposição de aminoácidos para suínos na fase de crescimento e terminação. Só com a compreensão destas interações é possível obter o máximo desempenho dos animais. Devido as pesquisas nesse assunto, grandes avanços têm sido possíveis nos últimos anos utilizando modelagem (MCNAMARA, 2006). Estes avanços têm permitido gerar modelos para estimar com maior precisão as exigências nutricionais e prever o consumo de alimento, o peso vivo, a conversão alimentar e as características da carcaça dos animais (MCNAMARA, 2006).

## **2.2 Modelos matemáticos para otimizar a nutrição e avaliar as estratégias nutricionais**

Os modelos matemáticos aplicados à suinocultura foram desenvolvidos para compreender os processos biológicos envolvidos na produção de suínos. De modo geral, os modelos utilizam os processos biológicos para descrever como os nutrientes são utilizados pelo suíno para as diferentes funções metabólicas (crescimento, reprodução etc).

A modelagem é o método pelo qual todo o conhecimento fisiológico e metabólico adquirido através de estudos isolados de órgãos e em nível celular pode ser reunido para promover a compreensão quantitativa das funções biológicas do animal e as fontes de variação do seu desempenho. Assim, a compreensão desse conhecimento permite o desenvolvimento de estratégias alimentares adequadas e a adoção de uma nutrição mais precisa, melhorando o desempenho animal e reduzindo a poluição ambiental (POMAR et al., 2009).

Na suinocultura, os modelos matemáticos são utilizados para estimar o crescimento e as exigências nutricionais dos animais. Essas estimativas são determinadas utilizando equações lineares e não lineares. Os parâmetros das equações são estimados utilizando dados experimentais em diferentes níveis de agregação do indivíduo (tecido, célula, molécula). Isso estabelece relações entre a resposta animal e as variáveis explicativas. No entanto, cada parâmetro 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 (BALDWIN, 1976). O sucesso do modelo ao estimar as exigências de proteína para o crescimento do suíno depende de uma estimativa adequada das exigências de aminoácidos para manutenção e a eficiência de deposição dos aminoácidos nos diferentes tecidos. Existe uma grande quantidade de informações que descrevem como os nutrientes são fornecidos, digeridos e utilizados pelo animal. Assim, o desenvolvimento de modelos permite centralizar essas informações presentes na literatura e aplicá-las de uma maneira mais dinâmica para melhor compreensão de como os suínos utilizam os nutrientes para o seu crescimento. Tais modelos dão suporte para os nutricionistas trabalharem com informações mais confiáveis da real exigência nutricional do suíno para seu crescimento e produção. A menor ingestão de aminoácidos conseguida através da utilização dos modelos matemáticos na nutrição de suínos permite diminuir os custos de produção e reduzir a excreção de nutrientes pelos animais, possibilitando uma suinocultura mais sustentável.

## **2.3 Métodos utilizados para determinar as exigências nutricionais**

Exigência nutricional pode ser definida como a quantidade de determinado nutriente necessária para atingir propósitos produtivos específicos, como ótima taxa de crescimento, conversão alimentar e retenção de proteína (POMAR et al., 2009). As exigências nutricionais em aminoácidos podem ser determinadas através do método empírico e o fatorial (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), conforme descrito a seguir.

### **2.3.1 Método empírico**

O método empírico é mais utilizado para determinar exigências nutricionais para suínos. Nesse método, as exigências nutricionais são determinadas com base na resposta de um grupo de animais submetido a diferentes concentrações de um nutriente na dieta, durante um determinado período de tempo. Essas exigências vão apresentar uma característica curvilínea, devido às diferenças de manutenção e potencial de deposição de cada animal (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

Nesse método, a eficiência de utilização de um nutriente em uma população é descrita por uma fase linear para um nível subótimo e por uma fase curvilínea decrescente até ao ponto onde a máxima resposta é atingida (Figura 1). Isso permite uma melhor estimativa dos níveis nutricionais de uma população de suínos, com base em aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

O formato da curva de crescimento pode variar de acordo com os critérios-respostas adotados e com a variabilidade entre os animais. Assim, as exigências nutricionais em condições de campo são as que maximizam ou minimizam um ou vários critérios respostas (ganho de peso, conversão alimentar, retorno econômico, etc) durante um determinado período (FISHER et al., 1973).

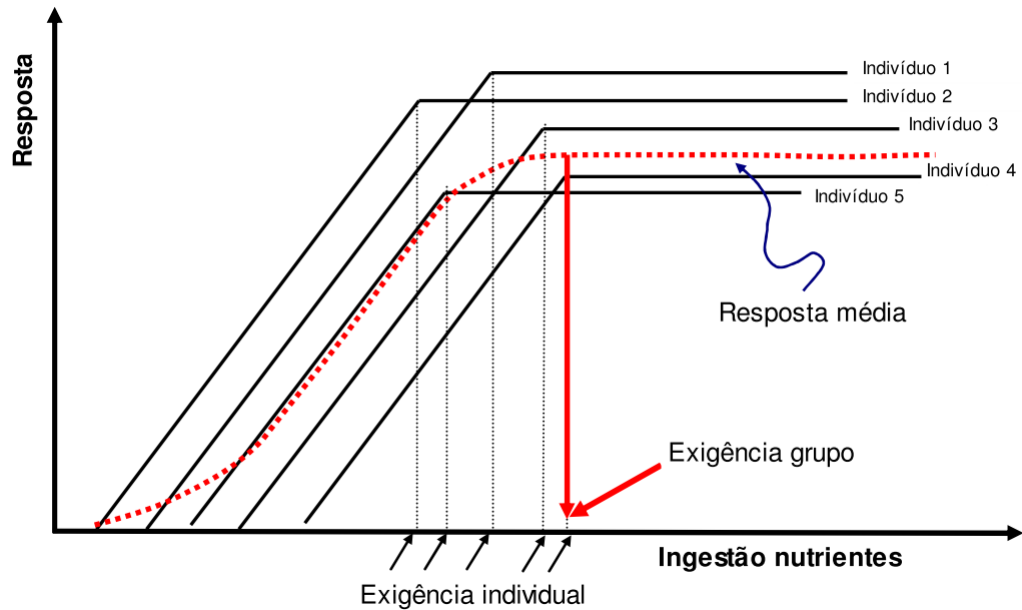


Figura 1 – Figura representativa de respostas de indivíduos e da média do grupo submetido a diferentes níveis de um nutriente (FISHER et al., 1973, HAUSCHILD, 2010).

### 2.3.2 Método fatorial

As exigências nutricionais dos animais são estimadas pela soma das exigências de manutenção e produção (FULLER & CHAMBERLAIN, 1982). Essas exigências são estimadas para cada nutriente e seus precursores considerando a eficiência que cada nutriente é utilizado para cada função metabólica (VAN MILGEN & NOBLET, 2003), considerando o estado metabólico do animal e o aspecto biológico de utilização dos nutrientes. Por determinar as exigências nutricionais para um único indivíduo em um determinado peso vivo ou idade do animal, o método é considerado determinista e estático.

O método fatorial considera os processos fisiológicos que determinam ou interferem nas exigências de um nutriente de um único indivíduo, considerando que a eficiência de utilização do nutriente é constante até atingir a máxima resposta e depois reduz para zero (ponto máximo e mínimo). No entanto, os componentes e os parâmetros estimados não podem ser determinados com base em um único indivíduo. A manutenção, o crescimento e as respectivas eficiências são difíceis de serem mensurados em um mesmo indivíduo sob as mesmas condições fisiológicas quando ingerindo diferentes concentrações de um nutriente. Assim, as exigências são estimadas com base na resposta média da população com baixa variabilidade genética (MORRIS, 1983), tendo como base o indivíduo médio da população.

O método fatorial para determinar as exigências nutricionais dos animais para diferentes condições de campo é mais flexível que o método empírico. No entanto, nem todos os nutrientes exigidos pelo animal podem ser estimados por esse método, uma vez que, a estimativa de um nutriente depende do estudo dos parâmetros necessários para aplicabilidade deste método. Para determinar as exigências de aminoácidos pelo método fatorial, as dietas experimentais são formuladas de acordo com o conceito de proteína ideal (JONDREVILLE & DOURMAD, 2005).

## **2.4 Proteínas**

As proteínas são as moléculas mais abundantes e funcionalmente mais diversas dos sistemas biológicos. Geralmente todos os processos vitais dependem dessa classe de moléculas (ANDRIGUETTO et al., 1981). As proteínas são compostos orgânicos formados por carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, sendo que alguns compostos específicos podem conter enxofre, fósforo, cobre e outras substâncias.

As rações utilizadas pela indústria suinícola geralmente contêm quantidades excessivas de aminoácidos. Esse excesso de aminoácido ingerido pelo animal é catabolizado pelo fígado e eliminado do organismo via fezes e urina. As rações desbalanceadas ou com excesso de aminoácidos oneram os custos de produção e elevam a excreção de nitrogênio via fezes e urina, gerando um maior passivo ambiental para indústria suinícola (PARSONS & BAKER, 1994).

## **2.5 Lisina e Treonina como aminoácido limitante para suínos**

### **2.5.1 Lisina**

A lisina é o primeiro aminoácido limitante para suínos, seguido da metionina treonina e triptofano em dietas à base de milho e farelo de soja. Está presente nos tecidos ósseos, na formação do colágeno, cartilagens e músculos (JOHNSTON et al., 2000).

A lisina é utilizada como aminoácido referência na formulação das dietas por haver uma baixa síntese endógena, não sofrer transaminação, possuir metabolismo voltado à deposição de proteína corporal, possuir um lento *turnover*, existir efetiva correspondência entre a digestibilidade ileal verdadeira e a disponibilidade biológica desse aminoácido, apresentar grande precisão em análises laboratoriais, por ter sua exigência conhecida em todas as fases de produção do animal (BATTERHAM et al., 1990). Essas características garantem que a maioria da lisina ingerida pelo animal será destinada a síntese de proteína muscular e não sofrerá desvio metabólico para outros produtos aumentando a confiabilidade dos estudos de exigência nutricionais que se baseiam nesse aminoácido (CUARÓN, 2000).

### 2.5.2 Treonina

A treonina compõe parcela significativa das exigências de manutenção do animal, pois é considerado o segundo aminoácido limitante em dietas de suínos baseadas em trigo e sorgo, o terceiro aminoácido limitante em dietas à base milho (LEWIS, 2003) e pode ser o primeiro quando é adicionada lisina cristalina na dieta (SALDANA et al., 1994), o que justifica a preocupação em estudar mais detalhadamente as exigências de manutenção desse aminoácido. A treonina está presente em grande quantidade no plasma sanguíneo, sendo o principal aminoácido constituinte das imunoglobulinas e compõe parcela significativa das proteínas secretadas pelo intestino delgado (ZHU et al., 2005).

## 2.6 Exigência de manutenção de lisina e treonina para suínos

A manutenção pode ser definida como o estado de equilíbrio aminoacídico, ou seja, quando ingestão de aminoácido for exatamente igual ao somatório das perdas de aminoácidos pelo animal (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). Essas exigências aumentam com idade do animal (NRC, 1998). Assim, as exigências de aminoácidos para manutenção podem ser definidas a partir da relação existente entre a retenção ou o balanço de nitrogênio e/ou aminoácido e a ingestão do aminoácido teste, sendo estimada pela intersecção da reta com o eixo das abscissas (NONIS & GOUS, 2008).

As exigências de aminoácidos para manutenção provam que, independentemente da exigência para deposição de proteína, existe uma atividade metabólica constante que resulta na perda de produtos nitrogenados que precisam ser repostos para prevenir o balanço negativo de nitrogênio (MOUGHAN, 1999). Os principais eventos biológicos que determinam as exigências de manutenção são: o catabolismo de aminoácidos devido à ineficiência do processo de síntese proteica, aminoácidos perdidos pela queda de pêlos, a descamação da epiderme e os aminoácidos endógenos secretados no intestino delgado que não são reabsorvidos pelo intestino do animal (MOUGHAN & FULLER, 2003). Além disso, os aminoácidos também são eliminados diretamente via urina e utilizados como precursores de diversos compostos nitrogenados, embora representem uma pequena parcela da exigência de manutenção (BAKER, 1996).

Na literatura, existem muitos estudos para determinar as exigências de manutenção de lisina e treonina para suínos na fase de crescimento e terminação. Em um dos primeiros estudos sobre exigência de manutenção de lisina concluiu-se que os suínos em crescimento necessitam  $36 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  de lisina por quilo de peso vivo metabólico para a manutenção (WANG & FULLER, 1989). O valor representa o intercepto da relação entre lisina ingerida e nitrogênio retido, método amplamente utilizado para estimar as exigências de aminoácidos de suínos (NRC, 1998). Para suínos em crescimento, as exigências de manutenção representam 9,1 % das exigências totais de lisina e 2,7% das exigências totais de nitrogênio. Um estudo recente concluiu que a exigência de lisina para manutenção é de  $39 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  (HEGER et al., 2008). No entanto, outros estudos constataram que a necessidade diária de lisina para manutenção de suínos em crescimento é de  $114 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  (YANG et al., 1997) e  $71 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  (RINGEL & SUSENBETH, 2009). Com base nesses experimentos de exigência de manutenção para suínos, podemos concluir que existe uma grande variabilidade de resultados entre os valores encontrados na literatura e da indefinição sobre a exigência de manutenção da lisina para suínos.

A treonina é um aminoácido que possui uma grande variação da real quantidade de aminoácido que corresponde à exigência de manutenção de suínos em crescimento e terminação. Representa 47% das exigências de manutenção do suíno em aminoácidos (FULLER et al., 1989), pois compõe parcela significativa das proteínas secretadas no intestino delgado (ZHU et al., 2005). A exigência de manutenção de treonina para suínos varia de  $49 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  (HEGER et al., 2002) a  $53 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  (FULLER et al., 1989). Assim como a lisina, também são necessários mais estudos para determinar a real exigência da treonina para a manutenção de suínos em terminação.



As exigências de lisina e treonina para suínos representam 10 a 15% das exigências de aminoácidos totais para suínos (THONG & LIEBERT, 2004), sendo que o restante das exigências totais de aminoácidos são destinados para a deposição da proteína corporal.

As exigências nutricionais totais de aminoácidos para suínos são estimadas considerando a demanda do organismo animal e a eficiência com que os aminoácidos podem ser utilizados para atender essa demanda metabólica. A figura 2 ilustra essa relação e considera os processos metabólicos que levam à perda de aminoácidos corporais.

