

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

**RESPOSTA INDIVIDUAL A INGESTÃO DE TREONINA PARA
SUÍNOS EM FASE DE CRESCIMENTO**

Renan Di Giovanni Isola

Zootecnista

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

**RESPOSTA INDIVIDUAL A INGESTÃO DE TREONINA PARA
SUÍNOS EM FASE DE CRESCIMENTO**

Renan Di Giovanni Isola

Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

2015

185r Isola, Renan Di Giovanni
Resposta individual a ingestão de treonina para suínos em fase de crescimento / Renan Di Giovanni Isola. -- Jaboticabal, 2015
iv, 48 p. ; il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Luciano Hauschild
Banca examinadora: Cheila Roberta Lehen, Nilva Kazue Sakomura

Bibliografia

1. Aminoácidos. 2. Exigências nutricionais. 3. Variabilidade. 4. Retenção de nitrogênio I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.4:636.087

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: RESPOSTA INDIVIDUAL A INGESTÃO DE TREONINA PARA SUÍNOS EM FASE DE CRESCIMENTO

AUTOR: RENAN DI GIOVANNI ISOLA

ORIENTADOR: Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ZOOTECNIA , pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Profa. Dra. CHEILA ROBERTA LEHNEN
Universidade Estadual de Ponta Grossa / Ponta Grossa/PR



Profa. Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 13 de fevereiro de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Renan Di Giovanni Isola - nascido na cidade de Ribeirão Preto, estado de São Paulo em 2 de dezembro de 1987. Ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Câmpus de Botucatu no ano de 2007. Durante a graduação, fez estágios na área de produção animal, participou de projetos de pesquisa, foi estagiário na *Oregon State University* – Oregon - EUA em 2011 e na *University of Florida* – Flórida – EUA em 2012 e graduou-se em julho de 2012. Foi bolsista de Iniciação Científica e Treinamento Técnico III da Fundação de Amparo a Pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP). Em Março de 2013, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP – Câmpus de Jaboticabal, na área de nutrição de não ruminantes, sob orientação do Prof. Dr. Luciano Hauschild.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes.”

(Martin Luther King)

Dedico

*A minha esposa Elaine, aos meus pais Fernando e Solimar, ao meu irmão Leopoldo
e a minha avó Regina.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a **Deus**, que em todos os momentos de dificuldades não me deixou desamparado, por sempre ter me dado forças e mostrado um sentido na vida até nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais **Fernando César Isola** e **Solimar Di Giovanni Isola**, pelo amor incondicional, incentivo, ensinamentos e pela dedicação na minha educação.

Ao meu irmão **Leopoldo Di Giovanni Isola**, pela amizade, exemplo de honestidade, amor ao próximo e pela determinação profissional.

A minha esposa **Elaine Talita Santos**, por me ensinar o significado da palavra amor. Pela paciência, dedicação e companheirismo diário.

Ao meus avós **Geni Voltolini Isola** e **Sérgio José Isola (in memorian)** e **Reginice Pinto Di Giovanni** e **Nelson Di Giovanni “Jovem” (in memorian)** pelos conselhos, ensinamentos e orações.

Aos meus tios **Sérgio Luiz Isola**, **Vanessa Isola**, **Fábio Eduardo Isola**, **Sílvia Regina Isola**, **Paulo Celso Isola**, **Iolanda Nogueira**, **Lívia Dorta Pinto** e **Leandro Di Giovanni**, pela preocupação e conselhos durante toda minha vida.

Ao meu primo **Germano Gimenes Mendes**, por proporcionar momentos de muito companheirismo e alegria desde minha infância até os dias de hoje. A minha prima **Pietra Di Giovanni** por ser a alegria da família.

Aos meus padrinhos de batismo **Fabian Giovannetti** e **Fabíola Maria Giovannetti Marques**.

Aos meus sogros **Maria José Barbosa Santos** e **Luiz Carlos Santos “Lango”**, pela amizade, amor e carinho.

Aos meus cunhados **Mariana Pedersoli Isola**, **Maria Salete Pereira Santos** e **Rodrigo Aparecido Santos**, pelo amor, amizade e companheirismo.

Aos meus queridos sobrinhos que tenho um amor incondicional, **Maria Beatriz Pereira Santos** e **Otto Pereira Santos**.

Aos meus amigos que considero como irmãos, **João Luiz Marçola**, **Guilherme Ribeiro Sanches do Valle “Guilão”**, **Henrique Ribeiro Sanches do Valle** e **Eduardo Shoiti Niwa Moritsugu**, pelos momentos de muitas risadas e principalmente a verdadeira amizade nos momentos difíceis.

Aos meus eternos companheiros da **República Mukifo** da UNESP - Botucatu.

Aos meus companheiros de trabalho **Aline Remus, Camila Amaral, Dani Perondi, Denis Johanssem, Gabriel Sia “Azeite”, Ines Andretta, Jaqueline De Paula Gobbi “Bituka”, Leury Souza “Piquí”, Marcos da Silva Kipper, Mirella Melaré, Raquel Lunedo e Welex Candido**, pela ajuda, paciência e ensinamentos. Cada um de vocês tiveram um papel fundamental para que eu conseguisse concluir da melhor maneira possível esta etapa.

Aos funcionários do Setor de Suinocultura, **Sr. Wilson e José**, pela ajuda, ensinamentos e momentos de risadas.

Ao professor **Luciano Hauschild**, pela orientação, pelos ensinamentos e principalmente pelos conselhos e a amizade a mim dedicados.

Ao pesquisador do *Agricultural and Agrifood Canadá* (AAFC) – Sherbrooke – QC – Canadá, **Dr. Candido Pomar**, pela paciência, ensinamentos, amizades e conselhos.

A todos meus **amigos** que “deixei” no AAFC.

Ao **Prof. Dr. Dirlei Antônio Berto**, por me orientar e me ensinar sobre suinocultura durante minha graduação.

A **Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Medicina e Veterinária e Zootecnia – Campus de Botucatu**, pela minha formação profissional.

Ao **Programa de Pós-graduação em Zootecnia** da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária da UNESP - Campus de Jaboticabal pela oportunidade de aprimoramento profissional.

A instituição de **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes)**, pela concessão da bolsa de estudos durante o curso de Mestrado.

Muito Obrigado!

Delineamento e dietas experimentais.....	29
Dietas e exigências nutricionais.....	30
Coletas experimentais e análises químicas.....	34
Cálculos e análises estatísticas.....	34
RESULTADOS.....	36
DISCUSSÃO.....	41
AGRADECIMENTOS.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Tabela 1. Aminoácidos limitantes em grãos de cereais para suínos.....	10
Tabela 2. Proteína idela para suínos com diferentes pesos vivos.....	13
Tabela 3. Exigência de Tre:Lis Digestível de acordo com o peso corporal...	14

CAPÍTULO 2 – RESPOSTA INDIVIDUAL A INGESTÃO DE TREONINA PARA SUÍNOS EM FASE DE CRESCIMENTO

Tabela 1. Composição percentual de ingredientes e composição nutricional calculada das rações experimentais.....	31
Tabela 2. Composição de ingredientes e composição nutricional calculada das sete dietas experimentais.....	33
Tabela 3. Valores médios (3 dias) do metabolismo do nitrogênio (N) nos suínos alimentados com diferentes níveis de treonina (Tre).....	37
Tabela 4. Tabela dos parâmetros dos modelos linear platô relacionado a retenção de nitrogênio (NR) pela ingestão de treonina (Tre_{ing}) e os valores calculados da inclinação da reta (b), ponto de inflexão (I) e do platô (NR_p).....	38
Tabela 5. Tabela dos parâmetros do modelo misto relacionado a retenção de nitrogênio (NR) pela ingestão de treonina (Tre_{ing}) e os valores calculados do ponto de inflexão (I_0) e do platô (NR_p) e as variâncias (u_{I_0} , u_{b1} e u_{NR_p}) dos parâmetros.....	40

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

- Figura 1.** Figura representativa de respostas de indivíduos e da média do grupo diante de diferentes níveis de nutrientes..... 5
- Figura 2.** Distribuição da exigência estimada pelo método fatorial para relação lisina:energia líquida para suínos em fase de crescimento..... 7
- Figura 3.** Representação esquemática do catabolismo da treonina..... 12
- Figura 4.** Composição dos aminoácidos presentes na mucina..... 16

CAPÍTULO 2 – RESPOSTA INDIVIDUAL À INGESTÃO DE TREONINA PARA SUÍNOS EM FASE DE CRESCIMENTO

- Figura 1.** Retenção de nitrogênio individual em relação a ingestão de treonina utilizando o modelo Linear Platô e o modelo misto..... 39

RESPOSTA INDIVIDUAL A INGESTÃO DE TREONINA PARA SUÍNOS EM FASE DE CRESCIMENTO

RESUMO – Os métodos utilizados para estimar as exigências de aminoácidos para suínos geralmente desconsideram a variabilidade entre-indivíduos na população. O presente estudo foi realizado para avaliar a resposta individual e do grupo para a ingestão de treonina através de um ensaio de balanço de nitrogênio. Sete dietas semipurificadas com sete níveis equidistantes de treonina foram ofertadas para oito suínos machos castrados ($21,66 \text{ kg} \pm 0,77 \text{ kg}$) durante um período experimental de 21 dias, com a mudança de cada nível realizada a cada três dias. A concentração de treonina variou de 50% a 120% da exigência, enquanto os demais aminoácidos ao nível 20% acima da exigência do aminoácido teste, mantendo o perfil ideal em relação à lisina. Os dados de retenção de nitrogênio pela ingestão de treonina foram avaliados para cada indivíduo e para o grupo, utilizando o modelo linear platô e o modelo misto. Os coeficientes de variação na retenção de nitrogênio e ingestão de treonina foram 9% e 8%, respectivamente. No modelo com todos os parâmetros aleatórios, a variação para ingestão de treonina e retenção de nitrogênio foi de $1,68 \pm 0,63 \text{ g}$ e $0,01 \pm 0,03 \text{ g}$, respectivamente, e não houve variação para a inclinação da reta. Os resultados apresentados pelo método de modelo misto para avaliação da resposta do grupo foram semelhantes as respostas do modelo linear platô estimados de forma isolada para cada indivíduo. O estudo possibilitou estudar a variabilidade entre-indivíduos, que é de extrema importância para o desenvolvimento de estratégias e programas nutricionais mais precisos.