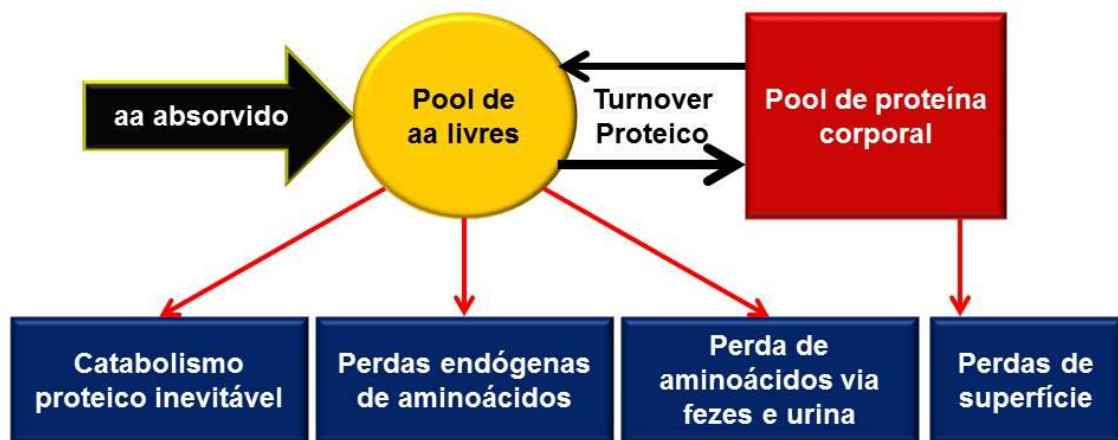


Figura 2 – Destino metabólico dos aminoácidos no organismo do animal (RINGEL, 2005).

A discrepância entre os níveis recomendados de lisina e treonina para suprir as exigências de manutenção para suínos, e a escassez de trabalhos que correlacionem as exigências de manutenção com o conteúdo de proteína corporal, são diretrizes para realização de novos estudos para a determinação da necessidade dos aminoácidos lisina e treonina para manutenção.

### 2.6.1 Processos fisiológicos que influenciam as exigências de manutenção de lisina e treonina para suínos.

As exigências de manutenção de lisina e treonina são influenciadas pelos seguintes processos metabólicos: perdas da descamação epitelial e pêlos (perda de superfície), perdas

endógenas de aminoácidos, o *turnover* proteico e o catabolismo proteico inevitável e a perda de aminoácidos via fezes e urina (MAUGHAN, 1999).

#### 2.6.1.1 *Turnover* proteico

O *turnover* proteico é um processo cíclico de contínua síntese e degradação de proteínas que ocorre no organismo do animal. No estado de equilíbrio, a taxa de síntese proteica é igual à taxa de degradação dessas proteínas. Quando o animal está em estado de anabolismo, a taxa de síntese é maior que a taxa de degradação de proteína. Já no estado de catabolismo, a taxa de degradação é superior à taxa de síntese de proteínas (LEHNINGER, 2005).

O crescimento celular é resultado da diferença entre síntese e degradação de proteínas. A diferença entre essas duas taxas determina o acréscimo ou a perda de proteína. As pequenas mudanças persistentes nas taxas de síntese ou degradação de proteínas são as causas do acréscimo ou a perda de proteína pelos tecidos do animal.

As taxas intrínsecas de síntese e degradação de proteína são diferentes entre os tecidos corporais, pois elas dependem da concentração e da taxa de síntese de proteína de cada tecido. Por exemplo: o intestino é responsável por 20% da taxa de síntese de proteína corporal, assim como valores semelhantes são apresentados pela musculatura esquelética, pele e ossos. O intestino grosso e estômago contribuem com 4% da síntese de proteína corporal (REEDS et al., 1980). A diferença na taxa de síntese e degradação de proteínas nos diferentes tecidos do animal depende da concentração de RNA transportador (RNAt) presente nas células de cada tecido corporal, pois o RNAt transporta aminoácidos provenientes do pool intracelular de aminoácidos livres, para os ribossomos realizarem a síntese proteica no interior da célula (LEHNINGER, 2005).

#### 2.6.1.2 Perdas epiteliais de aminoácidos

As perdas epiteliais de aminoácidos são provenientes da contínua descamação epitelial e da perda de pelos do animal. A quantidade diária de nitrogênio perdido por essa via é de 250

a 500 mg/dia, e parece depender do consumo de ração e da temperatura ambiente (FULLER & BOYNE, 1971). Essa informação foi confirmada por Jahn (2000) que encontrou uma perda de nitrogênio ao redor de 500 mg/dia. Um estudo realizado por Moughan (2003) determinou que a perda de treonina proveniente da descamação epitelial e a perda de pêlo é de  $94 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  e uma perda de lisina de  $4,04 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ .

#### 2.6.1.3 Perda de aminoácidos via fezes e urina

Os aminoácidos livres excretados pela urina representam uma pequena parcela das exigências de manutenção para suínos. Estudos realizados por Southern e Baker (1984) constataram que a lisina representa 4,2% da excreção total de nitrogênio dos suínos. Os aminoácidos encontrados nas fezes são provenientes da dieta e da secreção das proteínas endógenas.

#### 2.6.1.4 Perda de aminoácidos endógenos

As perdas endógenas de aminoácidos são provenientes das secreções biliares, do suco pancreático, do muco secretado pelas paredes do sistema digestivo e pela descamação das células do intestino. O trato gastrointestinal representa 4 a 6% de toda a massa corporal do animal, bem como é responsável por 25 a 50% de todo *turnover* proteico. Devido a grande demanda de aminoácidos para manutenção e crescimento desse tecido, suas exigências em aminoácidos são elevadas (NICHOLS & BERTOLO, 2008).

Durante a digestão uma grande quantidade de proteína endógena é secretada em todo trato gastrointestinal para auxiliar a degradação do alimento. As secreções salivares e gástricas representam de 9 a 11% da secreção total de nitrogênio endógeno pelo animal. As secreções pancreáticas e biliares representam de 11 a 23% e 8 a 10% dessas secreções, respectivamente (AUCLAIR, 1986). Dessas secreções, a lisina compõe 5,5% do suco pancreático e 0,34% das secreções biliares. Já a treonina representa 5,9% da composição do suco pancreático e 0,25% da composição da bile (JUSTE, 1982). As secreções do intestino delgado representam 49 a 65% do nitrogênio endógeno secretado pelo suíno. Dentro desse

nitrogênio endógeno secretado, a lisina e a treonina constituem 8,39 e 6,14% dessas secreções, respectivamente. O nitrogênio oriundo da descamação das células da parede do trato gastrointestinal representa de 6 a 7% (AUCLAIR, 1986).

Grande parte das secreções endógenas é constituída de muco, que serve para proteção do sistema digestivo contra patógenos e fatores antinutricionais. Esse muco é constituído de glicoproteínas, como as mucinas, que possuem aproximadamente 28 a 35% de treonina na composição total de aminoácidos. A secreção de mucina representa em torno de 14 a 33% das exigências de aminoácidos para manutenção e 61% das exigências de manutenção de treonina para o animal (NICHOLS & BERTOLO, 2008).

Acredita-se que aproximadamente um quarto dos aminoácidos endógenos secretado para digestão do alimento, não são reabsorvidos até o final do trato digestivo dos animais. As perdas endógenas de aminoácidos correspondem a  $70 \text{ g kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ . A proteína endógena não reabsorvida pelo intestino é eliminada juntamente com a proteína de origem dietética não absorvida pelo intestino e a proteína de origem microbiana, no final do trato digestivo. Portanto, conhecer somente a diferença do nitrogênio ingerido e o nitrogênio excretado nas fezes demonstra a digestibilidade aparente da proteína. A determinação da digestibilidade verdadeira do nitrogênio exige a distinção do nitrogênio de origem proteica e de origem endógena que são excretados pelas fezes dos animais (STEN et al., 2007).

Estudos demonstram que animais mais jovens apresentam maiores perdas de nitrogênio de origem endógena que animais adultos. Essa afirmação é baseada em trabalhos comparando as perdas endógenas de suínos com 10 kg PV e de suínos com 30 e 100 kg PV, que apresentaram uma excreção endógena de 3,5 a 4,6 g contra uma excreção de  $1,7 \text{ g N kg}^{-1}$  de matéria seca ingerida.

Nos suínos, a treonina compõe maior parcela das perdas endógena comparada à lisina. As perdas endógenas de treonina são em torno de  $0,78 \text{ g PV}^{0,75}$  enquanto as perdas endógenas de lisina são de  $0,74 \text{ g PV}^{0,75}$  (NICHOLS & BERTOLO, 2008).

O consumo de matéria seca pelo animal também influencia as perdas endógenas, pois quanto maior o consumo de alimento, maior será a demanda de secreções de proteínas endógenas para auxiliar na digestão do alimento. A quantidade de proteína endógena secretada e reaproveitada pelo intestino depende da quantidade e da fonte de proteína na dieta (BOISEN & MOUGHAN, 1996). O consumo de fibra, especificamente os polissacarídeos não amiláceos (celulose, hemicelulose e pectina), pelo animal, também influenciam no aumento das perdas endógenas de aminoácidos (ZHU et al., 2005).

A presença da fibra no trato gastrointestinal estimula a secreção de suco pancreático, bile e muco. Devido às características físicas, dietas ricas em fibra aumentam a descamação celular devido à sua maior abrasão com as paredes do sistema digestivo e provocam a adsorção de peptídeos, aminoácidos e enzimas digestíveis em sua estrutura, elevando as perdas de aminoácidos pelo animal (NYACHOTI et al., 1997).

Os fatores antinutricionais presentes na dieta aumentam o fluxo ileal de proteínas endógenas em suínos. De uma maneira geral as leguminosas podem conter fatores antinutricionais e outras substâncias nocivas à saúde do animal (NYACHOTI et al., 1997). Sendo que os fatores antinutricionais mais comuns são os inibidores de tripsina, lectinas e taninos (SILVA, 2000). O tanino e os inibidores de tripsinas elevam as perdas endógenas em suínos, pois reduzem a digestibilidade do alimento e dificultam a reabsorção das proteínas endógenas (BARTH et al., 1993).

A concentração de proteína na dieta aumenta as perdas endógenas de aminoácidos do suíno. Isso ocorre porque a quantidade de proteínas endógenas secretada pelo animal varia com a qualidade e a quantidade de proteína fornecida. Esse excesso de proteína presente no lúmen do sistema digestivo reduz a reabsorção das proteínas endógenas pelas paredes do intestino do suíno, aumentando sua presença nas fezes do animal (NYACHOTI et al., 1997).

## **2.7 Eficiência de deposição de lisina e treonina para suínos**

A eficiência de deposição de aminoácido representa a quantidade do aminoácido ingerido que é depositado na forma de proteína no corpo do animal, descontando as perdas metabólicas, os fatores antinutricionais da dieta e qualquer outro fato que não permita a utilização de 100% do aminoácido ingerido pelo animal para a deposição de proteína.

A eficiência de deposição de aminoácido é obtida pelo coeficiente angular da reta originada pela regressão do respectivo aminoácido retido e depositado (LIBAO-MERCADO et al., 2006). O coeficiente de inclinação da reta representa a eficiência de utilização do aminoácido, ou seja, a proporção do aminoácido ingerido que foi depositado no corpo do animal (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

Os fatores que afetam a eficiência de deposição dos aminoácidos foram estudados por Heger et al. (2002), que concluíram que a concentração relativa do aminoácido na dieta é o principal determinante da eficiência de utilização. Com níveis subótimos de ingestão, a

utilização dos aminoácidos é mais eficiente e somente uma pequena fração é degradada. Com o aumento da concentração do aminoácido limitante na dieta, a eficiência de utilização decresce em virtude de uma maior proporção deste aminoácido ser direcionada para processos metabólicos alternativos, não relacionados com a deposição proteica (HEGER & FRYDRYCH, 1989). Além disso, evidências experimentais sugerem que a eficiência com que um aminoácido é utilizado para a deposição corporal sofre influência de fatores como relação entre os aminoácidos essenciais e não essenciais nas dietas (HEGER & FRYDRYCH, 1989), idade, sexo, (D'MELLO, 2003) e o genótipo do animal (FATUFE et al., 2004).

A ineficiência do processo de deposição de aminoácidos esta atribuída, principalmente, às perdas basais de aminoácidos do sistema digestivo e tegumentar, do catabolismo do nitrogênio urinário excretado e à taxa de catabolismo de aminoácidos para o *turnover* proteico (NRC, 2012).

Os valores de eficiência de deposição de lisina citados na literatura apresentam variação considerável, possivelmente em razão de diferenças metodológicas entre os experimentos e as premissas assumidas nos cálculos. Alguns valores de eficiência de lisina são próximos a 90% (MOEHN et al., 2004, ZHU et al., 2005, HEGER et al., 2008). Valores de eficiência de deposição inferiores foram encontrados por Bikker et al. (1994) e Sandberg et al. (2005), de 74 e 75%, respectivamente. Após extensa revisão de literatura, o NRC (1998) adotou (indiretamente) em seu modelo o valor de 0,58 para a eficiência de deposição de lisina. A última versão publicada pelo NRC (NRC, 2012), traz uma eficiência de deposição de lisina de 75% para utilização em modelos mecanísticos de simulação do crescimento suíno.

A eficiência com que a treonina ingerida é retida nas proteínas corporais é controversa, variando de 59 a 90% (FERGUNSON & GOUS, 1994, LIBAO-MERCADO et al., 2006). Espera-se que a treonina seja utilizada menos eficientemente que a lisina, pois a lisina é utilizada quase que exclusivamente para síntese de proteína e sua taxa de *turnover* é relativamente menor que a taxa de *turnover* da treonina (ADEOLA, 1995, THONG & LIEBERT, 2004).

A determinação das exigências para a manutenção e a eficiência de deposição dos aminoácidos para crescimento constituem a base para a elaboração de modelos matemáticos que buscam descrever a relação entre o consumo de aminoácidos e sua utilização para manutenção e deposição da proteína corporal, permitindo simular as respostas dos animais mantidos sob diferentes condições de criação (POMAR et al., 2007)

Tendo em vista a variabilidade dos resultados obtidos nos estudos que determinaram as exigências de manutenção, a constante evolução genética dos suínos e a escassez de

publicações acerca das eficiências de utilização dos aminoácidos, é imprescindível a realização de novos estudos, possibilitando a obtenção de padrões nutricionais cada vez mais acurados e precisos.

### **3 ARTIGO 1 - MAINTENANCE REQUIREMENT AND MARGINAL EFFICIENCY OF LYSINE UTILIZATION FOR PIGS**

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas de publicação da revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.



## Maintenance requirement and marginal efficiency of lysine utilization for pigs

Marcos Speroni Ceron<sup>(1)</sup>, Vladimir de Oliveira<sup>(1)</sup>, Paulo Alberto Lovatto<sup>(2)</sup> e Marcos Martinez do Vale<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Zootecnia, Avenida Roraima n° 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi CEP 97105900, Santa Maria, RS. E-mail: marcosperoni@gmail.com, v\_oliveira@yahoo.com.br, mmdovale@hotmail.com. <sup>(2)</sup>*in memorian.*

Abstract - The aim of this experiment was to determine the maintenance requirements and marginal efficiency of utilization of lysine, through the nitrogen balance technique. Twelve castrated pigs weighing  $52 \pm 2$  kg of body weight were kept in metabolism crates in temperature-controlled room of  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ . The pigs were distributed in four diets formulated to supply 30, 50, 60 and 70% of expected standardized digestible lysine requirements using a changeover design with two periods (seven to adaptation and five collection). All of other essential amino acids were furnished at a minimum of 15% excess level relative to the level of the lysine. The feed was provided to cover 2.6 times the metabolizable energy requirements needed to maintenance with a daily adjustment according to the expected gain of 0.8 kilograms. There was no difference ( $P > 0.00$ ) in dry matter intake and metabolizable energy intake between treatments. The amount nitrogen excreted represents on average 46% of the nitrogen ingested with 35% of the nitrogen excreted in feces and 65% in urine. The total losses were lysine  $36.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$  resulting in maintenance requirement of  $40.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$ . In our experiment the marginal efficiency of lysine utilization was 90% meaning that only 10% of estimated intake of standardized lysine was not recovered in the body protein.