Palavras-chaves: Aminoácido; exigências nutricionais; modelo misto; retenção de nitrogênio; variabilidade

INDIVIDUAL RESPONSE OF THREONINE INTAKE TO GROWTH PIGS

ABSTRACT – The methods used to estimate the amino acid requirements for pigs often disregard the variability among individuals in the population. The present study was conducted to evaluate the individual and the group response of threonine intake through a nitrogen balance trial (N). Seven semi-purified diets with seven equidistant threonine levels were offered to eight barrows ($21.66 \text{ kg} \pm 0.77 \text{ kg}$) over 21 days, with the change of level held every three days. Threonine concentration ranged from 50% to 120% of requirement, while other amino acid levels was 20% above test requirement, maintaining the ideal profile compared to lysine. The nitrogen retention data for threonine intake were evaluated for each individual and the group, using the linear plateau model and the mixed model. The coefficients of variation of nitrogen retention and threonine intake were 9% and 8%, respectively. In the mixed model with all the random parameters, the variation for threonine intake and N retention were $1.68 \pm 0.63 \text{ g}$ and $0.01 \pm 0.03 \text{ g}$, respectively, and there was no change to the slope. The results presented by the mixed model method to evaluate the group's response were very similar responses of estimated plateau linear model in isolation for each individual. The trial allowed studying the variability among individuals, which is extremely important for the development of strategies and more accurate nutritional programs.

Keywords: Amino acid; mixed model; nitrogen retention; nutritional requirements; variability

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade de grande importância no cenário da pecuária nacional. O setor suinícola cresce e estimula o desenvolvimento de uma cadeia produtiva extremamente complexa, visando assim atender as exigências do mercado interno e externo. Os produtos provenientes da suinocultura brasileira são de extrema qualidade e reconhecidos mundialmente. Apesar de apresentar toda essa qualidade e dos esforços das organizações e indústrias, o consumo brasileiro de carne suína é de aproximadamente 15 kg/habitante/ano, valor muito abaixo quando comparado aos maiores consumidores mundiais e ao consumo brasileiro de outros tipos de carne, como frango e bovino (ANUALPEC, 2012).

O rebanho brasileiro é de aproximadamente 35 milhões de suínos e foi responsável por uma produção de 3,4 mil toneladas de carne em 2013 (ABIPECS, 2013). Nesse mesmo ano, foram exportadas mais de 570 milhões toneladas de carne suína. O custo de alimentação do rebanho é de 70% dos custos totais de produção (POMAR et al., 2009). Isto impacta diretamente na lucratividade dessa atividade. Recorrentes crises econômicas no setor suinícola brasileiro e sucessivos problemas ambientais ligados a atividade demandam portanto inovações científicas e tecnológicas para essa problemática.

Pesquisas científicas em nutrição animal estão cada vez mais direcionadas em estudar principalmente três aspectos: a composição nutricional e digestibilidade dos ingredientes, exigências nutricionais dos animais e a resposta animal em termos de retenção e excreção de nutrientes (WHITTEMORE, 2001). Com base nesses aspectos, na indústria os programas nutricionais tem sido estabelecidos pelo balanço entre a quantidade de nutrientes dos ingredientes com as exigências nutricionais dos animais de acordo com o objetivo da produção (PATIENCE et al., 1995).

As exigências nutricionais são definidas como a quantidade mínima de nutriente para maximizar (ganho de peso) ou minimizar (conversão alimentar) a resposta da população para critérios de desempenho, durante um dado período

(HAUSCHILD et al., 2010). Nas condições de produção, as exigências nutricionais são estimadas pelos métodos empírico e fatorial. No empírico, as exigências são aquelas para maximizar ou minimizar um ou vários parâmetros de desempenho. No fatorial, as exigências são estimadas pela totalidade das exigências para manutenção e produção. Esses dois métodos são determinísticos, estáticos e não consideram a variabilidade entre-indivíduos e as mudanças que poderão aparecer durante o curso do crescimento ao estimar um nível ideal de nutriente na dieta (POMAR et al., 2013).

A variabilidade entre-indivíduos é resultante das diferenças entre os animais no que se refere à genética, idade e peso. Além dessa variação intrínseca ao animal existe também a variação extrínseca. Essa variação refere-se a fatores externos (umidade, temperatura, densidade e etc) que influenciam o desempenho dos animais e as exigências nutricionais. Cada animal reage de diferente maneira a esses efeitos o que pode aumentar a variabilidade entre os animais (WELLOCK et al., 2004). A nutrição de precisão visa, portanto considerar esses aspectos e vem ao encontro de estudos que demonstraram a importância de considerar a variabilidade entre-indivíduos na avaliação da resposta biológica e nos programas nutricionais (POMAR et al., 2003). Nesse sentido, no presente estudo objetivou-se avaliar a resposta individual e do grupo de suínos em fase de crescimento para ingestão de treonina digestível, com a hipótese de que analisar a variabilidade existente entre-indivíduos.

REVISÃO DE LITERATURA

Nutrição de suínos

Na suinocultura, as exigências nutricionais devem ser constantemente reavaliadas para permitir a otimização dos nutrientes da dieta, uma vez que os custos com alimentação representam mais de 60% dos custos de produção (POMAR et al., 2009). O conhecimento adequado das exigências dos nutrientes do animal permite reduzir as excessivas margens de segurança adotadas pelos nutricionistas na formulação de ração para determinação das exigências, reduzindo assim, os custos de produção com o fornecimento excessivo de nutrientes aos animais e diminuindo os impactos ambientais. A questão ambiental é outro fator que se tornou preocupante na suinocultura. Estudos sobre a excreção de nitrogênio e fósforo por suínos vêm apontando índices alarmantes de 147 mil toneladas de nitrogênio e 35 mil toneladas de fósforo excretados para o ambiente por ano (LOVATTO et al., 2005).

Estratégias alimentares estão sendo desenvolvidas para ajudar os produtores a aperfeiçoarem seus sistemas de produção, contribuindo para melhorar a suinocultura em relação à rentabilidade, competitividade e aos padrões ambientais. Essas estratégias incluem a melhora na eficiência de utilização dos nutrientes, visando reduzir custos, maximizar a produtividade e atender determinadas legislações ambientais (JEAN DIT BAILLEUL et al., 2000). Através do ajuste da oferta de nutrientes dos alimentos às exigências nutricionais dos animais, é possível que ocorra uma melhora da eficiência alimentar. A determinação precisa das exigências de aminoácidos para manutenção e deposição de proteína, assim como um adequado suprimento desses nutrientes 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 nas dietas de suínos, a proteína tem grande participação nas exigências nutricionais dos animais, pois a mesma é digerida e posteriormente absorvida em forma de aminoácido, para utilização na síntese proteica orgânica, enquanto que os carboidratos e gorduras provenientes da

dieta servem primeiramente como fonte energética para o animal. Porém, a proteína presente 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 às exigências nutricionais do animal, permitirá a obtenção de uma carcaça com elevado teor de proteína e uma espessura de toucinho ideal, além da redução no impacto ambiental. 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 conseqüente aumento de produtividade e redução nos custos de produção.

Métodos para determinar exigências nutricionais

As exigências nutricionais são definidas como a quantidade mínima de nutriente para maximizar ou minimizar a resposta da população para critérios de desempenho, durante um dado período (HAUSCHILD et al., 2010). A determinação das necessidades nutricionais geralmente é feita com base em uma abordagem empírica ou fatorial para a avaliação das respostas em termos de ganho de peso, de eficiência alimentar ou de balanço de nitrogênio a partir do nutriente estudado.

O método empírico determina as exigências com base na resposta de um grupo de animais alimentados com dietas contendo níveis crescentes do nutriente estudado. O método fatorial estima as exigências nutricionais pelo cálculo das necessidades por nutrientes para as principais funções metabólicas do animal, divididas em funções de manutenção e crescimento (POMAR; DIT BAILLEUL, 1999).

Método empírico

O método empírico consiste na determinação das exigências nutricionais com base nas respostas do desempenho da população animal submetidos a diferentes níveis do nutriente teste na dieta em um determinado período de tempo. As exigências são representadas pela resposta média da população, apresentando um comportamento curvilíneo (Figura 1). Essa resposta é proveniente de cada animal da população no qual é influenciada por diferentes componentes, como por exemplo,

potencial genético, intervalo e duração do período de avaliação e o critério resposta (ganho de peso, retenção de nitrogênio, conversão alimentar e outros) que é utilizado para estimar o nível ótimo da população (HAUSCHILD et al., 2010).

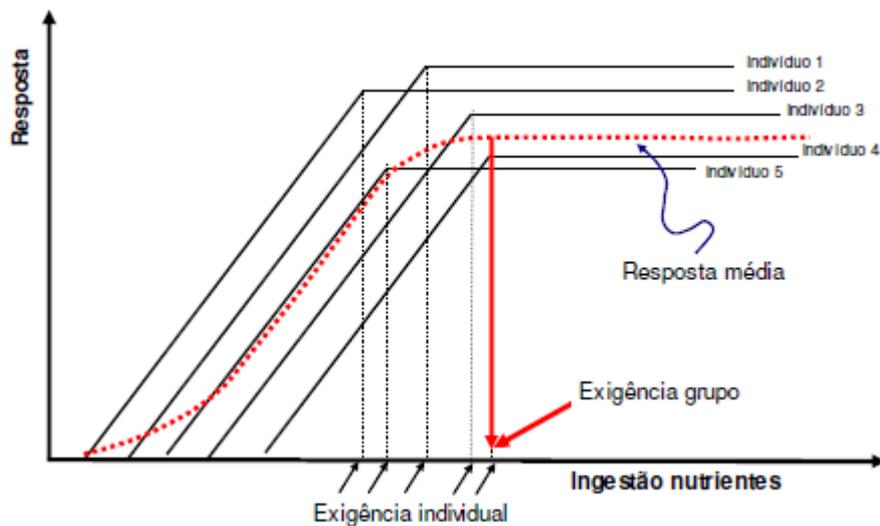


Figura 1 – Respostas de indivíduos e da média do grupo diante de diferentes níveis de nutrientes. Adaptado Fisher et al. (1973).

A regressão curvilínea com platô é indicada para descrever a resposta da população no método empírico, por apresentar a curvilinearidade natural da população para diferentes níveis do nutriente teste ofertados aos animais em um determinado período de tempo (POMAR et al., 2003; WELLOCK et al., 2004). Nesse modelo curvilíneo, um único nível ideal para todos indivíduos e para um determinado período de avaliação é estimado na intersecção da função quadrático com o platô.

O método empírico dificilmente considera a variação entre-indivíduos durante o período avaliado. Raramente consegue se explicar essa variação, como por exemplo, o comportamento da eficiência marginal de utilização do aminoácido de cada animal da população para deposição de proteína. Além disso, os resultados obtidos pelo método empírico devem ser utilizados com cuidado em populações que apresentam diferentes graus de heterogeneidade (POMAR et al., 2013). Por estimar um único nível em um período pré-estabelecido, esse método oferece diferentes estimativas se o ponto de partida ou o comprimento do intervalo do estudo for modificado. E também por estimar um único nível ideal do nutriente pela média da

população, essa exigência não pode ser utilizada para cada indivíduo (HAUSCHILD et al., 2010).

Apesar do método empírico ser um dos mais utilizados para estimar as exigências dos nutrientes, ele não integra fatores que implicam na resposta animal como citado nos parágrafos acima. Considerar a variabilidade entre-indivíduos é muito importante, pois segundo Curnow (1973) essa variabilidade dos animais de uma população contribui significativamente na resposta quando submetidos a diferentes níveis. Assim, o método apresenta sérias limitações para estimar o nível ótimo para otimização da resposta da população.

Método Fatorial

No método fatorial, as exigências diárias são estimadas pela totalidade das demandas para manutenção e produção (FULLER; CHAMBERLAIN, 1982). Essas exigências são estimadas para cada nutriente e seus precursores considerando a eficiência com que cada nutriente é utilizado para cada função metabólica (VAN MILGEN; NOBLET, 2003). Esse método nos permite explicar as modificações no metabolismo ao longo do tempo, além de possibilitar a correção de fatores ambientais adversos como a temperatura que afeta a ingestão de ração.

Apesar de descrever com precisão essas relações, o método fatorial baseia-se no indivíduo médio da população ou animal referência e deve-se ter cautela quando o objetivo é otimizar a resposta de populações heterogêneas (POMAR et al., 2013). As exigências estimadas fazem referência a um ponto específico (idade ou peso vivo) dentro de um período de tempo, geralmente de um dia (POMAR et al., 2003). Quando o objetivo é estimar um nível que permite maximizar a resposta dos animais em uma fase alimentar, o mesmo deve ser estimado com base no ponto que corresponde ao início da fase. Nesse sentido, depois de estimado o nível ideal, o intervalo de peso ou dias sobre os quais as dietas são fornecidas aos animais não são mais considerados (HAUSCHILD et al., 2010). Portanto, as mudanças que ocorrem durante o intervalo de crescimento do animal não são avaliadas.

Outro fator que deve ser considerado nesse método é que as exigências são dependentes dos critérios utilizados para avaliar a resposta da população, podendo assim dificultar a escolha do indivíduo médio e do período a ser avaliado. Além da

dificuldade da escolha do indivíduo médio, outro ponto importante a se destacar é que quando a estratégia alimentar é baseada no método fatorial (indivíduo médio) apenas uma parte da população terá o consumo suficiente de nutriente para expressar o potencial máximo de crescimento, ocorrendo assim uma resposta indesejada da população (POMAR et al., 2003; BROSSARD et al., 2009) (Figura 2).

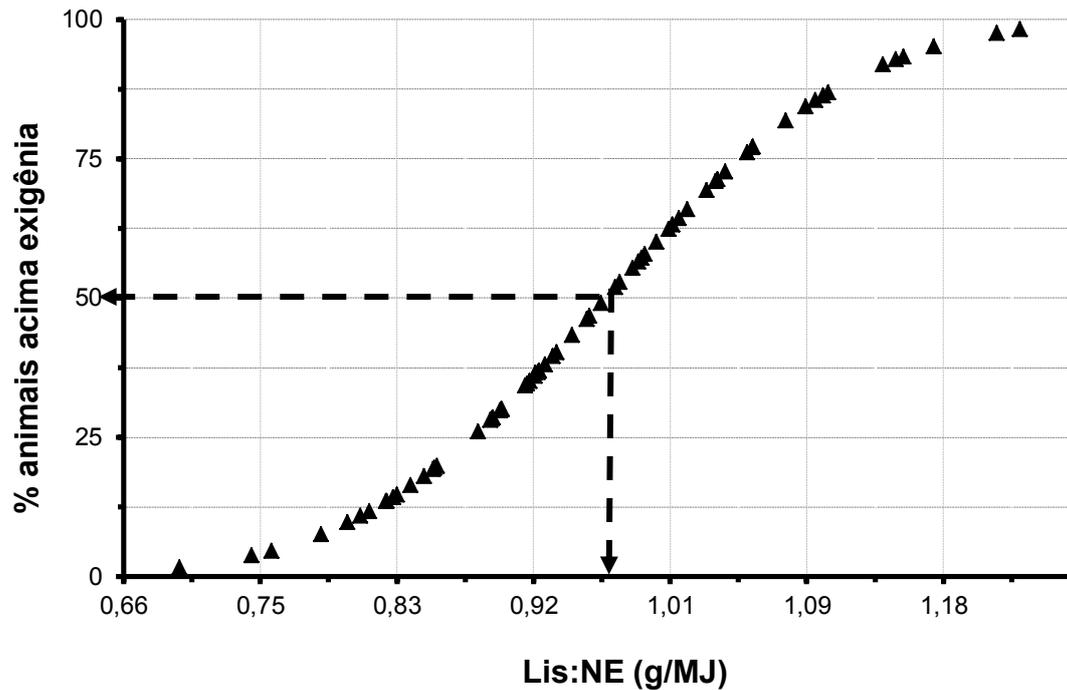


Figura 2 – Distribuição da exigência estimada pelo método fatorial para relação lisina:energia líquida para suínos em fase de crescimento (HAUSCHILD et al., 2010).

Como no método empírico, a utilização do método fatorial não garante a observação da variabilidade dos indivíduos durante um longo período. Sem considerar a variabilidade, a estimativa das exigências não será precisa, e o entendimento da eficiência de utilização do nutriente para deposição de proteína dos animais e dos fatores que afetam o comportamento dessa eficiência durante a fase de crescimento, também serão dificilmente compreendidos.

Portanto, mesmo sendo um método que apresenta a vantagem de estimar as exigências do nutriente de forma rápida e mais precisa que o método empírico por

considerar a manutenção, também apresenta importantes limitações. A complexidade e subjetividade de escolha do indivíduo médio para estimar a exigência do nutriente, o nível do nutriente que deve ser estimado para otimizar a resposta de uma determinada população heterogênea alimentados durante longo período de tempo e também as limitações em estimar um nível ideal do nutriente para os indivíduos (HAUSCHILD et al., 2010). Dificultando assim, a avaliação da variabilidade entre-indivíduos do estudo.

Conceito de nutrição de precisão

O método de nutrição de precisão tem como princípio considerar aspectos de variabilidade entre-indivíduos (WATHES et al., 2008). Como já apresentado anteriormente, o método empírico e fatorial não consideram essas variações entre-indivíduos (genética, idade e peso) durante um longo período. A variabilidade tem efeitos no entendimento das respostas da população e na eficiência dos aminoácidos ingeridos acima da exigência de manutenção para utilização na deposição proteica.

A alimentação de precisão compreende o uso de técnicas que permitem o fornecimento da quantidade e composição nutricional precisa do alimento diariamente e para cada suíno de uma população. Estima-se que ao utilizar esse método pode ocorrer uma redução de 4,6% no custo de alimentação e de aproximadamente 38% na excreção de nitrogênio e fósforo (POMAR et al., 2009). Além disso, a integração de técnicas de alimentação precisa em sistemas de produção de grande porte permite o monitoramento em tempo real do alimento e do animal quando se trata de atingir ótimas condições de abate e estratégias de produção, melhorando assim a sustentabilidade da produção suína, bem estar animal e qualidade da carne (POMAR et al., 2009).

Método para estimar exigência de indivíduos

Como o método empírico e fatorial assumem que a eficiência de utilização do nutriente é constante para todos os indivíduos da população e estimam o mesmo nível para todos os indivíduos e por um longo período. Pomar, 1995 e LeClercq, 2000, evidenciaram essa variabilidade entre-indivíduos que podem ser importantes

para obtenção de melhores estratégias alimentares, maiores lucratividades e maximização da resposta da população.

Alguns métodos para estimar exigência de indivíduos vêm sendo desenvolvidos para avaliar essa variação entre os animais. Bertolo et al. (2005) avaliaram as respostas das exigências de lisina para indivíduos pela técnica de oxidação de aminoácidos, apresentando uma variação entre animais em torno de 10%. Os mesmos autores consideram que essa variação entre-indivíduos pode ser proveniente da variação da eficiência de utilização da lisina para deposição de proteína. Outro método para obter valores individuais de exigências é o proposto por Heger et al. (2007a; 2007b; 2008), que se baseia em ensaios consecutivos de balanço de nitrogênio em um período de 24 horas cada utilizando níveis graduais do nutriente estudado para cada dia. Após o período de adaptação utilizando uma dieta com baixa proteína, cada animal estudado recebe por 15 dias consecutivos, 15 diferentes níveis do aminoácido teste com aumentos graduais de 50 à 140% da exigência estimada.

Portanto estudos que consideram essa variabilidade entre-indivíduos, vêm sendo cada vez mais explorados, nos permitindo estabelecer estratégias alimentares que otimizam a resposta da população sobre várias condições nutricionais, ambientais e econômicas, além do desenvolvimento de modelos de crescimento mais precisos para suínos. Assim, métodos para avaliação de indivíduos vêm sendo desenvolvidos para explorar essa variabilidade animal nos programas nutricionais em suínos.