Index terms: amino acids requirement, nitrogen, pig nutrition, pig production.

### **Exigência de manutenção e eficiência marginal de deposição de lisina para suínos**

Resumo - O objetivo do experimento foi determinar a exigência de manutenção e eficiência marginal de utilização da lisina para deposição de proteína, através da técnica de balanço de nitrogênio. Foram utilizados 12 suínos castrados com peso vivo médio de  $52 \pm 2$  kg, alojados em gaiolas metabólicas, mantidos em sala climatizada com temperatura de  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ . O delineamento experimental foi um changeover constituído de quatro dietas elaboradas para atender 30, 50, 60 e 70% das exigências nutricionais de lisina digestível estandardizada. Os demais aminoácidos foram adicionados às dietas para atingir a proporção de, no mínimo, 15% de suas exigências expressas em relação à lisina. A quantidade de ração fornecida foi calculada para suprir 2,6 vezes a energia metabolizável de manutenção e ajustada diariamente de acordo com uma taxa de ganho diário de 0,8 kg. O experimento foi dividido em dois períodos consecutivos (sete dias de adaptação e cinco dias de coleta). Não houve diferença ( $P>0,00$ ) na matéria seca ingerida e energia metabolizável ingerida entre os tratamentos. O nitrogênio excretado representou, em média, 46% do nitrogênio ingerido, sendo que 35% do nitrogênio excretado foi eliminado pelas fezes e o restante (65%) na urina. As perdas totais de lisina foram de  $36,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  resultando em uma exigência de manutenção diária de  $40,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ . Em nosso experimento a eficiência marginal de utilização de lisina foi de 90%, ou seja, apenas 10% da lisina estandardizada estimada ingerida não foi recuperada nas proteínas corporais.

Termos para indexação: exigência de aminoácidos, nitrogênio, nutrição de suínos, suinocultura.

## Introduction

The understanding of nutritional requirements for pigs is essential to develop dietary strategies in order to maximize the economic profit and minimize the nutrient excretion. The factorial method to determine the amino acids requirements divides the total demands into two factors, maintenance and protein growth (Pomar et al., 2009; Sakomura & Rostagno, 2007).

The amino acids requirements for maintenance are based on the assumption that there is a constant metabolic activity. This results in the loss of nitrogen products that need to be restored in order to prevent a negative balance of nitrogen (Moughan, 2003). The main biological events that determine the maintenance requirements are the endogenous amino acids losses, inefficiency of the protein synthesis process, hair loss and desquamation (Moughan, 2003).

The protein growth or protein deposition capacity is influenced by factors such as genetics, gender, age and sanitary status of the animal. Knowledge about the protein deposition curve is vital information when there is an intention to use the factorial method in order to determine the requirements. Furthermore, it is necessary to have information about how the absorbed amino acids are efficiently used to form the body proteins.

The marginal efficiency of amino acids utilization may be estimated by the angular coefficient of the relationship between the ingested and retained amino acids. It must be provided a diet with different levels of limiting amino acid, which in turn, must be the only limiting factor for protein deposition. In other words, it must be below the requirement for maximum deposition.

The appropriate estimate of efficiency on using amino acids is essential to the prediction of body protein by utilizing mechanistic models of growth simulation

(Wecke et al., 2010). The values of marginal efficiency of lysine utilization cited in the studies show significant variations, possibly due to the methodological differences between experiments and premises assumed in the calculations.

Several studies were conducted to determine total requirements (maintenance and deposition) of lysine for growing pigs. However, there are few studies, in relation to the maintenance requirements and efficiency of using lysine for protein deposition. This information is vital to the development of models in order to estimate the pig growth (Pomar et al., 2007). Thus, the objective of this study was to determine the maintenance requirements and marginal efficiency of lysine utilization for growing pigs.

### **Material and Methods**

The aim of this experiment was to determine the maintenance requirements and marginal efficiency of utilization of lysine, through the nitrogen balance technique. Twelve castrated pigs weighing  $52 \pm 2$  kg of body weight were kept in metabolism crates in temperature-controlled room of  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ .

The pigs were distributed in four diets formulated to supply 30, 50, 60 and 70% of expected standardized digestible lysine requirements (NRC, 1998) using a changeover design with two periods (seven to adaptation and five collection) (Grill & Magee, 1976). All of other essential amino acids were furnished at a minimum of 15% excess level relative to the level of the lysine (Van Milgen et al., 2008). The feed was provided to cover 2.6 times the metabolizable energy requirements needed to maintenance ( $250 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ BW}^{0.60}$ ) with a daily adjustment according to the expected gain of 0.8 kilograms. This high-energy consumption by the animals ensured that the protein deposition was not affected by the concentration of energy in the diet (Möhn &

de Lange, 1998). The feed was distributed in four daily meals at 8:00, 11:00, 13:00 and 18:00 hours and the animals had free access to the water.

In the experiment, it was used the method of the total collection of feces. The beginning and end of the collection was determined by the appearance of marked feces (by adding 2% of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  to the diets). The animals' feces were collected two times a day, packed into plastic bags and kept in a freezer at  $-10^\circ$  Celsius. At the end of the experimental period, the feces were homogenized, samples of 0.5 kg were collected and partially dried in a forced ventilation oven ( $60^\circ\text{C}$  during 72 hours), and crushed for further analyses.

The urine excreted by the animals was drained into plastic containers. They contained 30 ml 3.5 M of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  to prevent bacterial contamination and nitrogen volatilization. Every 12 hours, after the homogenization, the volume and urine pH were measured, and that urine pH should be lower than three. After confirming that the urine pH was lower than three, a sample of 5% of the total amount of collected urine was withdrawn and kept refrigerated at  $4^\circ$  Celsius. However, in the occasions in which the urine pH was higher than three, it was adjusted by adding sulfuric acid so that the stored sample (5%) could present the pH lower than three.

The amino acids content of corn and soybean used in the diets were determined after acids hydrolysis by high performance liquid chromatography, at the Laboratório de Análises de Micotoxológicas da Universidade Federal de Santa Maria. The partially dried matter of the ingredients, rations and feces, were determined by a forced air oven at  $60^\circ\text{C}$  until reaching a constant weight. Subsequently, these partially dried samples were placed in a forced air oven at  $105^\circ\text{C}$  for 24 hours to determine the dry matter. The nitrogen of ingredients, rations, feces and urine was determined through the methodology of the AOAC (1995).

The retained nitrogen was obtained by the difference between the ingested nitrogen and total nitrogen eliminated through feces and urine (nitrogen balance). The protein deposition was obtained by multiplying the retained nitrogen by 0.0625, assuming that nitrogen constitutes 6.25% of the retained proteins (NRC, 1998). The amount of retained lysine was calculated by the difference between the ingested lysine and deposited lysine, assuming that constitutes 7.08% of body protein (Möhn et al., 2000). The maintenance lysine requirement was obtained in the intersection point between the regression line and the abscissa axis.

The marginal efficiency of lysine utilization was obtained by the angular coefficient of the line originated by the regression of the retained and deposited amino acid (Libao-Mercado et al., 2006). These values represent the consumption of amino acid test (lysine) in which its deposition is null (Edwards III et al., 1999). The experimental protocol was reviewed and approved by the Comitê de Ética em Experimentação Animal da Universidade Federal de Santa Maria (opinion 005/2012).

The obtained data were subjected to the analysis of variance, and the animal's effect, periods and treatment was used in the model. Subsequently, it was possible to perform a procedure of linear regression by using the Minitab program (McKenzie & Goldman, 1999).

## **Results and Discussion**

During the experimental period, the animals showed good health conditions and consumed all the provided feed. The results presented in table 2 indicate that, during the experimental periods, the increasing levels of standardized digestible lysine (SID lysine) did not affect ( $P > 0.05$ ) the intake of dry matter that was on average,  $97\text{g kg}^{-1} \text{PV}^{0.75}$ . The increase in the content of SID lysine of the diets provided linear growth ( $P < 0.01$ ) in the nitrogen intake (NI). However, it is emphasized that the relation between SID lysine

and NI remained constant between the treatments ( $0.31 \text{ g kg}^{-1} \text{ PV}^{0.75}$ ), indicating that the relationship between essential and nonessential nitrogen (NE:NNE) of the diets was similar. These results are significant because the ratio NE:NNE influences the efficiency of utilization of NI (Heger et al., 2007).

The amount of nitrogen excreted (NE) represented, on average, 47% of NI. Thus, 35% was excreted in feces and 65% in urine. These results differ from those obtained by Heger et al. (2008), who found that only 16% of NI was excreted. Although the proportions disposed in feces and urine were similar to those in this study (34% and 66% in feces and urine, respectively). These differences may be explained by the characteristics of experimental diets. In this experiment, most of the NI was derived from corn and soybean meal. Heger et al. (2008) used purified diets, in which the whole nitrogen was in the form of synthetic amino acids that are considered 100% digestible (Nyachoti et al., 1997). Furthermore, the use of purified diets reduces endogenous losses, and they reduce the animal loss of nitrogen (Stein et al., 2007).

The linear effect of lysine intake on the nitrogen retention shows that the efficiency of utilization this amino acid, for protein deposition, was constant within the evaluated limits. Heger et al. (2002) found linear increase in nitrogen retention when the limiting amino acid responded to 85% of the requirements for maximum protein deposition. In this experiment, the diet with a greater amount of lysine provided 70% of the calculated requirements on SID lysine to ensure that the efficiency could be calculated within limits at which the response was linear.

The relationship between efficiency of lysine utilization and standardized digestible lysine ingested (Figure 1) was described by the equation:  $y = -0.0364 + 0.900x$ ,  $\text{g kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75} \text{ ao dia}$  ( $R^2 = 0.97$ ), which indicates that daily basal endogenous losses of lysine totaled  $36.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$ . These results lead to a need for daily intake

of  $40.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$  of SID lysine to reach the equilibrium of lysine. In other words, they represent the estimate of maintenance lysine requirement.

The maintenance lysine requirement, in this study, is similar to those found by Fuller et al. (1989), Heger et al. (2002) and Roth et al. (2003), which were 36, 39 and 38  $\text{mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$ , respectively. However, Riegel & Susenbeth (2009) obtained an estimate 60% higher than the one found in the present research ( $65 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$ ).

The maintenance requirement of amino acids is mainly due to basal endogenous losses, protein turnover, losses of hair and desquamation (Moughan, 2008). Applying the estimates proposed by Noblet et al. (2002) and Moughan (2008) for these components, it is possible to determine through the information obtained in this experiment that the maintenance requirement of calculate SID lysine could be  $56.8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$ . In other words, it is 41% greater than the one estimated in the present study.

In relation to the lysine, these components contribute with 54, 38 and 8% of maintenance requirements for a pig weighing 50 kilograms. The angular coefficient of the line between the retention of lysine and standardized lysine intake indicates that the marginal efficiency of utilization is of 90%. That is to say, 10% of the absorbed lysine was lost during the metabolism. A high efficiency of lysine utilization was also found by other authors: 90% (Gahlet al., 1992), 91% (Heger et al., 2002), 89% (Libao-Mercado et al., 2006) and 91% (Heger et al., 2008).

The high efficiency of lysine utilization might be associated with its lower rate of turnover compared to methionine, e.g. (Chung & Baker, 1992). The proportion of what is provided in relation to lysine requirements for maximizing the protein accretion could also determine its conservation. It is possible to verify that lysine is retained with greater efficiency (95% versus 15%) when the number of intakes represents 40% or



100% of the requirements calculated, respectively (Heger et al., 2008).

The lysine synthesized by microorganisms found in the gastrointestinal tract may contribute more significantly when the consumption is lower than the demand, resulting in efficiency of utilization increase (Torrallardona et al., 2003). In this study, the maximum level of lysine supplied accounted for approximately 70% of the calculated requirements for maximum protein retention.

If these differences exist, the assumption of constant efficiency of amino acids retention normally considered in simulation models of pig growth will become invalid. Moreover, when including experimental levels just below the assumed requirements of the amino acid under study, it may be overestimated the efficiency of utilization and reducing its practical applicability.

Estimates of the marginal efficiency of lysine retention inferior to those obtained in this article are recommended in simulation models of growth or nutritional requirements (72%) (Van Milgen et al., 2008) and (75%) (NRC, 2012). Several factors might contribute to the differences between these data and the ones obtained in the present research. Among them, it is possible to highlight the methodology used (N balance *versus* comparative slaughter), lysine digestibility, lysine ratio in the body protein and, as it was already discussed, the contents of lysine used.

The protein retention is overestimated by the method of N balance when compared to the comparative slaughter (Just et al., 1982; Quinous & Noblet, 1995; Oliveira & Fialho, 2010) and, therefore, the efficiency of utilization N can be greater than that. The coefficients of ideal and standardized digestibility of soybean meal (90%) and corn (80%) were obtained from Sauvante et al. (2004), and they were implemented in the analyzed contents of lysine, in these ingredients (table 1). However, it is known that can be a considerable variation in this parameter. Ramirez (2011) analyzed 24

samples of soybean meal and found no correlation between lysine concentration and standardized digestible lysine. On the other hand, it was possible to prove that the ileal digestibility of lysine content was strongly correlated with the lysine content of soybean meal since the lysine average digestibility was 90% (Van Kempen et al., 2002). Another factor that could have influenced the estimates is the amount of lysine found in the deposited protein. In the present study, it is possible to conclude that the deposited body protein (N x 6.25) contained 7.08% of lysine, which was a similar value to the used by Van Milgen et al. (2008) and NRC (2012). Nevertheless, some studies show that the ratio of lysine in the body protein is 5.5% (Siebrits et al., 1986), 5.9% (Moughan & Smith, 1987) and 6% (Chung & Baker, 1992).

### Conclusion

1. The endogenous losses in growing pigs of lysine were  $36.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$ . Such losses generate a maintenance requirement of  $40.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$ .
2. In our experiment the marginal efficiency of lysine utilization was 90% meaning that only 10% of estimated intake of standardized lysine was not recovered in the body protein.

### References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists ). **Official methods of analysis of AOAC**. 12ed. Washington: AOAC International, 1995, 1141p.
- CHUNG, T. K.; BAKER, D. H. Ideal amino acid pattern for 10 kilogram pigs. **Journal Animal Science**, v.78, p.3102-3111, 1992.
- EDWARDS III, H. M.; FERNANDEZ, S. R.; BAKER, D. H. Maintenance lysine requirement and efficiency of using lysine for accretion of whole-body lysine and

protein in young chicks. **Poultry Science**, v.78, p.1412-1417, 1999.

FULLER, M. F.; McWILLIAN, R.; WANG T. C.; GILES R. 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, 1989.

GAHL, M. J.; CRENSHAW, T. D.; BENEVANGA, N. J. Amino acid composition and retention in growing pigs fed graded levels of lysine. **Journal of Animal Science**, v.70, p.66-74, 1992.

GILL, J.L.; MAGEE, W.T. Balanced two-period changeover designs for several treatments. **Journal of Animal Science**, v.42, p.775-777, 1976.

HEGER, J.; KRIZOVA, L.; M., S.; NITRAYOVA, S.; PATRAS, P.; HAMPEL, D. Individual response of growing pigs to sulphur amino acid intake. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.92, p.18-28, 2007.