Importância do aminoácido treonina na alimentação de suínos

A treonina é considerada um aminoácido essencial, fundamental para suínos em fase de crescimento e terminação. Os aminoácidos limitantes são aqueles que estão presentes nas dietas em uma concentração menor e, o anabolismo animal não acompanha a necessidade em que é exigido para o máximo crescimento do mesmo (BERTECHINI, 2012). A treonina, assim como a lisina, é limitante na maioria dos cereais e seu uso, faz com que o nível de treonina seja motivo de atenção na formulação de rações (BERRES et al., 2006).

A treonina é comumente fabricada em escala industrial na forma de pó. Trata-

se de uma mistura racêmica entre formas levóginas com 100% de eficiência relativa (LEESON; SUMMERS, 2001). Sua estrutura química (ácido α -amino- β -hidróxi-n-butírico) foi determinada por William C. Rose em 1935, sendo o último dos 20 aminoácidos naturais a ser conhecido. Diferentemente dos demais aminoácidos, a treonina não é transaminada, pois os animais não dispõem de uma isomerase (transaminase) capaz de transformar D- em L- treonina. Seu isômero D- e o α -cetoácido não são utilizados. Assim, sua produção industrial se faz a partir de processos fermentativos, em que é gerado somente o isômero L- treonina.

Treonina nos alimentos

O aminoácido treonina é o segundo ou terceiro aminoácido limitante em cereais utilizados nas rações de suínos (Tabela 1). Porém, quando a dieta é suplementada com lisina sintética a treonina pode se tornar o primeiro aminoácido limitante.

Tabela 1. Aminoácidos limitantes em grãos de cereais para suínos.

Cereal	Aminoácido Limitante		
	Primeiro	Segundo	Terceiro
Cevada	Lisina	Treonina	Histidina
Milho	Lisina	Triptofano	Treonina
Aveia	Lisina	Metionina	Treonina
Sorgo	Lisina	Treonina	Triptofano
Triticale	Lisina	Treonina	Metionina
Trigo	Lisina	Treonina	Metionina

Lewis (2000)

Digestão e metabolismo da treonina

Digestão e absorção

A treonina é absorvida de forma muito lenta e sua digestibilidade é bastante variável. Portanto, quando esse aminoácido é incluído na dieta, é importante estar atento a utilização do mesmo em unidades digestíveis, já que o uso de unidades

totais implica em um erro de valorização (parte do nutriente ingerido não é digerido e absorvido) dependendo do tipo de ingrediente incluído na dieta (BERRES et al., 2006). As dietas atuais são suplementadas com treonina sintética, cuja digestibilidade varia de 98% a 99% e sua equivalência proteica situa-se em torno de 74% (LEESON; SUMMERS, 2001).

Biossíntese e Catabolismo da Treonina

A treonina está entre o grupo de aminoácidos que não é sintetizado por mamíferos (KIDD et al., 1996). A biossíntese da treonina envolve a formação de um intermediário do aspartato β -semialdeído, após a fosforilação do aspartato, que pela ação da homoserina desidrogenase ocorre a formação da homoserina que dá origem a homoserina fosfato (NELSON et al., 2006). A treonina sintetase é responsável pela formação da treonina, transformando a homoserina fosfato em treonina.

A reação inicial do catabolismo dos aminoácidos é a transaminação. Ela consiste na remoção do grupo amino do L-aminoácido para o glutamato. As enzimas responsáveis são específicas e denominadas de aminotransferases ou transaminases. Não há transaminase para a treonina (Figura 3). O esqueleto de carbono proveniente da L-treonina pela ação da treonina desidratase pode ser utilizado como fonte energética ou para produção de glicose, e a glicina obtida pela ação da treonina desidrogenase e pela treonina aldolase será utilizada para as necessidades metabólicas, como síntese de proteína, serina, ácido úrico, sais biliares e glutatona (KIDD et al., 1996). Qualquer desvio da treonina para rotas de completa oxidação, produção de glicose ou glicina reduz ainda mais a quantidade de treonina disponível para a síntese proteica (EGAN et al., 1983).

Em mamíferos, a oxidação de treonina ocorre principalmente no fígado (HOUSE et al., 2011). Entretanto, a síntese de glicina a partir de treonina acontece em outros tecidos, como por exemplo no pâncreas. A oxidação de treonina no pâncreas é quantitativamente importante quando o consumo de treonina é baixo, não havendo disponibilidade do aminoácido para o fígado. A degradação da treonina envolve as enzimas treonina desidrogenase, treonina desidratase e treonina aldolase (Figura 3).

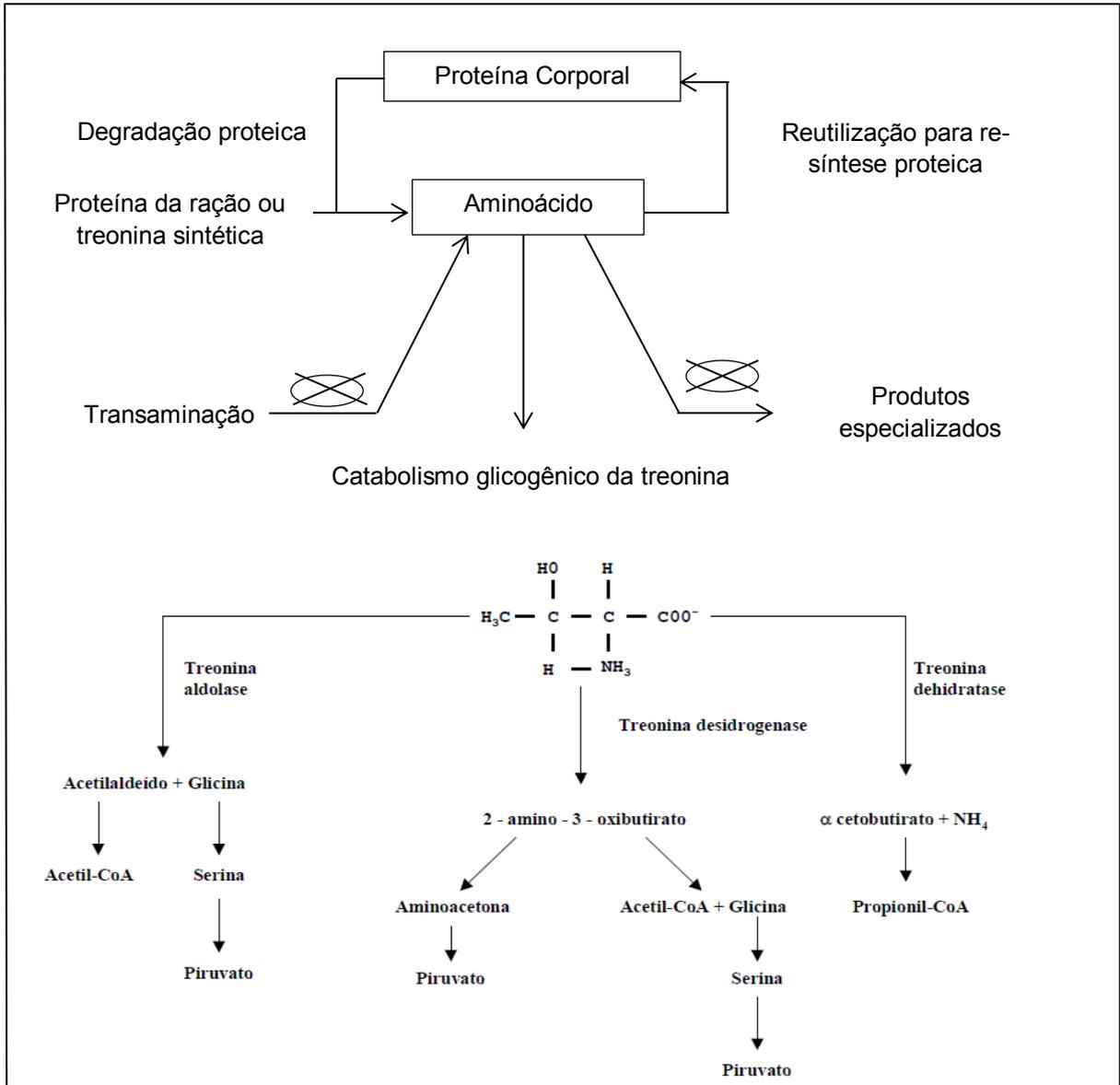


Figura 3. Representação esquemática do catabolismo da treonina. .Adaptado de Kidd e Kerr (1996).

Exigências de treonina para suínos

A exigência de treonina para manutenção é muito superior em comparação com outros aminoácidos, como a lisina. Paralelamente ao aumento do peso vivo, ocorre o aumento das necessidades de manutenção do animal (HAHM; BAKER, 1995). Com isto, as exigências de lisina de suínos em crescimento diminuem mais rápido do que

as exigências de treonina. Isto explica as variações no padrão de proteína ideal sugerida para suínos (Tabela 2).

Tabela 2. Proteína ideal para suínos com diferentes pesos vivos.

Aminoácidos	Peso Vivo (Kg)		
	5-20	20-50	50-100
Lisina	100	100	100
Metionina	30	30	30
Cistina	30	32	35
Treonina	65	67	70
Triptofano	17	18	19
Isoleucina	60	60	60
Valina	68	68	68
Leucina	100	100	100
Fenilalanina	50	50	50
Tirosina	45	45	45
Histidina	32	32	32
Arginina	42	36	30

Parson e Baker (1994)

Muitos autores relatam diferentes valores de exigência de treonina em função do peso dos suínos (Tabela 3). NRC (1998), Baker (2000), Jorgensen e Tybirk (2005) e Rostagno et al. (2011), descrevem um aumento da relação treonina:lisina (Tre:Lis) digestível conforme o aumento de peso dos animais. Esse aumento pode ser explicado por uma maior exigência de manutenção pelos animais mais pesados (NRC, 1998; BAKER, 2000; FULLER et al., 1989). Essa alta exigência de treonina para manutenção quando comparada aos outros aminoácidos, está ligada ao alto catabolismo desse aminoácido no intestino delgado e a alta concentração do mesmo no muco intestinal e nas imunoglobulinas.