HEGER, J.; PATRAS, P.; NITRAYOVA, S.; KARCOL, J.; DOLESOVA, P. Lysine maintenance requirement and efficiency of its utilisation in young pigs as estimated by comparative slaughter technique. **Archives of Animal Nutrition**, v.62, p.182-192, 2008.

HEGER, J.; KRÍZOVÁ, L.; SUSTALA, M.; NITRAYOVÁ, PATRÁS. P.; HAMPEL, D. Individual response of growing pigs to sulphur amino acid intake. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.92, p.18-28, 2007.

HEGER, J.; VAN PHUNG, T.; KRIZOVA, L. Efficiency of amino acid utilization in the growing pig at suboptimal levels of intake: Lysine, sulphur amino acids and tryptophan. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.86, p.153-165, 2002.

JUST, A. The influence of cured fibre from cereals on the net energy value of diets for growth in pigs. **Livestock Production Science**, v.9, p.569-580, 1982.

LIBAO-MERCADO, A. J.; LEESON, S.; MARTY, B. J.; LANGE C. F.M. Efficiency of utilizing ileal digestible lysine and threonine for whole body protein deposition in growing pigs is reduced when dietary casein is replaced by wheat shorts. **Journal of Animal Science**, v.84, p.1362-1374, 2006.

MCKENZIE, J.; GOLDMAN, R. N. **The student edition of minitab for windows manual** Belmont: 1999. 592 p.

MÖH, S.; de LANGE, C. F. M. The effect of body weight on the upper limit to protein deposition in a defined population of growing gilts. **Journal of Animal Science**, v.76, p.124-133, 1998.

MÖHN, S.; GILLIS, A. M.; MOUGHAN, P. J.; LANGE, C. F. M. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. **Journal of Animal Science**, v.78, p.1510-1519, 2000.

MOUGHAN, P. J. Simulating the partitioning of dietary amino acids: New directions. **Journal of Animal Science**, v.81, p.60-67, 2003.

MOUGHAN, P.J. Efficiency of amino acid utilization in simple-stomached animals and humans – a modeling approach. In: FRANCE; J.; KEBREAB, E.(Ed.). **Mathematical modeling in animal nutrition**. Palmerston North: Massey University; London: British Library, 2008.p.241-253.

MOUGHAN, P. J.; SMITH, W. C.; PEARSON, G. Description and validation of a model simulating growth in the pig. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.30, p.481-489, 1987.

NOBLET, J.; SÈVE, B.; JONDREVILLE, C. Valeurs nutritives pour les porcs. In: SAUVANT, D.; PEREZ, D.; TRAN, J. M.G. (Ed.). **Tables de composition et de valeur nutritive des matiè`res premiè`res destinè`es aux animaux d'è`levage: porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons**. INRA:Versailles, 2002.

p.25-35.

NRC. **Nutrient requirements of swine**. v.10, Washington: National academy, 1998. 189p.

NRC. **Nutrient requirements of swine**. v.11, Washington: National academy, 2012. 400p.

NYACHOTI, C. M.; DE LANGE, C. F. M.; MCBRIDE, B. W.; SCHULZE, H. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. **Canadian journal of animal science**, v.77, p.149-163, 1997.

OLIVEIRA, V.; FIALHO, E. T. Retenção de nitrogênio em suínos na fase de crescimento obtida pelos métodos de abate comparativo e balanço do nitrogênio. **Archives of Veterinary Science**, v.15, p.86-93, 2010.

POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; ZHANG, G. H.; POMAR, J.; LOVATTO, P. A. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.226-237, 2009.

POMAR, C.; J., P.; BABOT, D.; DUBEAU, F. Effet d'une alimentation multiphase quotidienne sur les performances zootechniques, la composition corporelle et les rejets d'azote et de phosphore du porc charcutier. **Journées Recherche Porcine**, v.39, p.23-30, 2007.

QUINOUS, N.; NOBLET, J. Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.73, p.1567-1575, 1995.

RAMIREZ, E. M. **Variations of amino acid standardized ileal digestibility in soybean meals**. 2011. 65p. Dissertação (Mestrado) – Virginia State University, Virginia.

RINGEL, J.; SUSENBETH, A. Lysine requirement for maintenance in growing pigs. **Livestock Science**, v.120, p.144-150, 2009.

ROTH, F. X.; B. JAHN, B. M.; SCHÖNBERGER, W. 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, 2003. 717-720.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, 2007. 238p.

SAUVANT, D.; PEREZ, J. M.; TRAN, G. **Tables of composition and nutritional value of feed materials. Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish**. Paris: INRA, 2004. 304p.

SIEBRS, F. K.; KEMM, E. H.; RAS, M. N.; BARNES, P.M.; **South African Journal of Animal Science**, v.16, p.23-27, 1986.

STEIN, H. H.; SÈVE, B.; FULLER, M. F.; MOUGHAN, P. J.; DE LANGE, C. F. M. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. **Journal of Animal Science**, v.85, p.172-180, 2007.

TORRALLARDONA, D.; HARRIS, I. C.; FULLER, M. F. Pigs' gastrointestinal microflora provide them with essential amino acids<sup>1,2</sup>. **American Society for Nutritional Sciences**, v.133, p.1127-1131, 2003. Regional and processor variation in the ileal digestible amino acid content of soybean meals measured in growing swine.

VAN KEMPEN, T. A. T. G.; KIM, I. B.; JANSMAN, A. J. M.; VERSTEGEN, M. W. A.; HANCOCK, J. D.; LEE, D. J.; GABERT, V. M.; ALBIN, D. M.; FAHEY, G. C.; GRIESHOP, C. M.; MAHAN, D. **Journal of Animal Science**, V.80, p.429-439, 2002.

VAN MILGEN, J.; VALANCOGNE, A.; DUBOIS, S.; DOURMAD, J.; SÈVE, B.; NOBLET, J. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.143, p.387-405, 2008.

WECKE, C.; LIEBERT, F. Optimal dietary lysine to threonine ratio in pigs (30-110 kg

bw) derived from observed dietary amino acid efficiency. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.94, p.1-9, 2010.

#### **Acknowledgment**

To Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brazil, for the financial support to this project.

**Table 1.** Calculated and centesimal composition of pigs' diets fed with increasing levels of lysine.

Ingredients	Diet			
	Level of lysine (% of requirements)			
	30	50	60	70
	%			
Corn	15.60	21.84	27.77	33.85
Soybean Meal	10.40	14.56	18.51	22.57
Starch	59.90	48.96	38.55	27.85
Sugar	10.00	10.00	10.00	10.00
Soybean Oil	1.00	1.50	2.00	2.50
DL_Methionine	0.050	0.070	0.090	0.115
L_Threonine	0.035	0.045	0.055	0.080
L_Tryptophan	0.015	0.020	0.025	0.035
Bicalcic Phosphate	1.5	1.5	1.5	1.5
Calcareous	0.9	0.9	0.9	0.9
Salt	0.4	0.4	0.4	0.4
Vitaminic and Mineral Premix	0.2	0.2	0.2	0.2
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
	Nutritional Values calculated			
CP (%)	6.50	8.80	11.00	13.30
ME (Kcal kg <sup>-1</sup> )	3432	3424	3418	3412
Lysine (%) <sup>(1)</sup>	0.29 <sup>(2)</sup> (100) <sup>(3)</sup>	0.41 (100)	0.52 (100)	0.63 (100)
Threonine (%)	0.23 (79)	0.32 (78)	0.41 (79)	0.51 (81)
Methionine (%)	0.13 (45)	0.19 (46)	0.24 (46)	0.30 (48)
Methionine + Cystine (%)	0.22 (76)	0.31 (76)	0.40 (77)	0.49 (78)
Tryptophan (%)	0.08 (28)	0.10 (24)	0.13 (25)	0.17 (27)
Isoleucine (%)	0.24 (83)	0.33 (80)	0.42 (81)	0.51 (81)
Valine (%)	0.26 (90)	0.36 (88)	0.45 (87)	0.55 (87)
Leucine (%)	0.46 (159)	0.64 (156)	0.81 (156)	0.99 (157)
Phenilalanine (%)	0.27 (93)	0.38 (93)	0.49 (94)	0.59 (94)
Phenilalanine +Tyrosine (%)	0.46 (159)	0.65 (159)	0.83 (160)	1.01 (160)
Histidine (%)	0.15 (52)	0.21 (51)	0.26 (50)	0.32 (51)
Arginine (%)	0.38 (131)	0.54 (132)	0.68 (131)	0.83 (132)

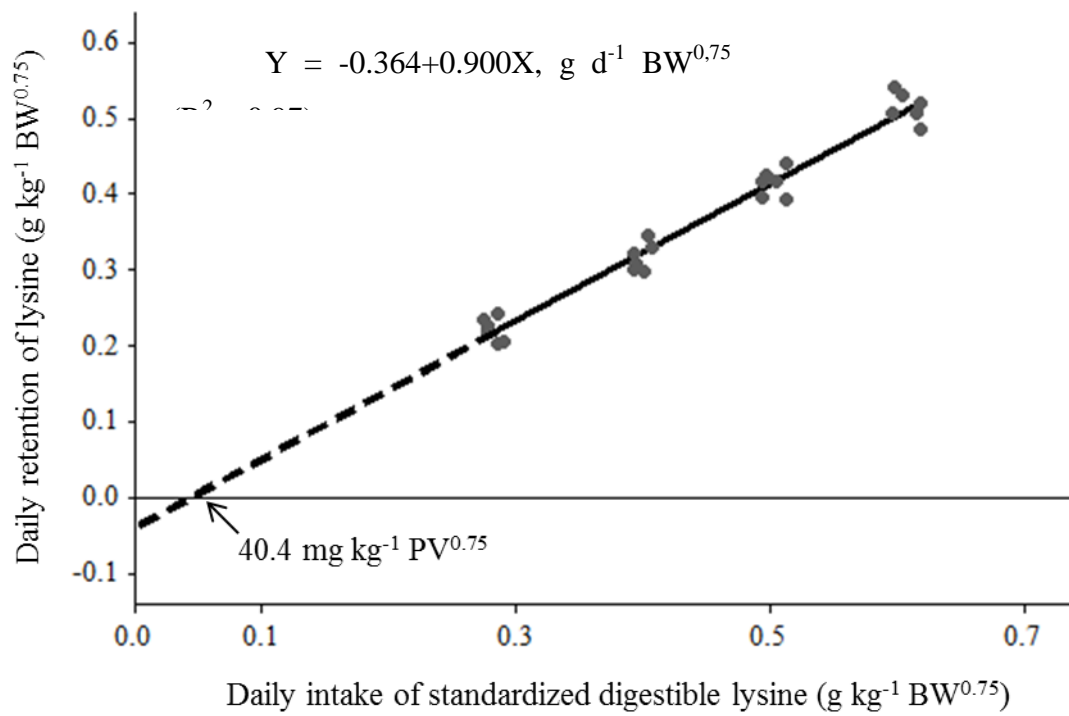
CP, crude protein; ME, metabolizable energy. <sup>(1)</sup>Values expressed as standardized digestible amino acid. <sup>(2)</sup>Values obtained by multiplying the coefficient of standardized digestibility cited in Sauvante et al. (2004) through the values of analyzed amino acids in corn and soybean meal. <sup>(3)</sup>Values in parentheses represent the relation between lysine and other amino acids of this experiment.



**Table 2.** Dry matter intake, metabolizable energy intake and nitrogen balance of pigs fed through diets with increasing levels of standardized digestible lysine (values expressed per day).

	Contents of lysine in the diet (% of requirements)				SEM	Prob.*
	30	50	60	70		
Observations	6	6	6	6	-	-
Average weight (kg)	51.16	51.85	52.00	52.56	0.40	NS
ME ingested (Kcal kg <sup>-1</sup> BW <sup>0.75</sup> )	376.2	374.5	372.9	370.9	1.11	NS
DMI ingested (g kg <sup>-1</sup> BW <sup>0.75</sup> )	97.24	97.21	96.81	96.75	0.29	NS
Nitrogen ingested (g kg <sup>-1</sup> BW <sup>0.75</sup> )	1.01	1.37	1.71	2.06	0.01	0.01
Fecal Nitrogen (g kg <sup>-1</sup> BW <sup>0.75</sup> )	0.18	0.24	0.25	0.30	0.03	NS
Urinary Nitrogen (g kg <sup>-1</sup> BW <sup>0.75</sup> )	0.35	0.39	0.50	0.60	0.04	0.01
Nitrogen excreted (g kg <sup>-1</sup> BW <sup>0.75</sup> )	0.53	0.63	0.75	0.90	0.03	0.03
Nitrogen absorbed (g kg <sup>-1</sup> BW <sup>0.75</sup> )	0.83	1.13	1.47	1.76	0.03	0.00
Nitrogen retained (g kg <sup>-1</sup> BW <sup>0.75</sup> )	0.48	0.74	0.96	1.16	0.03	0.00
Protein deposition (g kg <sup>-1</sup> BW <sup>0.75</sup> )	3.02	4.65	6.03	7.27	0.22	0.00

ME, metabolizable energy; SEM, standard error of the mean; DMI, dry matter intake; Prob., Probability; NS, no significant . \*adjusted treatment effects.



**Figure 1.** Retention of lysine (y) as a function of the standardized digestible lysine intake (x) in pigs fed with increasing levels of lysine.

## **4 ARTIGO 2- Exigência de manutenção e eficiência marginal de deposição de treonina em suínos**

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas de publicação da revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.

## **Exigência de manutenção e eficiência marginal de deposição de treonina em suínos**

Resumo – O objetivo do experimento foi determinar a exigência de manutenção e eficiência marginal de utilização da treonina para deposição de proteína, através da técnica de balanço de nitrogênio. Foram utilizados 12 suínos castrados com peso vivo médio de  $72 \pm 2$  kg, alojados em gaiolas metabólicas, mantidos em sala climatizada com temperatura de  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ . O delineamento experimental foi um changeover constituído de quatro dietas elaboradas para atender 30, 45, 60 e 70% das exigências nutricionais de treonina digestível estandardizada. Os demais aminoácidos foram adicionados às dietas para atingir a proporção de, no mínimo, 15% de suas exigências expressas em relação à treonina. A quantidade de ração fornecida foi calculada para suprir 2,6 vezes a energia metabolizável de manutenção e ajustada diariamente de acordo com uma taxa de ganho diário de 0,8 kg. O experimento foi dividido em dois períodos experimentais consecutivos (sete dias de adaptação e cinco dias de coleta). A matéria seca ingerida e energia metabolizável ingerida diferiram ( $P < 0,00$ ) entre os tratamentos. O nitrogênio excretado representou, em média, 43% do nitrogênio ingerido, sendo que 35% do nitrogênio excretado foi eliminado pelas fezes e o restante (65%) na urina. As perdas totais de treonina foram de  $46,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  resultando em uma exigência de manutenção diária de  $62,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ . Em nosso experimento a eficiência marginal de utilização de treonina foi de 74%, ou seja, 26% da treonina estandardizada ingerida não foi recuperada nas proteínas corporais.

Termos para indexação: dieta, nitrogênio, nutrição, proteína, suinocultura.

### **Maintenance requirement and marginal efficiency of threonine utilization for pigs**

Abstract - The aim of this experiment was to determine the maintenance requirements and marginal efficiency of utilization of threonine, through the nitrogen balance technique. Twelve castrated pigs weighing  $72 \pm 2$  kg of body weight were kept in metabolism crates in temperature-controlled room of  $22 \pm 3^\circ\text{C}$ . The pigs were distributed in four diets formulated to supply 30, 45, 60 and 70% of expected standardized digestible threonine requirements using a changeover design with two periods (seven to adaptation and five collection). All of other essential amino acids were furnished at a minimum of 15% excess level relative to the level of the threonine. The feed was provided to cover 2.6 times of the metabolizable energy requirements needed to maintenance with a daily adjustment according to the expected gain of 0.8 kilograms. There was difference ( $P>0.00$ ) in dry matter intake and metabolizable energy intake between treatments. The amount nitrogen excreted represents on average 43% of the nitrogen ingested with 35% of the nitrogen excreted in feces and 65% in urine. The total losses were threonine  $46.2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$  resulting in maintenance requirement of  $62.2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$ . In our experiment the marginal efficiency of threonine utilization was 74% meaning that 26% of intake standardized threonine was not recovered in the body protein.

Index terms: diet, nitrogen, nutrition, protein, pig production.

## Introdução

Conhecer a exigência de manutenção e a eficiência de utilização de aminoácidos é indispensável para o desenvolvimento de modelos de simulação de crescimento que possibilitam determinar as exigências de aminoácidos para suínos (Thong & Liebert, 2004). A determinação adequada das exigências de aminoácidos permite reduzir os custos de produção devido ao fornecimento excessivo de nutrientes aos animais (OLIVEIRA et al., 2005), uma vez que alimentação representa, em média, 70% dos custos de produção (TALAMINI et al., 2006).

A treonina tem papel importante na quantidade de aminoácidos que o animal exige para sua manutenção, uma vez que constitui uma parcela significativa das secreções endógenas intestinais. A secreção mucosa contém mucoproteínas, como as mucinas, por exemplo, nas quais a treonina corresponde entre 28 a 35% do total de aminoácidos que as constituem (Nichols & Bertolo, 2008). Estima-se que a secreção de mucina representa em torno de 14 a 33% das exigências de aminoácidos para manutenção e 61% das exigências de manutenção de treonina para o animal. A treonina também constitui parte do suco pancreático, secreções biliares e é utilizada durante o processo de síntese e renovação celular (Fuller et al., 1994).

Para a determinação das exigências de aminoácidos pelo método fatorial é necessário conhecer sua eficiência de utilização para deposição proteica. A maior parte dos modelos de simulação de crescimento utiliza o método fatorial para estimar exigências nutricionais e, assim, a eficiência de utilização dos aminoácidos é fundamental tanto para a implantação de modelos mecanísticos como para sua construção (Wecke & Liebert, 2010).

Poucos trabalhos foram realizados para determinar as exigências de manutenção e a eficiência de deposição da treonina para suínos, além constar uma grande variação

das exigências de manutenção entre os diferentes autores. Como a treonina é o terceiro aminoácido limitante em dieta a base de milho e soja (Lewis, 2003) e tem grande participação nas exigências de manutenção, estudos sobre as exigências de manutenção de treonina e sua eficiência de deposição são importantes. Assim, o objetivo desse estudo foi determinar as exigências de manutenção e a eficiência marginal utilização do aminoácido treonina para a deposição de proteína em suínos.

### **Material e Métodos**

Um experimento foi realizado utilizando 12 suínos castrados em fase de crescimento com peso vivo médio de  $72 \pm 2$  quilogramas. Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas, mantidas em ambiente com temperatura controlada para atingir a temperatura média de 22°C. O experimento foi dividido em dois períodos de 12 dias (sete dias de adaptação a dieta experimental e cinco dias de coleta). Os animais foram distribuídos por meio de um delineamento changeover (Gill & Magee, 1976) em quatro dietas experimentais, totalizando seis repetições por tratamento, considerando o animal a unidade experimental.

As dietas experimentais foram elaboradas pelo conceito de proteína ideal para atender 30, 50, 60, 70% das exigências nutricionais de treonina sugeridas pelo (NRC, 1998). Os demais aminoácidos foram adicionados às dietas para atingir a proporção de, no mínimo, 15% de suas exigências expressas em relação à treonina (Van Milgen et al., 2008). A composição centesimal e calculada da dieta experimental está apresentada na tabela 1.

A dieta foi fornecida de acordo com um consumo de 2,6 vezes a energia metabolizável de manutenção ( $250 \text{ kcal Kg}^{-1} \text{ PV}^{0,60}$ ), considerando um ajuste no consumo diário de ração de acordo com a estimativa de ganho médio diário de 0,8

quilogramas. Este consumo elevado de energia pelos animais garantiu que a deposição de proteína não fosse afetada pela concentração de energia na dieta (Möhn & de Lange, 1998). O alimento foi distribuído em quatro refeições diárias, às 8, 11, 13 e 18 horas, e os animais tiveram livre acesso à água.

Foi utilizado o método de coleta total de fezes, sendo o início e o final da coleta determinados pelo aparecimento de fezes marcadas (através da adição de 2% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  às dietas). As fezes dos animais foram coletadas duas vezes ao dia, acondicionadas em sacos plásticos e conservadas em congelador a  $-10^\circ\text{C}$ . No final do período experimental, as fezes foram homogeneizadas e amostras de 0,5 kg foram coletadas e parcialmente secas em estufa de ventilação forçada ( $60^\circ\text{C}$  por 72 horas) e moídas para análises posteriores.

Toda a urina eliminada pelos animais foi drenada para recipientes plásticos contendo 30 ml 3,5 M de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para evitar a contaminação bacteriana e volatilização de nitrogênio. A cada 12 horas, após a homogeneização, o volume e o pH urinário eram medidos, e uma amostra de 5% do volume total de urina era retirada e conservada sob refrigeração de  $4^\circ$  Celsius. No caso do pH urinário ser superior a três, foi adicionado ácido sulfúrico para que a amostra armazenada tivesse pH inferior a três. O desperdício de ração e as sobras foram determinadas para cada animal. Posteriormente, essas sobras de ração foram pesadas e seu valor descontado do consumo de ração do animal.

O conteúdo de aminoácidos do milho e da soja utilizado na elaboração da dieta foi determinado pelo método de hidrólise ácida, com a utilização de cromatografia líquida, no Laboratório de Análises de Micotoxológicas da Universidade Federal de Santa Maria. A matéria seca dos ingredientes, fezes, rações e das sobras de rações, bem como o nitrogênio dos ingredientes, rações, fezes e urina foram determinados pela metodologia da AOAC (1995).



O nitrogênio retido foi obtido pela diferença entre nitrogênio ingerido e a soma do nitrogênio eliminado nas fezes e urina (balanço de nitrogênio). A deposição de proteína foi obtida multiplicando-se o nitrogênio retido por 0,0625, assumindo que o nitrogênio constitui 6,25% das proteínas retidas (NRC, 1998). A quantidade de treonina retida foi calculada pela diferença entre treonina ileal estandardizada ingerida e treonina depositada, assumindo constituir 3,79% da proteína corporal (de Lange et al, 2001). A exigência de manutenção de treonina foi obtida no ponto de intersecção entre a reta de regressão e o eixo das abscissas. A eficiência de utilização de treonina foi obtida pelo coeficiente angular da reta originada pela regressão entre treonina digestível ileal estandardizada e depositada (Libao-Mercado et al., 2006). O protocolo experimental foi revisado e aprovado pelo comitê de ética em experimentação animal da Universidade Federal de Santa Maria (parecer 005/2012).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando no modelo o efeito do animal, período e tratamento. Posteriormente foi realizado um procedimento de regressão linear utilizando o programa Minitab (McKenzie & Goldman, 1999).

### **Resultados e Discussão**

Durante o período experimental os animais apresentaram boas condições de saúde e tiveram consumo e ganho de peso de acordo com a expectativa.

Os dados de matéria seca ingerida, energia metabolizável ingerida e balanço de nitrogênio são apresentados na tabela dois.

A matéria seca ingerida (MSI) diferiu entre os tratamentos ( $P < 0,00$ ), embora a diferença entre o maior e o menor consumo foi ao redor de 1,3%. Quando expressos em termos absolutos, as diferenças no consumo foram aproximadamente de 31 g d<sup>-1</sup> (2281 e 2250, tratamentos 30% e 45% de ingestão de aminoácido teste, respectivamente).

Utilizando dados propostos por Van Milgen et al. (2008), calcula-se que as perdas endógenas totais de treonina provocadas pelo tratamento com maior consumo de matéria seca foram 20 mg superiores comparadas as do tratamento com menor consumo de matéria seca. Para estimar adequadamente perdas endógenas de aminoácidos é importante que a MSI seja constante entre os tratamentos. A diferença observada entre o tratamento de maior MSI foi pequena e possivelmente não comprometeu a estimativa das perdas endógenas de aminoácidos no nosso estudo.

Houve diferença ( $P < 0,00$ ) na ingestão de energia metabolizável (EM) entre os tratamentos, embora foi inferior a 2% se calculada entre os tratamentos de maior e menor consumo. A ingestão insuficiente de energia reduz a eficiência de utilização de treonina, quando esse aminoácido é ingerido abaixo da quantidade necessária para maximizar a deposição de proteína (Möhn & de Lange, 1998). No nosso experimento, a ração com maior relação entre treonina digestível estandardizada ingerida (TDestI) e energia metabolizável ingerida (TDestI:EMI) foi de 1,4, valor inferior ao recomendado para máxima deposição proteína de suínos com peso vivo de 70 kg, que é de 2,0 (NRC, 1998). Isso garante que a EM era abundante em relação a treonina e provavelmente não teve influência nos resultados obtidos.

O nitrogênio urinário (NU) foi influenciado pelos tratamentos e isso era esperado, pois a urina é a principal rota de excreção de nitrogênio. Cerca de 28% do nitrogênio ingerido (NI) foi eliminado por essa via. Em dietas purificadas, de alto valor biológico e fornecidas abaixo das exigências para máxima deposição de proteína, se constata que o NU representa cerca de 15% do NI (Chung & Baker, 1992; Heger et al., 2008). Esses dados confirmam a importância de ajustar o perfil de aminoácidos da dieta às exigências nutricionais dos animais, visando reduzir a excreção de nitrogênio tornando a atividade suinícola mais sustentável (Pomar et al., 2007).

O cálculo da relação linear entre NU e N digestível ingerido (NDI) indicou que o nitrogênio eliminado na urina devido à não utilização para síntese proteica foi de 0,290 g kg PV<sup>0,75</sup> para cada grama de NDI acima das exigências de manutenção (NU=0,05 + 0,290 NDI, g kg<sup>-1</sup> PV<sup>0,75</sup>). Esse valor é 45% superior ao encontrado por Sabin et al. (2000) que utilizou dietas purificadas. A composição das dietas influencia a quantidade de nitrogênio excretado na urina e esse fator deve ser considerado ao se comparar estudos e planejar dietas de menor impacto ambiental (Stein et al., 2007).

O teor de treonina da dieta influenciou (P<0,00) a retenção de nitrogênio. A proporção do NR foi, em média, 58% e 71% se expressa com base no NI e NDI, respectivamente. Esses resultados estão de acordo com Heger et al., (1998) e Libao-Mercado et al., (2006).

Ocorreu retenção de 0,71 g de nitrogênio por kg PV<sup>0,75</sup> (1,14\*6,25) a cada grama de NDI acima da manutenção (51 mg kg PV<sup>0,75</sup>). Com isso pode-se estimar que o tratamento com maior consumo de N digestível (7,1 g kg PV<sup>0,75</sup>) resultou numa deposição proteica de 177 gramas por dia, admitindo-se um suíno com 25 kg de peso vivo metabólico. Esses valores são elevados, se considerarmos que foram obtidos com animais ingerindo aproximadamente 70% das exigências calculadas do aminoácido limitante (treonina). Essa alta deposição de proteína pode ser explicada, em parte, pelo fato do método de balanço de N subestimar as perdas de N e, em decorrência, superestimar o N retido em proporções que podem variar de 15 a 30% (Just et al., 1982; Oliveira & Fialho, 2010).

A relação entre treonina retida e treonina digestível estandardizada (TDest) ingerida foi descrita pela equação:  $y = -0,0463 + 0,744X$ , g d<sup>-1</sup> PV<sup>0,75</sup> (R<sup>2</sup> = 0,93), que demonstra uma perda endógena diária de treonina de 46,3 mg kg<sup>-1</sup> PV<sup>0,75</sup>. Esses

resultados indicam que suínos necessitam ingerir diariamente  $62,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  de TDest para satisfazer sua exigência de manutenção (Figura 1).

A exigência de manutenção foi, em média, 16% superior às exigências encontradas por Fuller et al. (1989), de Lange et al. (2001) e Heger et al. (2002), que obtiveram estimativas de 53, 54, 49  $\text{mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ , respectivamente. No entanto representou 30% da exigência de manutenção encontrada por Paul et al. (2007), que verificaram  $205 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  utilizando meta-análise de 27 artigos.

A exigência de manutenção de aminoácidos decorre principalmente de perdas endógenas basais, *turnover* proteico e perdas por descamação da pele e pêlos (Moughan 1999; 2008). Aplicando as estimativas propostas por Moughan (2008) de perdas tegumentares de  $3,3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ , perdas devido a oxidação (*turnover* proteico) de  $13,8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$  e perda endógenas basais de  $0,330 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria seca ingerida propostas por Noblet et al. (2002), nos dados obtidos no presente experimento, verifica-se que a exigência de manutenção de TDest seria de  $45 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ , ou seja, 28% inferior a estimada no nosso estudo.

A menor exigência de manutenção encontrada por Fuller et al. (1989), de Lange et al. (2001) e Heger et al. (2002), pode ser explicada pelo fato desses autores trabalharem com dietas purificadas e semipurificadas, que reduzem as perdas endógenas de aminoácidos (Stein et al., 2007). A maior exigência de manutenção encontrada por Paul et al. (2007), por outro lado, pode ser explicada pelo fato que a base de dados que compõem a meta-análise em questão, é proveniente de uma combinação de dados de 27 experimentos realizados em diferentes condições experimentais.

O coeficiente angular da reta entre a retenção de treonina e o consumo de TDest indica que a eficiência marginal de deposição de proteína foi de 74%, ou seja, 26% da treonina absorvida foi perdida durante o metabolismo.

Resultados semelhantes de eficiência de deposição foram determinados por de Lange et al. (2001) (76%) e Heger et al. (2007) (67%). Autores como Heger et al. (2002) e Libao-Mercado et al. (2006) determinaram valores de eficiência de deposição superior ao do presente estudo, que foram 83 e 88%, respectivamente.

A composição da dieta é uma dos fatores que contribui para a variação observada nos resultados de eficiência de utilização da treonina (Heger et al., 2008). A baixa eficiência de deposição de treonina em relação a lisina ocorre porque a treonina integra parcela significativa das exigências de manutenção do suíno (Zhu et al., 2005), enquanto a lisina é utilizada quase que exclusivamente para deposição de proteína e possui uma baixa taxa de *turnover* proteico, o que eleva sua eficiência de deposição (Thong & Liebert, 2004).