Tabela 3. Relação de Tre:Lis digestível ecigida de acordo com o peso corporal.

Referências	Peso Corporal (Kg)	Tre:Lis Digestível
	3-5	65
NRC (1998)	5-50	64
	50-120	68
	5-20	65
Baker (2000)	20-50	67
	50-110	70
	9-30	61
Jorgensen e Tybirk (2005)	30-55	65
	55-100	67
	15-30	63
Rostagno et al. (2011)	30-70	65
	70-120	67

Adaptado de NRC (1998), Baker (2000), Jorgensen e Tybirk (2005) e Rostagno et al. (2011)

Treonina no funcionamento intestinal

O intestino delgado é um dos principais órgãos de metabolismo no organismo animal. Os órgãos drenados pela veia portal de leitões neonatos, como por exemplo, o intestino, pâncreas, baço e estômago são responsáveis por 20-50% do *turnover* total de proteína (MCNURLAN et al., 1980; HOER et al., 1991). Alguns estudos com suínos mostraram que 70% do metabolismo da primeira passagem de alguns aminoácidos essenciais pelos tecidos esplâncnicos ocorrem no intestino (YU et al., 1992; STOLL et al., 1999). A treonina é um nutriente extremamente importante, pois a mesma é indispensável para o metabolismo dos órgãos drenados pela veia portal.

A retenção de treonina por esses órgãos na primeira passagem, gira em torno de 60% a 80% do consumo da dieta em condições normais de consumo, enquanto o metabolismo na primeira passagem dos outros aminoácidos essenciais como lisina e leucina, gira em torno de um terço da dieta ingerida (STOLL et al., 1999; VAN GOUDOEVEER et al., 2000; STOLL et al., 1998). Um importante destino metabólico da treonina, é a incorporação da mesma nas proteínas da mucosa intestinal, pois

essas proteínas apresentam uma quantidade expressiva de treonina, como por exemplo, a mucina (ROBERTON et al., 1991; VAN KLINKEN et al., 1995). Porém, outro destino metabólico poderia ser a oxidação, pois aminoácidos essenciais incluindo a lisina e a leucina também são oxidados no intestino (VAN GOUDOEVER et al., 2000; VAN DER SCHOOR et al., 2001).

Como já apresentado, um dos principais fatos para a extração dos aminoácidos essenciais pelo intestino é para a síntese de proteínas, que são principalmente secretadas no lúmen intestinal (VAN DER SCHOOR et al., 2001). Essa secreção endógena inclui grandes quantidades de muco, que protegem o intestino contra patógenos e fatores antinutricionais. O principal componente do muco é a mucina, glicoproteínas, no qual é particularmente rica em treonina, prolina e serina, e somente a treonina representa cerca de 28% a 35% do total de aminoácido (LIEN et al., 1997) (Figura 4).

As mucinas são polímeros de glicoproteínas, representando um importante componente da camada que envolve o epitélio do trato gastrointestinal. A secreção de mucinas, apresenta um importante papel no sistema imune das mucosas e as principais proteínas presentes nas mucinas intestinais contêm uma grande quantidade de treonina (STOLL, 2006). A mucina representa aproximadamente 11% da proteína endógena da digesta ileal dos suínos, sendo a treonina responsável por 30% da proteína da mucina (LIEN et al., 1997).

A perda intestinal dos aminoácidos essenciais no íleo gira em torno de 14% a 33% para atender as exigências de manutenção, mas para treonina o valor é de 61%, sugerindo que o intestino apresenta uma alta exigência de treonina (FULLER et al., 1994). A síntese de mucina e de células caliciformes são sensíveis ao desbalanço de treonina na dieta (LAW et al., 2007). E em uma situação de estresse do animal, pode também ocorrer o aumento de produção de mucina e o aumento da mobilização de treonina para suprir essa situação de desafio.

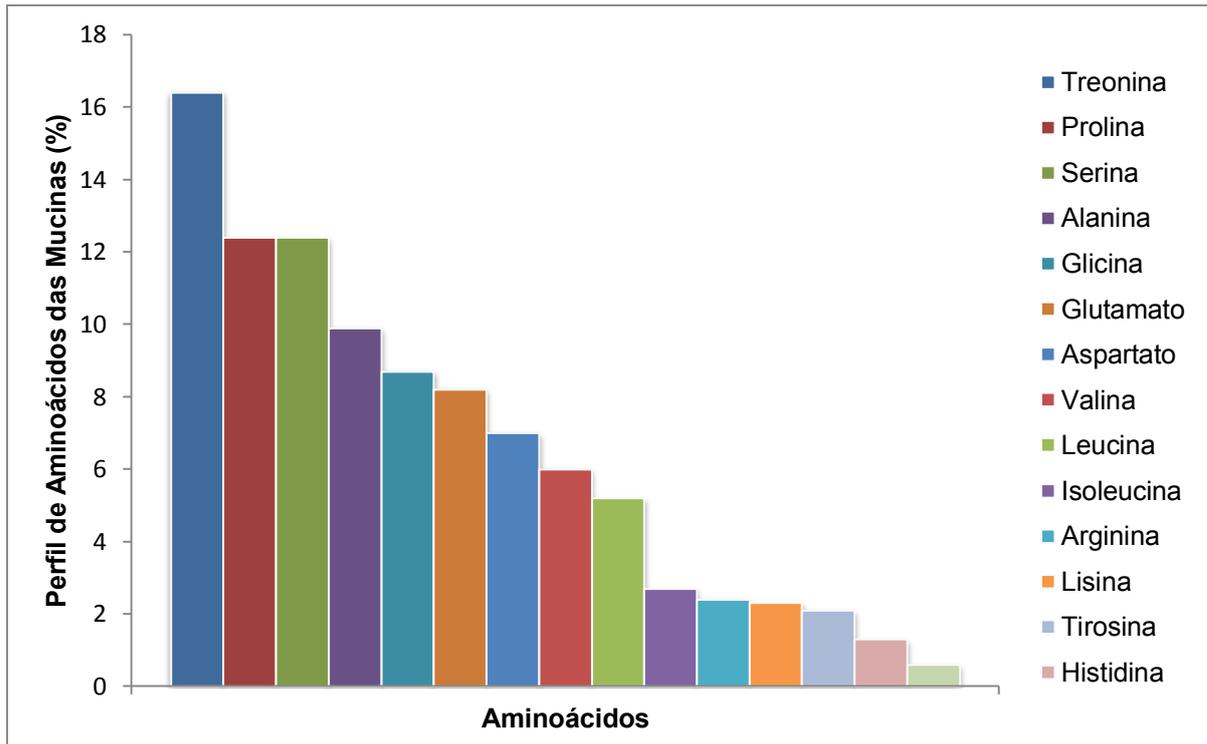


Figura 5. Composição dos aminoácidos presentes na mucina. Adaptado Lien et al. (1997).

Efeitos do desequilíbrio da treonina

O sintoma clássico do desequilíbrio entre aminoácidos é a redução do consumo voluntário e do desempenho. Bioquimicamente, o sintoma é a redução da concentração plasmática do aminoácido limitante. David e Austic (1994) atribuem esta resposta ao aumento da atividade da treonina desidrogenase, o que eleva a velocidade de catabolismo da treonina.

Tem-se observado efeito negativo do excesso de treonina sobre o consumo alimentar e a deposição de gordura nos suínos (ROSSONI et al., 2008). O acúmulo de treonina no sangue dificulta a oxidação do excesso de treonina e a redução da secreção de serotonina no cérebro, em razão do aumento da concentração desse aminoácido (HENRY; SÈVE, 1998), induzindo uma diminuição da ingestão de alimentos. Assim, a exigência de treonina para máximo crescimento do tecido magro seria maior que aquela estabelecida para máximo ganho de peso (DE BLAS et al., 2004).

OBJETIVO GERAL

Objetivou-se com o presente estudo, avaliar a resposta individual e do grupo de suínos em fase de crescimento para ingestão de treonina, para analisar a variabilidade existente entre-indivíduos.

REFERÊNCIAS

ABIPECS. Estatísticas. Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. Disponível em <<http://www.abipecs.com.br>>. Acesso em: 18 Fevereiro 2015.

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

BAKER, D. H. Recent advances in use of the ideal protein concept for swine feed formulation. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**. v.13, p.294–301, 2000.

BERRES, J.; VIEIRA, S.L.; CONEGLIAN, J.L.B.; OLMOS, A.R.; FREITAS, D.M.; BORTOLINI, T.C.K.; SILVA, G.X. Respostas de frango de corte a aumentos graduais na relação entre treonina e lisina. *Ciência Rural*. v.37, n.2, p.510–517, 2007.

BERTECHINI, A.G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras: Editora UFLA, 2012.

BERTOLO, R.F.P.; CHEN, C.Z.L.; LAW, G.; PENCHARZ, P.B.; BALL, R.O. Threonine requirement of neonatal piglets receiving total parenteral nutrition is considerably lower than that of piglets receiving an identical diet intragastrically. **Journal of Nutrition**, v.128, n.10, p.1752–1759, 1998.

BERTOLO, R.F.; MOEHN, S.; PENCHARZ, P.B.; BALL, R. Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. **Journal of Animal Science**, v.83, n.11, p.2535–2542, 2005.

BROSSARD, L.; DOURMAD, J.Y.; RIVEST, J.; VAN MILGEN, J. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. **Animal**, v.3, n.8, p.1114–1123, 2009.

BROWN, J.; FIRMAN, J.D.; SUN, S.S.; KAMYAB, A. Digestible lysine requirements for maintenance in the starting turkey. **Journal of Poultry Science**, v.6, n.10, p. 745–749, 2007.

CURNOW, R. N. A smooth population response curve based on an abrupt threshold and plateau model for individuals. **Biometrics**, v. 29, p. 1-10, 1973.

DAVIS, A.; AUSTIC, R. Dietary threonine imbalance alters threonine dehydrogenase activity in isolated hepatic mitochondria of chicks and rats. **Journal of nutrition**, v.124, n.9, p.1667–1677, 1994.

DE BLAS, C.; GARCIA, A.I.; CARABAÑO, R. Necesidades de treonina en animales monogástricos. In: **Curso de Especialización Necesidades de Treonina en Animales Monogástricos**, Universidad Politécnica de Madrid p.22, 2004.

EGAN, A.R.; MACRAE, J.C.; LAMB, C.S. Threonine metabolism in sheep. **British Journal of Nutrition**, v.49, n.3, p.373–383, 1983.

FAURE, M.; MOËNNOZ, D.; MONTIGNON, F.; METTRAUX, C.; BREUILLÉ, D.; BALLÈVRE O. Dietary threonine restriction specifically reduces intestinal mucin synthesis in rats. **Journal of Nutritional**, v.135, n.3, p.486–491, 2005.

FERGUSON, N.S.; GOUS, R.M.; EMMANS, G.C. Predicting the effects of animal variation on growth and food intake in growing pigs using simulation modelling. **Journal of Animal Science**, v.64, n.3, p.513–522, 1997.

FISHER, C.; MORRIS, T.R.; JENNINGS, R.C. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. **British Poultry Science**, v.14, n.5, p.469–484, 1973.

FULLER, M.F.; MILNE, A.; HARRIS, C.I.; REID, T.M.; KEENAN, R. Amino acid losses in ileostomy fluid on a protein-free diet. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.59, n.1, p.70–73, 1994.

FULLER, M.F.; MCWILLIAM, R.; WANG, T.C.; GILES L.R. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. **British Journal of Nutrition**, v.62, n.2, p.225–267, 1989.

HAHN, J.D.; BAKER, D.H. Optimum ratio to lysine of threonine, tryptophan, and sulfur amino acids for finishing swine. **Journal of animal science**, v.73, n.2, p.482–489, 1995.

HAUSCHILD, L.; POMAR, C.; LOVATTO, P.A. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, v.4, n.5, p.714–723, 2010.

HEGER, J.; KRIZOVA, L.; SUSTALA, M.; NITRAYOVA, S.; PATRAS, P.; HAMPEL, A. Assessment of statistical models describing individual and group response of pigs to threonine intake. **Journal of Animal and Feed Science**, v.16, p.420–432, 2007a.

HEGER, J.; KRIZOVA, L.; SUSTALA, M.; 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, 2007b.

HEGER, J.; KRIZOVA, L.; SUSTALA, M.; NITRAYOVA, S.; PATRAS, P.; HAMPEL, D. Individual response of growing pigs to lysine intake. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.93, p.538–546, 2008.

HENRY, Y.; SÈVE, B. Feed intake and dietary amino acid balance in growing pigs with special reference to lysine, tryptophan, and threonine. **Pig News Produce Animal**, v.14, n.1 p.35–43, 1993.

HOERR, R.A.; MATTHEWS, D.E.; BIER, D.M.; YOUNG, V.R. Leucine kinetics from [2H3]- and [13C]leucine infused simultaneously by gut and vein. **American Journal of Physiology**, v.260, n.1, p.E111–E117, 1991.

HOUSE, J.D.; HALL, B.N.; BROSSAN, J.T. Threonine metabolism in isolated rat hepatocytes. **The American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism**, v.281, n.6, p.E1300-E1307, 2001.

JEAN DIT BAILLEUL, P.; BERNIER, J.F.; VAN MILGEN, J.; SAUVANT, D.; POMAR, C. The utilization of prediction models to optimize farm animal production systems: the case of a growing pig model. In: MCNAMARA, J. P. et al. **Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals**. ed. Wallingford, UK: CABI International, p. 379–392, 2000.

JEAN DIT BAILLEUL, P.; RIVEST, J.; DUBEAU, F.; POMAR, C. Reducing nitrogen excretion in pigs by modifying the traditional least cost formulation algorithm. **Livestock Production Science**, v.72, n.3, p.199–211, 2001.

JONDREVILLE, C.; DOURMAD, J.Y. Le phosphore dans la nutrition des porcs. **Productions Animales**, v.18, n.3, p.183–192, 2005.

JORGENSEN, L.; TYBIRK, P. **Danish feed evaluation system: nutrients standards**. 12th ed: Landburg: Landsudvalget vor svin, 2005.

KIDD, M.T.; KERR, B.J. L-Threonine for poultry: a review. **Journal applied poultry science research**, v.5, n.4, p.358–367, 1996.

LAW, G., BERTOLO, R.F.; ADJIRI-AWERE, A.; PENCHARZ, P.B.; BALL, D. R. Adequate oral threonine is critical for mucin production and gut function in neonatal piglets. **American Journal of Physiology**, v.292, n.5, p.1293–1301, 2007.

LECLERCQ, B.; BEAUMONT, C. 2000. Etude par simulation de la réponse des troupeaux de volailles aux apports d'acides aminés et de protéines. **Productions Animales**, v.13, p.47–59, 2000.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Nutrition of the chicken**. Ontario: University of Guelph, p.482, 2001.

LEWIS, A.; SOUTHERN, L.L. **Swine nutrition**. 2 ed. Cleveland: CRC Press, 2000.

LOVATTO, P.A.; HAUSCHILD, L.; HAUPTLI, L.; LEHNEN, C.R.; CARVALHO, A. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2348–2354, 2005.

MCNURLAN, M.A.; GARLICK, P.J. Contribution of rat liver and gastrointestinal tract to whole-body protein synthesis in the rat. **Biochemical Journal**, v.186, n.1, p.381–383, 1980.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirement of swine**. 10 ed. Washington, DC: National. Academy. Press, 1998.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger - Princípios de bioquímica**. 4 ed. São Paulo: Sarvier, 2006.

PARSONS, C.M.; BAKER, D.H. The concept and use of ideal proteins in the feeding of non-ruminants. In: XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1994, Maringá. **Anais...** Maringá: 1994. p.119–128.

PATIENCE, J. F.; THACKER, P. A.; DE LANGE, C. F. M. **Swine nutrition guide**. Saskatoon, Saskatchewan, Canada: University of Saskatchewan, Prairie Swine Center, 1995. p.v.

POMAR, C. 1995. A systematic approach to interpret the relationship between protein intake and deposition and to evaluate the role of variation on production efficiency in swine. In: **Symposium on Determinants of Production Efficiency in Swine**, Canadian Society of Animal Science, p.361–375.

POMAR, C.; RIVEST, J.; HAUSCHILD, L.; ANDRETTA, I.; CLOUTIER, L.; LETOURNEAU-MONTMINY, M.P.; BERNIER, J.F.; POMAR, J. 2013. Estimating real-time energy and nutrient requirements of growing-finishing pigs. In: **International symposium: modelling in pig and poultry production**, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, p.18–20.

POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; ZHANG, G.; POMAR, J.; LOVATTO, P.A. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.3, p.226-237, 2009.

POMAR, C.; DIT BAILLEUL, P.J. Determinación de las necesidades nutricionales de los cerdos de engorde: límites de los métodos actuales. In: **XV Curso de especialización avances en nutrición y alimentación animal**, Agriculture and Agri-Food Canada Lenoxville, 1999.

POMAR, C.; KYRIAZAKIS, I.; EMMANS, G.C.; KNAP, P.W. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. **Journal of Animal Science**, v.81, n.14, p.E178–186, 2003.

ROBERTON, A.M.; RABEL, B.; HARDING, C.A.; TASMAN-JONES, C.; HARRIS, P.J.; LEE, S.P. Use of the ileal conduit as a model for studying human small intestinal mucus glycoprotein secretion. **American Journal Physiology**, v.261, n.5, p.G728–G734, 1991.

ROSSONI, M.C.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F.M.; SILVA, F.C.O.; ABREU, M.L.T.; KILL, J.L. Níveis de treonina digestível para suínos machos castrados, de alto Potencial genético para deposição de carne, na fase de terminação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, n.4, p.884–889, 2008.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.

SALDANA, C.I.; KNABE, D.A.; OWEN, K.Q. ; BURGOON, K.G.; GREGG, E.J. Digestible threonine requirements of starter and finisher pigs. **Journal of Animal Science**, v.72, n.1, p.144–150, 1994.

STOLL B. Intestinal uptake and metabolism of threonine: nutritional impact. **Advanced in Pork Production**, v.17, p.257, 2006.

STOLL, B.; BURRIN, D.G.; HENRY, J.; YU, H.; JAHOOR, F.; REEDS, P.J. Substrate oxidation by the portal drained viscera of fed piglets. **American Journal Physiology**, v.277, n.1, p.E168–E175, 1999.

STOLL, B.; HENRY, J.; REEDS, P.J.; YU, H.; JAHOOR, F.; BURRIN, D.G. Catabolism dominates the first-pass intestinal metabolism of dietary essential amino acids in milk protein-fed piglets. **Journal of Nutrition**, v.128, n.3, p.606–614, 1998.

TAMMINGA, S.; SCHULZE H.; VAN BRUCHEM, J.; HUISMAN J. The Nutritional significance of endogenous N-losses along the gastrointestinal tract of farm animals. **Archives of Animal Nutrition**, v.48, n.1, p.9–22, 1995.

VAN DER SCHOOR, S. R.; VAN GOUDOEVER, J. B.; STOLL, B.; HENRY, J. F.; ROSENBERGER, J. R.; BURRIN, D. G.; REEDS, P. J. The pattern of intestinal substrate oxidation is altered by protein restriction in pigs. **Gastroenterology**, v.121, n.5, p.167–1175, 2001.

VAN GOUDOEVER, J. B.; STOLL, B.; HENRY, J. F.; BURRIN, D. G.; REEDS, P. J. Adaptive regulation of intestinal lysine metabolism. **Proceeding of the National Academy of Science**, v.97, n.21, p.11620–11625, 2000.

VAN KLINKEN, B. J.; DEKKER, J.; BULLER, H. A.; EINERHAND, A. W. Mucin gene structure and expression: protection vs. adhesion. **American Journal of Physiology**, v.269, n.5, p.G613–G627, 1995.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 14, p. 86-93, 2003. Suppl. 2.

WANG, X.; QIAO, S.; YIN, Y. L.; YUE, L.; WANG, Z; WU. G. A deficiency or excess of dietary threonine reduces protein synthesis in jejunum and skeletal muscle of young pigs. **Journal of Nutrition**, v.137, n.6, p.1442–1446, 2007.