### **Conclusão**

1. As perdas endógenas de treonina de suínos em crescimento foram de 46,2 mg kg<sup>-1</sup> PV<sup>0,75</sup>. Tais perdas geram uma exigência de manutenção de 62,2 mg kg<sup>-1</sup> PV<sup>0,75</sup>.
2. A eficiência marginal de utilização de utilização de treonina foi de 74%, ou seja, 26% da treonina estandardizada ingerida não foi recuperada nas proteínas corporais dos suínos.

## Referências

- AOAC. **Official methods of analysis**. 1995. 1141 p.
- BOISEN, S.; MOUGHAN, P. J. Dietary influence on endogenous ileal protein and amino acid loss in the pig - A review. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v.46, p.154-164, 1996.
- CHUNG, T. K.; BAKER, D. H. Apparent and true amino acid digestibility of a crystalline amino acid mixture and of casein: comparison of values obtained with ileal-cannulated pigs and cectomized cockerels. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3781-3790, 1992.
- DE LANGE, C. F. M.; GILLIS, A. M.; SIMPSON, G. J. Influence of threonine intake on whole-body protein deposition and threonine utilization in growing pigs fed purified diets. **Journal of Animal Science**, v.79, p.3087-3095, 2001.
- FULLER, M. F.; MILINE, A.; HARRIS, C. E.; REID, T. M. KEENAN, R. Amino acid losses in leostomy fluid on a protein-free diet. *American Journal of Clinical Nutrition*, v.59, p.70-73, 1994.
- FULLER, M. F.; MCWILLIAM, R.; WANG, T. C.; GILES, L. R. 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, 1989.
- GILL, J.L.; MAGEE, W.T. Balanced two-period changeover designs for several treatments. **Journal of Animal Science**, v.42, p.775-777, 1976.
- HEGER, J.; KRIZOVA, L.; M., S.; NITRAYOVA, S.; PATRAS, P.; HAMPEL, D. Individual response of growing pigs to sulphur amino acid intake. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.92, p.18-28, 2007.

HEGER, J.; PATRAS, P.; NITRAYOVA, S.; KARCOL, J.; DOLESOVA, P. Lysine maintenance requirement and efficiency of its utilization in young pigs as estimated by comparative slaughter technique. **Archives of Animal Nutrition**, v.62, p.182-192, 2008.

HEGER, J.; VAN PHUNG, T.; KRIZOVA, L. Efficiency of amino acid utilization in the growing pig at suboptimal levels of intake: Lysine, sulphur amino acids and tryptophan. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.86, p.153-165, 2002.

JANSMAN, A. J. M.; Smink, W., van Leeuwen, P., Rademacher, M.; Evaluation through literature data of the amount and amino acid composition of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.98, p.49-60, 2002.

JUST, N. A.; FERNANDEZ, J. A.; JORGENSEN, H. Nitrogen balance studies and nitrogen retention. In: INRA (Ed). **Physiologie digestive chez le port, Les colloques de l'INRA**, 1982. 111-112.

LEWIS, A. J. Amino acids in swine nutrition. **In: Swine Nutrition, 2 ed**, p.131-149, 2003.

LIBAO-MERCADO, A. J.; LEESON, S.; LANGER, S.; MARTY, B. J.; DE LANGE, C. F. M. Efficiency of utilizing ileal digestible lysine and threonine for whole body protein deposition in growing pigs is reduced when dietary casein is replaced by wheat shorts. **Journal of Animal Science**, v.84, p.1362-1374, 2006.

MCKENZIE, J.; GOLDMAN, R. N. **The student edition of minitab for windows manual**. Belmont: 1999. 592 p.

MÖHN, S.; DE LANGE, C. F. The effect of body weight on the upper limit to protein deposition in a defined population of growing gilts. **Journal of Animal Science**, v.76, p.124-133, 1998.

MOUGHAN, P. J. Protein metabolism in the growing pig. **In: A quantitative biology of the pig**. 1999. 48p.

MOUGHAN, P.J. Efficiency of amino acid utilization in simple-stomached animals and humans – a modeling approach. In: FRANCE, J.; KEBREAB, E. (Ed.). **Mathematical modelling in animal nutrition**. Palmerston North: Massey University; London: British Library, 2008. p.241-253.

NICHOLS, N. L.; BERTOLO, R. F. Luminal threonine concentration acutely affects intestinal mucosal protein and mucin synthesis in piglets. **The Journal of Nutrition**, v.138, p.1298-1303, 2008.

NRC. **Nutrient requirements of swine**. v.10, Washington: National academy, 1998. 189p.

OLIVEIRA, V.; FIALHO, E. T.; LIMA, J. A. F.; BERTECHINI, A. G.; FREITAS, R. T. F. Teor de proteína no metabolismo do nitrogênio e da energia em suínos durante o crescimento. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.866-874, 2005.

OLIVEIRA, V.; FIALHO, E. T. Retenção de nitrogênio em suínos na fase de crescimento obtida pelos métodos de abate comparativo e balanço do nitrogênio. **Archives of Veterinary Science**, v.15, p.86-93, 2010.

PAUL, S. S.; MANDAL, A. B.; CHATTERJEE, P. N.; BHAR, R.; PATHAK, N. N. Determination of nutrient requirements for growth and maintenance of growing pigs under tropical condition. **Animal**, v.1, p.269-282, 2007.

POMAR, C.; J., P.; BABOT, D.; DUBEAU, F. Effet d'une alimentation multiphase quotidienne sur les performances zootechniques, la composition corporelle et les rejets



d'azote et de phosphore du porc charcutier. **Journées Recherche Porcine**, v.39, p.23-30, 2007.

SABIN, J. E.; STAHLY, T. S.; FREDERICK, B. R. Establishment of the minimum biological capacity for nitrogen excretion in pigs. **Swine Research Report**, p.56-64, 2000.

STEIN, H. H.; SÈVE, B.; FULLER, M. F.; MOUGHAN, P. J.; DE LANGE, C. F. M. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. **Journal of Animal Science**, v.85, p.172-180, 2007.

THONG, H. T.; LIEBERT, F. Potential for protein deposition and threonine requirement of modern genotype barrows fed graded levels of protein with threonine as limiting amino acid. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.88, p.196-203, 2004.

TALAMINI, T. J. D.; MARTINS, F. M.; ARBOIT, C. WOŁOZSYN, N. Custos agregados da produção integrada de suínos nas fases de leitões e de terminação. **Custos e Agronegócio**, Recife, v.2, p. 64-83, 2006.

VAN MILGEN, J.; VALANCOGNE, A.; DUBOIS, S.; DOURMAD, J.; SÈVE, B.; NOBLET, J. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.143, p.387-405, 2008.

WECKE, C.; LIEBERT, F. Optimal dietary lysine to threonine ratio in pigs (30 – 110 kg bw) derived from observed dietary amino acid efficiency. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.94, p.1-9, 2010.

ZHU, C. L.; RADEMACHER, M.; DE LANGE, C. F. M. Increasing dietary pectin level reduces utilization of digestible threonine intake, but not lysine intake, for body protein deposition in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.83, p.1044-1055, 2005.

**Tabela 1.** Composição centesimal e calculada das dietas de suínos alimentados com níveis crescentes de treonina digestível estandardizada.

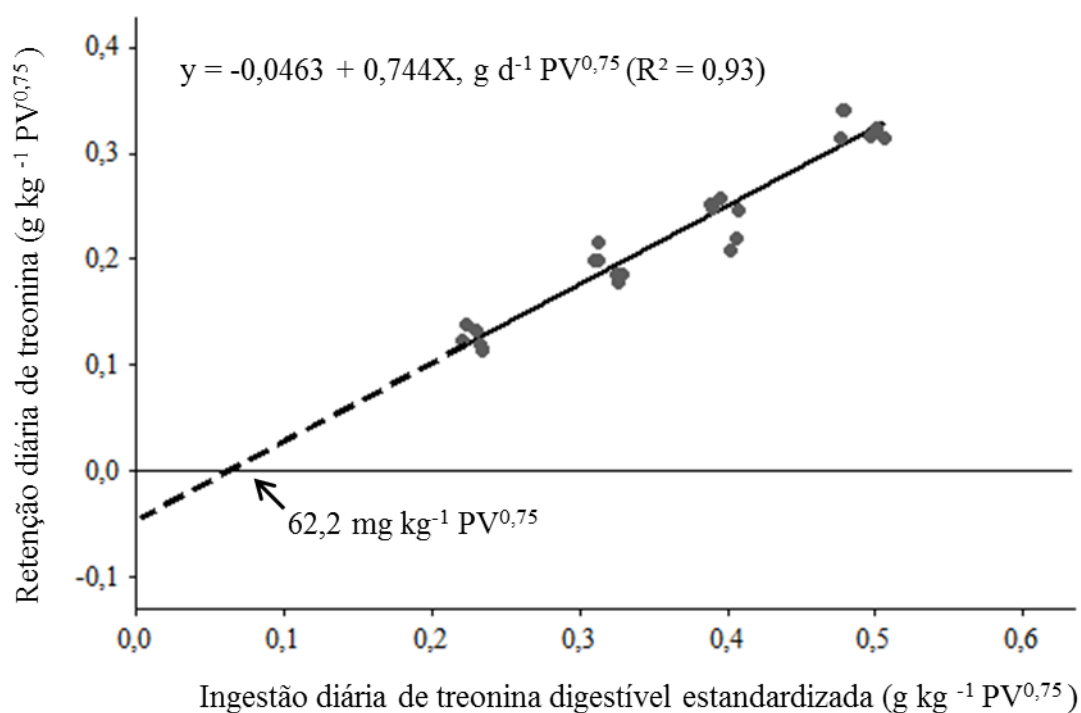
Ingredientes	Dieta			
	Nível de treonina (% das exigências)			
	30	45	60	70
	%			
Milho	15,60	21,84	27,76	33,85
Farelo de Soja	10,40	14,56	18,51	22,56
Amido	59,87	48,93	38,50	27,81
Açúcar	10,00	10,00	10,00	10,00
Óleo de Soja	1,00	1,50	2,00	2,50
L_Lisina	0,06	0,08	0,10	0,12
DL_Metionina	0,050	0,070	0,090	0,115
L_Triptofano	0,015	0,020	0,025	0,035
Fosfato Bicálcico	1,50	1,50	1,50	1,50
Calcário	0,90	0,90	0,90	0,90
Sal	0,40	0,40	0,40	0,40
Premix mineral e vitamínico	0,20	0,20	0,20	0,20
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
	Valores nutricionais calculados			
PB (%)	6,35	8,60	10,74	12,95
EM, (Kcal kg <sup>-1</sup> )	3430	3421	3414	3407
Treonina (%) <sup>(1)</sup>	0,18 <sup>(2)</sup> (100) <sup>(3)</sup>	0,25 (100)	0,31 (100)	0,38 (100)
Lisina (%)	0,32 (178)	0,44 (176)	0,56 (181)	0,68 (179)
Metionina (%)	0,12 (67)	0,16 (64)	0,21 (68)	0,26 (68)
Metionina + Cistina (%)	0,19 (106)	0,26 (104)	0,33 (106)	0,41 (108)
Triptofano (%)	0,06 (33)	0,09 (36)	0,11 (35)	0,14 (37)
Isoleucina (%)	0,20 (111)	0,28 (112)	0,36 (116)	0,44 (116)
Valina (%)	0,23 (128)	0,32 (128)	0,41 (132)	0,50 (132)
Leucina (%)	0,41 (228)	0,57 (228)	0,72 (232)	0,88 (232)
Fenilalanina (%)	0,28 (156)	0,39 (156)	0,50 (161)	0,60 (158)
Fenilalanina +Tirosina (%)	0,41 (228)	0,57 (228)	0,73 (235)	0,89 (234)
Histidina (%)	0,12 (67)	0,16 (64)	0,21 (68)	0,25 (66)
Arginina (%)	0,25 (139)	0,35 (140)	0,44 (142)	0,54 (142)

PB, proteína bruta; EM, energia metabolizável. <sup>(1)</sup>Valores expressados como aminoácido digestível estandardizado. <sup>(2)</sup>Valores obtidos multiplicando-se o coeficiente de digestibilidade estandardizada citados em Sauvant et al. (2004) pelos valores de aminoácidos analisados no milho e farelo de soja. <sup>(3)</sup>Valores entre parênteses representam a relação entre lisina e demais aminoácidos do presente experimento.

**Tabela 2.** Matéria seca ingerida, energia metabolizável ingerida e balanço de nitrogênio de suínos consumindo dietas com teores crescentes de treonina digestível estandardizada (valores expressos por dia).

	Níveis de treonina na dieta (% das exigências)				EPM	Prob,*
	30	45	60	70		
Observações	6	6	6	6	-	-
Peso médio (kg)	70,47	71,21	71,74	73,51	0,52	0,02
MS ingerida ( $\text{g kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ )	92,31	91,06	91,60	91,27	0,12	0,00
EM ingerida ( $\text{Kcal kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ )	356,9	354,8	353,4	351,4	0,48	0,00
Nitrogênio ingerido ( $\text{g kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ )	1,03	1,38	1,73	2,08	0,01	0,00
Nitrogênio fecal ( $\text{g kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ )	0,10	0,20	0,27	0,34	0,01	0,00
Nitrogênio urinário ( $\text{g kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ )	0,31	0,40	0,49	0,55	0,02	0,00
Nitrogênio excretado ( $\text{g kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ )	0,42	0,59	0,76	0,89	0,02	0,00
Nitrogênio absorvido ( $\text{g kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ )	0,92	1,19	1,46	1,74	0,01	0,00
Nitrogênio retido ( $\text{g kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ )	0,61	0,79	0,97	1,19	0,02	0,00
Deposição de proteína ( $\text{g kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ )	3,81	4,93	6,08	7,46	0,11	0,00

EM, energia metabolizável; EPM, erro padrão da média; MS, matéria seca ingerida; Prob., Probabilidade. \*médias ajustadas para efeito de tratamento.



**Figura 1.** Retenção de treonina (y) em função da ingestão de treonina digestível estandardizada (x) em suínos alimentados com níveis crescentes de treonina.

## 5 DISCUSSÃO GERAL

A linearidade na retenção e excreção de nitrogênio nos níveis subótimos de ingestão de aminoácidos no experimento com lisina e treonina estão de acordo com outros estudos realizados em condições semelhantes (BATTERHAM et al., 1990, ADEOLA, 1995, EDWARDS III et al., 1999, DE LANGE et al., 2001, HEGER et al., 2002, LIBAO-MERCADO et al., 2006). Isso garante que eficiência de deposição de aminoácidos tenha sido constante entre os diferentes níveis de aminoácidos ingeridos pelo animal, pois a eficiência de utilização desses aminoácidos foi calculada dentro de limite em que a deposição fosse linear (LIBAO-MERCADO et al., 2006).

A excreção de nitrogênio via fezes e urina também apresentou uma resposta linear, sendo observado que a urina é a principal via de excreção de nitrogênio ingerido nos dois experimentos, em média 34 e 66% do nitrogênio ingerido foi excretado através da urina no experimento com lisina e treonina, respectivamente. O comportamento linear da excreção de nitrogênio e a porcentagem de nitrogênio excretada via fezes e urina está de acordo com Heger et al. (2007).