WATHES, C.M.; KRISTENSEN H.H.; AERTS,J.M.; BERCKMANS D. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? **Computers and Electronics in Agriculture**, v.64, n.1, p.1–10, 2008.

WELLOCK, I. J.; EMMANS, G. C.; KYRIAZAKIS, I. Modeling the effects of stressors on the performance of populations of pigs. **Journal of Animal Science**, v.82, n.8, p.2442–2450, 2004.

WHITTEMORE, C. T. Impact of technological innovation in animal nutrition. **Livestock Production Science**, v.72, p.37-42, 2001.

YU, Y. M.; BURKE, J. F.; VOGT, J. A., CHAMBERS, L. & YOUNG, V. R. Splanchnic and whole body L-[1–¹³C,¹⁵N]leucine kinetics in relation to enteral and parenteral amino acid supply. **American Journal Physiology**, v.262, n.5, p.E687–E694, 1992.

CAPÍTULO 2 – RESPOSTA INDIVIDUAL À INGESTÃO DE TREONINA PARA SUÍNOS EM FASE DE CRESCIMENTO

RESUMO – A determinação das exigências de aminoácidos para suínos, geralmente são estimadas pela resposta média da população ou pelo resposta do indivíduo médio, não considerando a variabilidade existente entre-indivíduos do rebanho. O presente estudo através de um ensaio de balanço de nitrogênio, objetivou-se avaliar a resposta individual e do grupo para a ingestão de treonina. Sete dietas semipurificadas com níveis equidistantes de treonina foram ofertadas para oito suínos machos castrados em fase de crescimento durante um período experimental de 21 dias, a mudança de cada nível foi realizado a cada três dias. A concentração de treonina variou de 50% a 122% da exigência, enquanto os demais aminoácidos ao nível 20% acima da exigência do aminoácido teste, mantendo o perfil ideal em relação à lisina. Os dados de retenção de nitrogênio pela ingestão de treonina foram avaliados para cada indivíduo e para o grupo, utilizando o modelo linear platô pelos procedimentos NLIN e NLMixed do SAS. Os coeficientes de retenção de nitrogênio e ingestão de treonina foram de 9% e 8% respectivamente. No modelo com todos os parâmetros aleatórios, a variação para ingestão de treonina e retenção de nitrogênio foi de 1.68 ± 1.30 g e 0.01 ± 0.10 g respectivamente e não houve nenhuma variação para a inclinação da reta. O presente estudo possibilitou a avaliação da variabilidade entre-indivíduos, que é de extrema importância para o desenvolvimento de estratégias e programas nutricionais e genéticos mais precisos.

Palavras-chaves: Aminoácido; exigências; indivíduos; retenção de nitrogênio; variabilidade

INDIVIDUAL RESPONSE OF THREONINE INTAKE TO GROWTH PIGS

ABSTRACT – The methods used to estimate the amino acid requirements for pigs often disregard the variability among individuals in the population. The present study was conducted to evaluate the individual and the group response of threonine intake through a nitrogen balance trial. Seven semi-purified diets with seven equidistant threonine levels were offered to eight barrows ($21.66 \text{ kg} \pm 0.77 \text{ kg}$) over 21 days, with the change of level held every three days. Threonine concentration ranged from 50% to 122% of requirement, while other amino acid levels was 20% above test requirement, maintaining the ideal profile compared to lysine. The nitrogen retention data for threonine intake were evaluated for each individual and the group, using the linear plateau model by NLIN and NLMixed procedure of SAS. The coefficients of variation of nitrogen retention and threonine intake were 9% and 8%, respectively. The model with all the random parameters, the variation for threonine intake and N retention were $1.68 \pm 1.30 \text{ g}$ $0:01 \pm 0:10 \text{ g}$, respectively, and there was no change to the slope. The results presented by the mixed model method to evaluate the group's response were very similar responses of estimated plateau linear model in isolation for each individual. The trial allowed studying the variability among individuals, which is extremely important for the development of strategies and more accurate nutritional programs.

Keywords: Amino acid; individual; nitrogen retention; nutritional requirements; variability

INTRODUÇÃO

A treonina (Tre) é considerada um aminoácido essencial e normalmente é o segundo ou terceiro aminoácido limitante em dietas à base de milho e farelo de soja, e pode tornar-se o primeiro, quando é feita a suplementação com a lisina sintética (Saldana et al., 1994). Esse aminoácido está altamente ligado com a manutenção por estar relacionado a síntese de proteína muscular, de mucinas no sistema gastrointestinal e de imunoglobulinas no sistema imune (Burrin et al., 2010).

Os estudos para determinar as exigências de Tre têm se tornado mais frequentes (Rostagno et al., 2011; NRC, 2012). Nesses estudos métodos utilizados para determinar exigências são o dose resposta (baseados na resposta média da população para definir o nível ideal de um nutriente) ou fatoriais (baseado na resposta do indivíduo médio). Esses métodos permitem determinar apenas um único nível do nutriente a ser fornecido para todos animais durante um longo período, desconsiderando a dinâmica das exigências e a variabilidade existente entre-indivíduos da população (Hauschild et al., 2010).

Essa variabilidade é proveniente dos fatores intrínsecos, como, peso corporal, genótipo, idade e sexo, e de fatores extrínsecos ao animal, como, temperatura, densidade da população entre outros (Noblet e Quiniou, 1999). Tais fatores influenciam na determinação da exigência ideal de um nutriente específico e são essenciais para o entendimento dos mecanismos biológicos envolvidos nas respostas da população (Pomar et al., 2003). Além do entendimento desses mecanismos, é importante o estudo e o conhecimento dessa variabilidade entre-indivíduos da população para otimizar as repostas biológicas, econômicas e ambientais e estabelecer programas nutricionais mais precisos.

Alguns trabalhos vêm apresentando resultados significativos do impacto da variabilidade entre-indivíduos da população nas respostas de desempenho (Ferguson et al.,

1997; Bertolo et al., 2005; Moehn et al., 2008) e nas exigências nutricionais de suínos em crescimento (Pomar 1995; Leclercq e Beaumont, 2000). Apesar de haver trabalhos que vêm de encontro com essa abordagem da variabilidade, poucos estão sendo realizados com objetivo de avaliar o efeito da variação entre-indivíduos sobre as estimativas nas exigências de aminoácidos (Pomar et al., 2003). Adicionalmente, outro aspecto importante é a forma como a resposta animal deve ser integrada numa função matemática (individual ou grupo) para melhor representar a variabilidade na exigência estimada. Portanto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar a resposta individual e do grupo de suínos em fase de crescimento para ingestão de treonina.

Material e Métodos

O procedimento experimental foi revisado e aprovado pela Comissão de Ética do Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), Jaboticabal, São Paulo, Brasil (Protocolo N° 018435/13). O experimento foi conduzido na cidade de Jaboticabal, no estado de São Paulo, Brasil (21°15'16" S; 48°19'19" O, altitude 607 m).

Animais e delineamento experimental

O experimento foi conduzido com oito suínos machos castrados de linhagem comercial. Os animais foram alojados em gaiolas de metabolismo em ambiente com temperatura controlada (22°C a 24°C), os mesmos foram selecionados ao acaso de uma granja comercial pela faixa de peso, sendo cada animal a unidade experimental. As pesagens dos animais foram realizadas no início e no final do período experimental.

Dietas e exigências nutricionais

Os animais foram adaptados às gaiolas de metabolismo por oito dias. Durante esse período, os suínos foram alimentados com uma dieta formulada para atender as exigências propostas por Rostagno et al. (2011). Nos últimos três dias desse período, os animais foram adaptados às dietas experimentais, recebendo a de menor concentração de Tre (50%). Em seguida, foi iniciado o período experimental de 21 dias, com o aumento gradual da concentração de Tre a cada três dias, totalizando sete dietas experimentais com níveis equidistantes do aminoácido teste.

As sete dietas experimentais semipurificadas foram obtidas a partir da mistura de duas rações (Tabela 1). A primeira ração foi formulada para conter 122% da exigência de treonina digestível e os demais aminoácidos ao nível 20% acima da exigência do aminoácido teste, mantendo o perfil ideal em relação à lisina de acordo com Rostagno et al. (2011). Essa ração foi diluída sequencialmente com uma dieta isenta de todos os aminoácidos, formulada a base de amido, possibilitando a obtenção dos setes níveis de treonina digestíveis propostos (Tabela 2). Ambas as rações foram isoenergéticas.

Os animais foram alimentados duas vezes ao dia às 8h00 e às 14h00 em quantidades iguais. A quantidade de ração fornecida diariamente a cada animal foi ajustada considerando 2.6 vezes a exigência da energia de manutenção ($250 \text{ kcal Energia Metabolizável kg}^{-1} \text{ Peso Vivo}^{0.60}$; Noblet et al., 1993). Os animais tiveram livre acesso à água durante todo o experimento.

Tabela 1. Composição percentual de ingredientes e composição nutricional calculada das rações experimentais

Composição	Rações	
	Concentrada	Diluyente
Ingredientes, %		
Milho	69.73	-
Farelo de soja, 45%	12.67	-
Amido de milho	-	85.00
Arroz casca	5.36	10.10
Óleo de soja	2.91	2.34
Fosfato bicálcico	1.42	1.80
Calcário	0.48	0.26
Bicarbonato de sódio	0.08	0.08
Sal comum	0.21	0.29
Premix vitamínico e mineral ¹	0.20	0.20
Hidróxido de tolueno butilato	0.01	0.01
L-Alanina	1.93	-
L-Lisina HCL, 78%	1.51	-
L-Valina	0.65	-
L-Leucina	0.65	-
L-Treonina	0.58	-
L-Isoleucina	0.51	-
L-Fenilalanina	0.33	-
DL-Metionina	0.32	-

L-Histidina	0.26	-
L-Triptofano	0.20	-
Composição calculada ²		
Proteína bruta, %	17.82	0.53
Energia metabolizável, Mcal/kg	3.23	3.23
Fibra bruta, %	4.00	4.00
Cálcio, %	0.63	0.63
Fósforo disponível, %	0.33	0.33
Sódio, %	0.13	0.13
Lisina digestível, %	1.70	-
Met + Cist digestível, %	0.71	-
Metionina digestível, %	0.49	-
Treonina digestível, %	0.94	-
Triptofano digestível, %	0.31	-
Arginina digestível, %	0.72	-
Valina digestível, %	1.19	-
Isoleucina digestível, %	0.99	-
Leucina digestível, %	1.76	-
Histidina digestível, %	0.58	-
Fenilalanina digestível, %	0.90	-

¹ Pré-mistura vitamínico-mineral – quantidade kg de ração⁻¹: 350 mg de Ácido Fólico, 75 mg de Selênio, 9.000 mg de Cobre, 6.000 mg de Pantotenato de Cálcio, 10 mg de Biotina, 25.000 mg de Manganês, 125 mg de Iodo, 125 mg de Cobalto, 14.000 mg de Niacina, 48.000 mg de Zinco, 48.000 mg de Ferro, 3.500.000 U.I. de Vitamina A, 400 mg de Vitamina B1, 11.000 µg de Vitamina B12, 1.600 mg de Vitamina B2, 500 mg de Vitamina B6, 500.000 U.I. de Vitamina D3, 5.000 U.I. de Vitamina E, 1.000 mg de Vitamina K, 2.000 mg de Antioxidante (B.H.T.); ² Composição nutricionais dos ingredientes propostos por Rostagno et al., (2011).