A relação entre lisina retida e lisina digestível estandardizada ingerida foi descrita pela equação:  $y = -0,0364 + 0,900X$ ,  $\text{g kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$  ao dia ( $R^2 = 0,97$ ), que indica que as perdas endógenas diárias de lisina totalizaram  $36,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ . Esses resultados levam a uma necessidade de ingestão diária de  $40,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$  de lisina digestível estandardizada (LDest) para atingir o equilíbrio de lisina, ou seja, representa a estimativa da exigência de manutenção desse aminoácido. A exigência de manutenção de lisina do presente estudo é semelhante às encontradas por Fuller et al. (1989), Heger et al. (2002) e Roth et al. (2003), que foram de 36, 39 e  $38 \text{ mg kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ , respectivamente. Contudo, Riegel & Susenbeth (2009) obtiveram estimativa 60% superior ( $65 \text{ mg kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ ) a encontrada no presente estudo.

Já a relação entre treonina retida e TDest foi descrita pela equação:  $y = -0,0463 + 0,744X$ ,  $\text{g d}^{-1} \text{PV}^{0,75}$  ao dia ( $R^2 = 0,93$ ), que demonstra uma perda endógena diária de treonina de  $46,3 \text{ mg kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$ . Isso indica que os suínos necessitam de uma ingestão diária de  $62,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{PV}^{0,75}$  de TDest para satisfazer sua exigência de manutenção.

A exigência de manutenção de treonina calculada de nosso estudo foi em média, 16% superior às exigências as encontradas por Fuller et al. (1989), De Lange et al. (2001) e Heger

et al. (2002), que obtiveram estimativas de 53, 54, 49 mg kg<sup>-1</sup> PV<sup>0,75</sup>, respectivamente. No entanto foi 30% inferior à exigência de manutenção encontrada por Paul et al. (2007), que determinou uma exigência de manutenção de 205 mg kg<sup>-1</sup> PV<sup>0,75</sup> através de uma meta-análise contendo 27 artigos.

A manutenção é definida como o estado de equilíbrio aminoacídico, onde a ingestão de aminoácidos pelo animal é igual ao somatório das perdas de aminoácidos (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). Essas exigências são provenientes dos seguintes processos biológicos do organismo animal: o catabolismo de aminoácidos devido à ineficiência de processo de síntese proteica, aminoácidos perdidos pela queda de pêlos, descamação da epiderme e também dos aminoácidos endógenos secretados no intestino delgado que não são reabsorvido pelo animal (MOUGHAN, 2003).

A maior perda endógena de treonina (46,3 mg kg<sup>-1</sup> PV<sup>0,75</sup>) em relação a perda de lisina (36,4 mg kg<sup>-1</sup> PV<sup>0,75</sup>) pode ser explicado pelo fato da treonina participar com mais intensidade nas exigência de manutenção do animal comparada à lisina, pois a treonina participa de grande parte das secreções endógenas, em especial o muco, que serve para proteção do sistema digestivo contra patógenos e fatores antinutricionais. O muco é constituído de glicoproteínas, como as mucinas, que possuem aproximadamente 28 a 35% de treonina na composição total de aminoácidos (NICHOLS & BERTOLO, 2008). A secreção de mucina representa em torno de 14 a 33% das exigências de aminoácidos para manutenção e 61% das exigências de manutenção de treonina para o animal. Além de compor a constituição do suco pancreático, secreções biliares e fazer parte da síntese e renovação celular (FULLER et al., 1994).

Nesse estudo a eficiência marginal de deposição de lisina é de 90%, ou seja, 10% da lisina absorvida foi perdida durante o metabolismo. Uma alta eficiência de deposição de lisina também foi encontrada por outros autores: 90% (GAHL et al., 1992), 91% (HEGER et al., 2002), 89% (LIBAO-MERCADO et al., 2006) e 91% (HEGER et al., 2008).

No experimento com treonina a eficiência marginal de deposição de treonina foi de 74%, indicando que 26% da treonina absorvida pelo animal foi perdida durante o metabolismo. Resultados semelhantes de eficiência de deposição foram determinados por De Lange et al. (2001) (76%) e Heger et al. (2007) (67%).

A menor eficiência de deposição da treonina em relação à lisina se dá pelo fato da treonina ter grande participação nas exigências de manutenção do animal, pois está nas excreções do trato gastrointestinal, diminuindo assim sua deposição na forma de proteína estrutural no animal. Outro fator que também explica a menor eficiência de utilização de

proteína em relação à lisina está relacionado ao fato da lisina possuir um lento *turnover* e ser utilizada quase que em sua totalidade para deposição de proteína corporal, onde as perdas de aminoácidos obtidas pelos processos metabólicos são menores que no trato gastrointestinal (DE LANGE et al., 2001).

Apesar de todos os cuidados tomados no momento da execução dos experimentos e durante as análises laboratoriais, a técnica de balanço de nitrogênio superestima a retenção de nitrogênio do animal e por consequência a deposição de proteína, comparada ao método de abate comparativo (MÖHN & DE LANGE, 1998). Utilizando a técnica de abate comparativo a deposição de proteína é 2,5% menor em comparação a técnica de balanço de nitrogênio (QUINIOU et al., 1995). A maior retenção de nitrogênio apresentado pelo método de balanço de nitrogênio pode ser explicada pela volatilização do nitrogênio urinário entre os intervalos de coleta (MÖHN & DE LANGE, 1998).

Outra fonte de erro experimental é a perda de nitrogênio durante o processo de secagem das fezes para análises químicas (RIBEIRO et al., 2001). Segundo Just et al. (1982) essas perdas de nitrogênio podem variar de 15 a 30%, durante o processo de secagem por calor. Quiniou et al. (1995) encontrou uma perda de nitrogênio nas fezes, durante o processo de secagem, próxima de 15% do nitrogênio ingerido pelo animal. A técnica de balanço de nitrogênio também superestima a ingestão de nitrogênio pelo animal e apresenta problemas quanto à recuperação incompleta das excretas do animal, descamação e gases do trato gastrointestinal, levando a superestimação da retenção de nitrogênio (MACRAE et al., 1993). O nitrogênio também pode ser perdido através da volatilização da amônia urinária, quando o pH for superior a três e quando os recipientes de coleta não são hermeticamente fechados. Bem como o nitrogênio urinário pode ser perdido quando ele entra em contato com a superfície do coletor de urina (MOUGHAN et al., 2006). A eficiência de utilização não apresenta variação quando determinada pela técnica de balanço de nitrogênio ou abate comparativo. Na tentativa de reduzir a perda de nitrogênio de nosso estudo, as fezes e a urina foram coletadas duas vezes ao dia e conservadas em refrigerador. Também foram adicionados 30 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> nos recipientes de coleta de urina para evitar a contaminação bacteriana e volatilização de nitrogênio (MOUGHAN et al., 2006).

As informações geradas por esse estudo são importantes para o desenvolvimento de estimativas de exigência pelo método fatorial, que por sua vez, é o método preferencial para estimar as exigências nutricionais de suínos (POMAR et al., 2003, HAUSCHILD, 2010). Os modelos matemáticos estimam a exigência nutricional do suíno considerando que esse animal está inserido em um ambiente que lhe permite expressar ao máximo o seu potencial de

crescimento, no entanto, esses modelos apresentam limitações sobre os parâmetros de exigências de manutenção e eficiência de deposição de suínos doentes (HAUSCHILD, 2010), sendo que essas informações afetam diretamente o desenvolvimento do animal (RIDDER et al., 2012), portanto devem ser consideradas nos modelos de crescimento para suínos (HAUSCHILD, 2010), mostrando a importância de novos estudos sobre o assunto.



## 6 CONCLUSÃO

Para suínos em crescimento, a perda endógena de lisina foi de  $36,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ , gerando uma exigência de lisina para a manutenção de  $40,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ . Já para treonina a perda endógena foi de  $46,3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ , gerando uma exigência de manutenção de treonina de  $62,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV}^{0,75}$ .

A eficiência de utilização de lisina e treonina para deposição de proteína foram de 90 e 74%, respectivamente, ou seja, 10% da lisina e 26% da treonina estandardizada ingerida não foram recuperadas pelas proteínas corporais dos suínos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCS. Associação Brasileira de Criadores de Suínos. 2012. Disponível em <http://www.abcs.org.br/>. Acesso em: 8 jun. 2012.

ABIPECS. Produção de carne suína no Brasil. Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. **Relatório Anual**, 2009.

ADEOLA, O. Dietary lysine and threonine utilization by young pigs: efficiency for carcass growth. **Canadian Journal of Animal Science**, v.75, p.445-452, 1995.

ANDRIGUETTO, J. M. et al. **Nutrição animal. As bases e os fundamentos da nutrição animal.** São paulo: Nobel, 1981. 395 p.

ANUALPEC. Anuário da pecuária brasileira. São Paulo, 2012.

AUCLAIR, E. 1986. **Etude des pertes azotees d'origine eendogene dans le tube digestif chez trois especes monogastriques:** le porc, le coq et le rat. Clermont. 1986.

BAKER, D. H. Advances in amino acid nutrition and metabolism of swine and poultry In: KORNEGAY, E.T. (Ed) **Nutrient Management of Food Animals to Ehnhance and Protect the Environment.** Florida: CRC Press, 1996. p. 320-348.

BALDWIN, R. L. Principles of modelling animal systems. **Proceeding New Zealand**, v. 36, p. 128-139, 1976.

BARTH, C. A. et al. Soybean trypsin inhibitor(s) reduce absorption of exogenous and increase loss of endogenous protein in miniature pigs. **Journal Nutrition**, v. 123, p. 2195–2200, 1993.

BATTERHAM, E. S. et al. Utilisation of ileal digestible amino acids by growing pigs: effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. **British Journal of Nutrition**, v. 64, p. 81, 1990.

BIKKER, P. et al. Digestible lysine requirement of gilts with high genetic potential for lean gain, in relation to the level of energy intake. **Journal of Animal Science**, v. 72, p. 1744-1753, 1994.

BOISEN, S.; MOUGHAN, P. J. Dietary Influence on Endogenous Ileal protein and Amino Acid Loss in the Pig- A Review. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 46, p. 154-164, 1996.

BROWN, J. et al. Digestible Lysine Requirements for Maintenance in the Starting Turkey. **International Journal of Poultry Science**, v. 8, p. 740-743, 2006.

CUARÓN, J. A. Proteína Ideal en la Alimentación de Cerdos: Aspectos Prácticos. In: BUTOLO, J.E., JUNQUEIRA, O.M.; MIYADA, V.S.; CYRINO, J.E.P., 2000. Simpósio Sobre Manejo e Nutrição de Aves e Suínos. **Anais do CBNA**. Campinas, SP, 2000. p. 197-220.

D'MELLO, J. P. F. **Responses of growing poultry to amino acids**. British Library: London, 2003. 264p.

DE LANGE, C. F. M. et al. Influence of threonine intake on whole-body protein deposition and threonine utilization in growing pigs fed purified diets. **Journal of Animal Science**, v. 79, p. 3087-3095, 2001.

EDWARDS III, H. M. et al. Maintenance lysine requirement and efficiency of using lysine for accretion of whole-body lysine and protein in young chicks. **Poultry Science**, v. 78, p. 1412-1417, 1999.

FATUFE, A. A. et al. Response to lysine in composition of body weight gain and efficiency of lysine utilization of growing male chickens from two genotypes. **Poultry Science**, v. 83, p. 1314-1324, 2004.

FERGUNSON, N. S.; GOUS, R. M. E., G.C. Preferred components for the construction of a new simulation model of growth, feed intake and nutrient requirements of growing pigs. **South African Journal of Animal Science**, v. 24, p. 10-17, 1994.

FISHER, C. et al. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. **British Poultry Science**, v. 14, p. 469-484, 1973.

FULLER, M. F.; BOYNE, A. W. The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pigs given different amounts of food. 1. Nitrogen metabolism, growth and body composition. **British Journal of Nutrition**, v. 25, p. 259-272, 1971.

FULLER, M. F.; CHAMBERLAIN, A. G. Protein requirement of pigs. **Recent Advances in Animal Nutrition** p. 175-186, 1982.

FULLER, M. F. et al. 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, 1989.

FULLER, M. F. et al. Amino acid losses in leostomy fluid on a protein-free diet. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 59, p. 70-73, 1994.

GAHL, M. J. et al. Amino acid composition and retention in growing pigs fed graded levels of lysine. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 66-74, 1992.

HAUSCHILD, L. **Modelagem individual e em tempo real das exigências nutricionais de suínos em crescimento e terminação**. 2010. 142f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

HEGER, J.; FRYDRYCH, Z. **Absorption and utilization of amino acids**. British Library: London, 1989. 56p.

HEGER, J. et al. Individual response of growing pigs to sulphur amino acid intake. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 92, p. 18-28, 2007.

HEGER, J. et al. Lysine maintenance requirement and efficiency of its utilisation in young pigs as estimated by comparative slaughter technique. **Archives of Animal Nutrition**, v. 62, p. 182-192, 2008.

HEGER, J. et al. Efficiency of amino acid utilization in the growing pig at suboptimal levels of intake: lysine, sulphur amino acids and tryptophan. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 86, p. 153-165, 2002.

JAHN, B. M. 2000. Stickstoff-Bilanzstudien zum Erhaltungsbedarf an essentiellen Aminosäuren bei ausgewachsenen Sauen. Ph.D. thesis, University of Munich, Germany.  
JOHNSTON, M. E. et al. Sulfur amino acids to lysine ratio that optimizes performance in growing pig. **Journal Animal Science**, v. 78, p. 58-79, 2000.

JONDREVILLE, C.; DOURMAD, J. Y. Le phosphore dans la nutrition des porcs. **Productions Animales**, v. 31, p. 183-192, 2005.

JUST, A.; FEMANDEZ J.A.; JORGENSEN, H. Nitrogen balance studies and nitrogen retention. In: **Physiologie digestive chez le port, Les colloques de l'INRA**. INRA:França, 1982. No. 12, p. 111-112.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de bioquímica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Sarvier, 2005. 1202 p.

LEWIS, A. J. Amino acids in swine nutrition. In: **Swine Nutrition**, 2 ed. 2003. 149p.

LIBAO-MERCADO, A. J. et al. Efficiency of utilizing ileal digestible lysine and threonine for whole body protein deposition in growing pigs is reduced when dietary casein is replaced by wheat shorts. **Journal of Animal Science**, v. 84, p. 1362-1374, 2006.

MACRAE, J. C. et al. Accretion of total protein and individual amino acids by organs and tissues of growing lambs and the ability of nitrogen balance techniques to quantitate protein retention. **British Society of Animal Production**, v. 57, p. 237-245, 1993.

MCNAMARA, J. P. Mechanistic modelling at the metabolic level: a model of metabolism in the sow as an example. In: GOUS, R.M., MORRIS, T.R. and FISHER, C. (Eds.). **Mechanistic modeling in pig & poultry production**. 2006. p. 282-304.

MOEHN, S. et al. Growth potential, but not body weight or moderate limitation of lysine intake, affects inevitable lysine catabolism in growing pigs. **Journal of Nutrition**, v. 134, p. 2287-2292, 2004.

MÖHN, S.; DE LANGE, C. F. M. The Effect of Body Weight on the Upper Limit to Protein Deposition in a Defined Population of Growing Gilts. **American Society of Animal Science**, v. 76, p. 124-133, 1998.

MÖHN, S.; DE LANGE, C. F. M. The effect of body weight on the upper limit to protein deposition in a defined population of growing gilts. **Journal Animal Science**, v. 76, p. 124-133, 1998.

MORRIS, T. R. The interpretation of response data from animal feeding trials. **Recent Advances in Animal Nutrition**, p. 13-23, 1983.

MOUGHAN, P. J. Protein metabolism in the growing pig. In: A quantitative biology of the pig. p. 48p., 1999.

MOUGHAN, P. J. Simulating the partitioning of dietary amino acids: New directions. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 60-67, 2003.

MOUGHAN, P. J.; FULLER, M. F. **Amino acids in animal nutrition**. Wallingford:International, 2003. 300p.

MOUGHAN, P. J. et al. A genetic upper limit to whole-body protein deposition in a strain of growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 84, p. 3301-3309, 2006.

NICHOLS, N. L.; BERTOLO, R. F. Luminal Threonine Concentration Acutely Affects Intestinal Mucosal Protein and Mucin Synthesis in Piglets. **The Journal of Nutrition**, v. 138, p. 1298-1303, 2008.

NONIS, M. K.; GOUS, R. M. Threonine and lysine requirements for maintenance in chickens. **South African Journal of Animal Science**, v. 38, p. 75-82, 2008.

NRC. **Nutrient requirements of swine**. 1998. 189p. v10.

NRC. **Nutrient requirements of swine**. 2012. 400 p. 11 v11.

NYACHOTI, C. M. et al. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 77, p. 149-163, 1997.

OLIVEIRA, V. et al. Teor de proteína no metabolismo do nitrogênio e da energia em suínos durante o crescimento. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 866-874, 2005.

PARSONS, C. M.; BAKER, D. H. The concept and use of ideal proteins in the feeding of nonruminants. In: **Simpósio Internacional de Nutrição de Não Ruminantes**. 1994. p. 119-128.

PAUL, S. S. et al. Determination of nutrient requirements for growth and maintenance of growing pigs under tropical condition. **Animal**, v. 1, p. 269-282, 2007.

PEDROZO, S. A. **Níveis de Lisina e Relação Treonina: Lisina no Desempenho e Metabolismo de Leitões Desmamados**. 2002. 142f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal d Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

POMAR, C. et al. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 38, p. 226-237, 2009.

POMAR, C. et al. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. **American Society of Animal Science**, v. 81, p. 178-186, 2003.

POMAR, C. et al. Effet d'une alimentation multiphase quotidienne sur les performances zootechniques, la composition corporelle et les rejets d'azote et de phosphore du porc charcutier **Journées Recherche Porcine**, v. 39, p. 23-30, 2007.

QUINIOU, N. et al. Effect of dietary crude protein level on protein and energy balances in growing pigs: comparison of two measurement methods. **Livestock Production Science**, v. 41, p. 51-61, 1995.

REEDS, P. J. et al. Protein turnover in growing pigs. Effects of age and food intake. **British Journal of Nutrition**, v. 43, p. 445-455, 1980.

RIBEIRO, A. M. L.; PENZ, A. M. Comparison of different drying techniques for nitrogen analysis of poultry excreta, feces and tissue. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 10, p. 21-23, 2001.

RIDDER, K. et al. Immune system stimulation reduces the efficiency of tryptophan utilization for body protein deposition in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.90, p.3485-3491, 2012.

RINGEL, J. 2005. The lysine requirement for maintenance and the efficiency of energy utilization for growth in pigs. 65f. Dissertation (Master in Animal Science) Universität zu Kiel, Kiel, 2005.

RINGEL, J.; SUSENBETH, A. Lysine requirement for maintenance in growing pigs. **Livestock Science**, v. 120, p. 144-150, 2009.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep. 2007. 238p.

SALDANA, C. I. et al. Digestible threonine requirements of starter and finisher pigs. **Journal of Animal Science**, v. 72, p. 144-150, 1994.

SANDBERG, F. B. et al. Partitioning of limiting protein and energy in the growing pig: description of the problem, possible rules and their qualitative evaluation. **British Journal of Nutrition**, v. 93, p. 205-212, 2005.

SILVA, M. R. Fatores antinutricionais: inibidores de proteases e lectinas. **Revista de Nutrição**, v. 13, p. 3-9, 2000.

SOUTHERN, L. L.; BAKER, D. H. Urinary excretion of free amino acids, cystathionine and taurine by the young pig. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 64, p. 1067-1069, 1984.

STEIN, H. H. et al. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. **Journal of Animal Science**, v. 85, p. 172-180, 2007.

TALAMINI, T. J. D.; MARTINS, F. M.; ARBOIT, C. et al. Custos agregados da produção integrada de suínos nas fases de leitões e de terminação. **Custos e Agronegócio**, Recife, v. 2, p. 64-83, 2006.

TAMMINGA, S. et al. The Nutritional significance of endogenous N-losses along the gastrointestinal tract of farm animals. **Archives of Animal Nutrition**, v. 40, p. 9-22, 1995.

THONG, H. T.; LIEBERT, F. Potential for protein deposition and threonine requirement of modern genotype barrows fed graded levels of protein with threonine as limiting amino acid. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 88, p. 196-203, 2004.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 86-93, 2003.

WANG, T. C.; FULLER, M. F. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs: I. experiments by amino acid deletion. **British Journal of Nutrition**, v. 62, 1989.

YANG, C. J. et al. Development model equation to subdivide lysine requirements into requirements for growth and maintenance in pigs. **Australian Journal of Animal Science**, v. 10, p. 54-63, 1997.

ZHU, C. L. et al. Increasing dietary pectin level reduces utilization of digestible threonine intake, but not lysine intake, for body protein deposition in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.83, p.1044-1053, 2005.



## APÊNDICE

### APÊNDICE A – Publicação durante o curso de mestrado

#### **Artigo aceito para publicação**

ROSSI, Carlos Augusto Rigon; LOVATTO, Paulo Alberto; LEHNEN, Cheila Roberta; FRAGA, Bruno Neutzling; LOVATO, Gustavo Dias; Ceron, Marcos Speroni. Dietas ajustadas para suínos através do modelo InraPorc: desempenho, características de carcaça e impacto econômico. *Ciência Rural* (UFSM. Impresso), 2012.

#### **Trabalhos publicados em anais de eventos (resumos)**

CERON, Marcos Speroni; VALE, Marcos Martinez; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; SOARES, M.; FRAGA, Bruno Neutzling; LOVATO, Gustavo Dias. Avaliação da ingestão e excreção de nitrogênio pela suinocultura brasileira através de modelos de nutrição de precisão. In: III Congresso Sul Brasileiro de Avicultura, Suinocultura e Laticínios, 2012, Bento Gonçalves - RS. Anais da III AVISULAT, 2012.

CERON, Marcos Speroni; VALE, Marcos Martinez; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; SOARES, M.; FRAGA, Bruno Neutzling; LOVATO, Gustavo Dias. Avaliação da ingestão e excreção de fósforo pela suinocultura brasileira através de modelos de nutrição de precisão. In: III Congresso Sul Brasileiro de Avicultura, Suinocultura e Laticínios, 2012, Bento Gonçalves - RS. Anais da III AVISULAT, 2012.

CERON, Marcos Speroni; SOARES, M.; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; LOVATO, Gustavo Dias; BROMBILLA, T.; BURIN, A. P.; MARTINS, V. L. F.; LUCCA, M. S. Avaliação da ingestão e excreção de fósforo pela suinocultura brasileira através de modelos de nutrição de precisão. In: III Congresso Sul Brasileiro de Avicultura, Suinocultura e Laticínios, 2012, Bento Gonçalves - RS. Anais da III AVISULAT, 2012.

LOVATO, Gustavo Dias; VALE, Marcos Martinez; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; GARCIA, Gerson Guarez; CERON, Marcos Speroni; FRAGA, Bruno Neutzling. Avaliação de estratégias nutricionais para otimização do retorno financeiro em sistemas de crescimento e terminação de suínos através do modelo InraPorc . In: III Congresso Sul Brasileiro de Avicultura, Suinocultura e Laticínios, 2012, Bento Gonçalves - RS. Anais da III AVISULAT, 2012.

LOVATO, Gustavo Dias; VALE, Marcos Martinez; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; CERON, Marcos Speroni; FRAGA, Bruno Neutzling; SOARES, M. Tempo de alojamento e características de carcaça de suínos em terminação submetidos a diferentes estratégias nutricionais definidas através do modelo InraPorc. In: III Congresso Sul Brasileiro de Avicultura, Suinocultura e Laticínios, 2012, Bento Gonçalves - RS. Anais da III AVISULAT, 2012.

LOVATO, Gustavo Dias; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; SOARES, M. FRAGA, Bruno Neutzling; CERON, Marcos Speroni. Avaliação econômica de dietas ajustadas para suínos em crescimento e terminação através do modelo InraPorc. In: III Congresso Sul Brasileiro de Avicultura, Suinocultura e Laticínios, 2012, Bento Gonçalves - RS. Anais da III AVISULAT, 2012.

LOVATO, Gustavo Dias; SOARES, M.; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; CERON, Marcos Speroni; BROMBILLA, T. ; BURIN, A. P. ; MARTINS, V. L. F. ; LUCCA, M. S. . Administração de óleos essenciais em leitões do primeiro ao oitavo dia de vida: controle dos sinais clínicos de diarreia. In: III Congresso Sul Brasileiro de Avicultura, Suinocultura e Laticínios, 2012, Bento Gonçalves - RS. Anais da III AVISULAT, 2012.

GIANLUPPI, R. D.; VALE, Marcos Martinez; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; LOVATO, Gustavo Dias; FRAGA, Bruno Neutzling; CERON, Marcos Speroni. Nutrição de precisão no ajuste dos níveis nutricionais e da restrição alimentar para suínos em crescimento e terminação: resposta ao consumo de nutrientes, deposição proteica e lipídica. In: 49ª Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2012, Brasília, DF. Anais da 49ª Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2012.

GIANLUPPI, R. D.; VALE, Marcos Martinez; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; LOVATO, Gustavo Dias; FRAGA, Bruno Neutzling; CERON, Marcos Speroni. Nutrição de precisão no ajuste dos níveis nutricionais e da restrição alimentar para suínos em crescimento e terminação: desempenho e características de carcaça. In: 49ª Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2012, Brasília, DF. Anais da 49ª Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2012.

BROMBILLA, T.; SOARES, M.; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; CERON, Marcos Speroni; LOVATO, Gustavo Dias; BURIN, A. P. Controle dos sinais clínicos da diarreia neonatal em leitões com o uso de óleos essenciais. In: 27º Salão de Iniciação Científica, 2012, Santa Maria. Anais da 27ª Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

FRAGA, Bruno Neutzling; QUADROS, Arlei Rodrigues Bonet de; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; GARCIA, Gerson Guarez; CERON, Marcos Speroni; Lovato, Gustavo Dias. Estudo econômico da implantação do Intelligent Precision Feeder pela indústria de rações. In: 3º Salão de Pós-Graduação, 2012, Santa Maria. Anais da 27ª Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

CERON, Marcos Speroni; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; SOARES, M.; LOVATO, Gustavo Dias; FRAGA, Bruno Neutzling; MACIEL, R. M. Alimentação de suínos com dietas contendo extratos vegetais na fase de crescimento/terminação: perfil eletroforético das proteínas séricas. In: 3º Salão de Pós-Graduação, 2012, Santa Maria. Anais da 27ª Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

LOVATO, Gustavo Dias; VALE, Marcos Martinez; QUADROS, Arlei Rodrigues Bonet de; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; FRAGA, Bruno Neutzling; CERON, Marcos Speroni. Avaliação da intensidade e do tempo de restrição alimentar sobre o desempenho e deposição tecidual em suínos na fase de crescimento e terminação: meta-análise. In: 3º Salão de Pós-Graduação, 2012, Santa Maria. Anais da 27ª Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

RIBEIRO, S.; QUADROS, Arlei Rodrigues Bonet de; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; FRAGA, Bruno Neutzling; CERON, Marcos Speroni; LOVATO, Gustavo Dias. Estudo econômico da implantação do Intelligent Precision Feeder no transporte de rações. In: 27º Salão de Iniciação Científica, 2012, Santa Maria. Anais da 27ª Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

SALLES, A. P. Q.; VALE, Marcos Martinez; LOVATO, Gustavo Dias; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; FRAGA, Bruno Neutzling; CERON, Marcos Speroni. Desempenho de suínos em crescimento e terminação alimentados em diferentes tipos de comedouros. In: 27º Salão de Iniciação Científica, 2012, Santa Maria. Anais da 27ª Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

PEREIRA, J. L.; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; FRAGA, Bruno Neutzling; CERON, Marcos Speroni; LOVATO, Gustavo Dias; QUADROS, Arlei Rodrigues Bonet de. Características de carcaça de suínos alimentados no crescimento/terminação com dietas ajustadas através do modelo inraporc. In: 27º Salão de Iniciação Científica, 2012, Santa Maria. Anais da 27ª Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

GIANLUPPI, R. D.; ROSSI, Carlos Augusto Rigon; LOVATO, Gustavo Dias; FRAGA, Bruno Neutzling; CERON, Marcos Speroni; QUADROS, Arlei Rodrigues Bonet de. Uso de dietas ajustadas para suínos através do modelo InraPorc : avaliação de desempenho. In: 27º Salão de Iniciação Científica, 2012, Santa Maria. Anais da 27ª Jornada Acadêmica Integrada, 2012.

VALE, Marcos Martinez; LOVATO, Gustavo Dias; Ceron, Marcos Speroni; GARCIA, Gerson Guarez. Estimativas da excreção ambiental de nitrogênio em suínos devido a estratégias nutricionais utilizando o modelo InraPorc. In: I Workshop internacional de emissões de gases, ventilação e bem-estar na produção animal, 2012, Campinas. Anais do I Workshop internacional de emissões de gases, ventilação e bem-estar na produção animal, 2012.

SALLES, A. P. Q.; LOVATTO, Paulo Alberto; CERON, Marcos Speroni; ROSSI, Carlos A. R.; NICHELE, D. F.; PASSOS, A. J. Modelagem da Ingestão e Excreção de Fósforo pela Suinocultura Brasileira: impacto ambiental entre os sistemas de nutrição convencional e de precisão. In: 26ª Jornada Acadêmica Integrada-JAI, 2011, Santa Maria-RS. Anais 26ª Jornada Acadêmica Integrada, 2011.

LOVATO, Gustavo Dias; LOVATTO, Paulo Alberto; GARCIA, Gerson Guarez; CERON, Marcos Speroni; SALLES, A. P. Q.; MADRUGA, Lucas Flores. Restrição alimentar em suínos: meta-análise das características de carcaça. In: 26ª Jornada Acadêmica Integrada-JAI, 2011, Santa Maria-RS. Anais 26ª Jornada Acadêmica Integrada, 2011.

KOSZTRZEPA, I.; LOVATTO, Paulo Alberto; SALLES, A. P. Q.; ANDRETTA, Ines; MADRUGA, Lucas Flores ;CERON, Marcos Speroni. Meta-análise das interações produtivas das ocratoxinas na alimentação de frangos de corte. In: 26ª Jornada Acadêmica Integrada-JAI, 2011, Santa Maria-RS. Anais 26ª Jornada Acadêmica Integrada, 2011.