Tabela 2. Composição de ingredientes e composição nutricional calculada das sete dietas experimentais

Composição	Níveis de treonina digestível (%)						
	50	62	74	86	98	110	122
Formula, %							
Ração concentrada	40.98	50.78	60.65	70.49	80.27	90.13	100.0
Ração diluente	59.02	49.22	39.35	29.51	19.73	9.87	0.00
Composição calculada¹							
Proteína bruta, %	7.75	9.08	10.47	12.58	14.12	15.65	17.82
Energia metabolizável, Mcal/kg	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23
Fibra Bruta, %	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Cálcio, %	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Fósforo disponível, %	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Sódio, %	0.35	0.43	0.55	0.60	0.68	0.77	0.85
Lisina digestível, %	0.76	0.96	1.02	1.25	1.42	1.58	1.70
Met + Cis digestível, %	0.29	0.40	0.45	0.53	0.60	0.66	0.71
Metionina digestível, %	0.21	0.28	0.32	0.37	0.42	0.47	0.49
Treonina digestível, %	0.41	0.55	0.62	0.71	0.80	0.85	0.94
Triptofano digestível, %	0.14	0.17	0.19	0.23	0.25	0.27	0.31
Arginina digestível, %	0.31	0.38	0.44	0.52	0.57	0.63	0.72
Valina digestível, %	0.51	0.65	0.74	0.88	0.96	1.08	1.19
Isoleucina digestível, %	0.42	0.55	0.63	0.72	0.80	0.88	0.99
Leucina digestível, %	0.78	0.97	1.11	1.29	1.45	1.58	1.76
Histidina digestível, %	0.23	0.32	0.35	0.42	0.49	0.52	0.58

Fenilalanina digestível, %	0.41	0.51	0.58	0.67	0.76	0.82	0.90
----------------------------	------	------	------	------	------	------	------

¹ Composição nutricionais dos ingredientes propostos por Rostagno et al., (2011).

Coletas experimentais e análises químicas

As fezes foram coletadas às 8h00 da manhã durante três dias subsequentes para cada nível de Tre. No final do terceiro dia de cada nível foi feito um *pool* das fezes dos três dias, que foram acondicionados em sacos plásticos identificados e conservados em congelador a -10 °C. No final do período de coletas, as fezes foram homogeneizadas e amostradas (0.5 kg), secas em estufa de ventilação forçada (60 °C por 72 horas) e moídas em moinho tipo bola para posteriores análises químicas.

A urina excretada também foi coletada às 8h00 da manhã durante três dias subsequentes para cada nível de Tre, sendo drenadas para baldes de plástico com 25 mL de HCl. A cada 24 horas, o volume de urina foi quantificado, homogeneizado e uma amostra de 5% foi retirada e conservada sob refrigeração a 4 °C. No final do terceiro dia de cada nível foi feito um *pool* das amostras de urina para posteriores análises.

Foram feitas coletas ao acaso de cada dieta para análise da composição de aminoácidos totais, na qual apresentou valores semelhantes ao calculado. A composição foi determinada por cromatografia líquida de alta performance (HPLC). Amostras das dietas e das fezes foram analisadas quanto aos teores de matéria seca conforme AOAC (2005). As análises de N total das amostras das dietas, fezes e urina foram realizadas utilizando o método de combustão através do equipamento LECO/FP-528.

Cálculos e análises estatísticas

A retenção de Tre foi obtida da retenção de N, com base no pressuposto de que a quantidade desse aminoácido na proteína do corpo inteiro do suíno em crescimento é de

aproximadamente 24% do N retido (Mahan e Shields, 1998). Os dados obtidos foram ajustados ao modelo linear-platô (LRP) para avaliar a resposta de retenção de N para o consumo de Tre e submetidos a análise de resíduos para investigar a adequabilidade dos modelos. Duas metodologias de análise foram consideradas neste projeto. Na primeira metodologia, os dados foram avaliados para cada indivíduo e para o grupo, utilizando o procedimento NLIN do SAS (Statistical Analysis Package Ver. 9.3, SAS Institute, Cary, NC). O modelo LRP descreveu a resposta de retenção de N (NR) em relação a ingestão de Tre (Tre_{ing}) pela seguinte equação:

$$NR = NR_p + b (I - Tre_{ing}) \text{ quando } I < Tre_{ing} \text{ e } NR = NR_p \text{ quando } Tre_{ing} \geq I$$

Onde: NR_p é o platô, b é a inclinação da reta ascendente, I é a ingestão de Tre correspondente ao ponto de quebra na resposta e Tre_{ing} é o consumo de Tre na ração.

O segundo critério utilizado para a análise estatística dos dados foi utilizando o procedimento NLMixed do SAS (Statistical Analysis Package Ver. 9.3, SAS Institute, Cary, NC). Nesta metodologia, as equações foram criadas através de análises sequenciais. Em um primeiro momento, os modelos LRP foram ajustados para cada indivíduo do estudo, de maneira a indicar os parâmetros iniciais a serem utilizados nas análises seguintes. Um primeiro modelo considerando o conjunto total de animais do experimento foi gerado com efeitos fixos. Em seguida, os parâmetros aleatórios u_I , u_b e u_{NR_p} foram criados para considerar a variação entre-indivíduos nos parâmetros I (ponto de quebra), b (inclinação) e NR_p (platô), respectivamente. Os efeitos aleatórios u_I , u_b e u_{NR_p} foram adicionados progressivamente nos modelos (assim, o segundo modelo considerou o efeito aleatório u_I , o terceiro modelo considerou u_I e u_b , e o quarto modelo considerou u_I , u_b e u_{NR_p}). As etapas que consideravam efeitos aleatórios foram realizadas utilizando o método FIRO (*First Order*) e considerando o

animal (repetição) como fator de ajuste. A proximidade do ajuste dos quatros modelos utilizados no procedimento NLMixed foi avaliada por comparação dos quadrados médios residuais para cada indivíduo utilizando o teste de Wilcoxon pareado.

Resultados

Os animais apresentaram boas condições de saúde, o que permitiu um consumo de ração próximo do estimado, exceto por um animal que morreu durante o experimento de causa não relacionada com o programa alimentar ou com a metodologia utilizada. A média do peso corporal dos animais no início do experimento foi de 21.66 kg \pm 0.77 kg, atingindo o peso final de 35.12 \pm 2.34 kg após os 21 dias, o que resultou em um ganho de peso médio diário de 0.641 kg.

Os valores médios da ingestão de Tre e do balanço de N para cada dieta com diferentes níveis de Tre são apresentados na Tabela 3. O coeficiente de variação (entre dietas) foi 40% para ingestão de Tre, 39% para ingestão de N, 43% para N urinário, 33% para N fecal e 44% para retenção de N.

Os parâmetros do modelo LRP (valores do ponto de quebra, platô e inclinação) analisados pelo procedimento NLIN são apresentados na Tabela 4. Os coeficientes de determinação dos modelos LRP para cada indivíduo variaram de 0.92 a 0.99, indicando assim que houve bom ajuste. A Figura 1 apresenta a relação entre a retenção de N e a ingestão de Tre para cada indivíduo para cada nível de treonina (3 dias), ajustado pelo procedimento NLIN e NLMixed.

Tabela 3. Valores médios do balanço do nitrogênio (N) nos suínos alimentados com diferentes níveis de treonina (Tre)¹

Nível Tre	Ingestão Tre	N Ingerido	N Urinário	N Fecal	N Retido
(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
50	11.92	39.01	9.53	16.58	12.90
62	17.32	53.89	9.73	19.17	24.99
74	22.09	66.28	10.65	23.86	31.77
86	27.70	82.50	12.30	31.58	38.63
98	32.41	95.99	16.10	33.30	46.60
110	36.43	111.66	16.53	36.58	58.55
122	42.58	128.48	27.27	42.69	58.52
EPM²	4.10	12.10	2.37	3.61	6.46

¹ Valores médios correspondem ao período dos três dias de cada dieta, gramas.

² Erro padrão da média.

Tabela 4. Tabela dos parâmetros dos modelos linear platô (NLIN) relacionado a retenção de nitrogênio (NR) pela ingestão de treonina (Tre_{ing}) e os valores calculados da inclinação da reta (b), ponto de quebra (I) e do platô (NR_p)^{1,2}.

Animal	b	I	NR_p	R^2
1	-1.910	42.424	66.708	0.95
2	-1.776	35.926	59.321	0.99
3	-1.701	39.742	59.622	0.94
4	-1.704	35.732	49.482	0.97
5	-1.560	39.991	59.274	0.97
6	-1.579	38.600	57.536	0.92
7	-1.729	34.155	57.959	0.94
Todos	-1.606	41.889	62.971	0.91

¹ $NR = NR + b(I - Tre_{ing})$ quando $I_0 < Tre_{ing}$ e $NR = NR_p$ quando $Tre_{ing} \geq I$

² Valores correspondem ao período dos três dias de cada dieta.

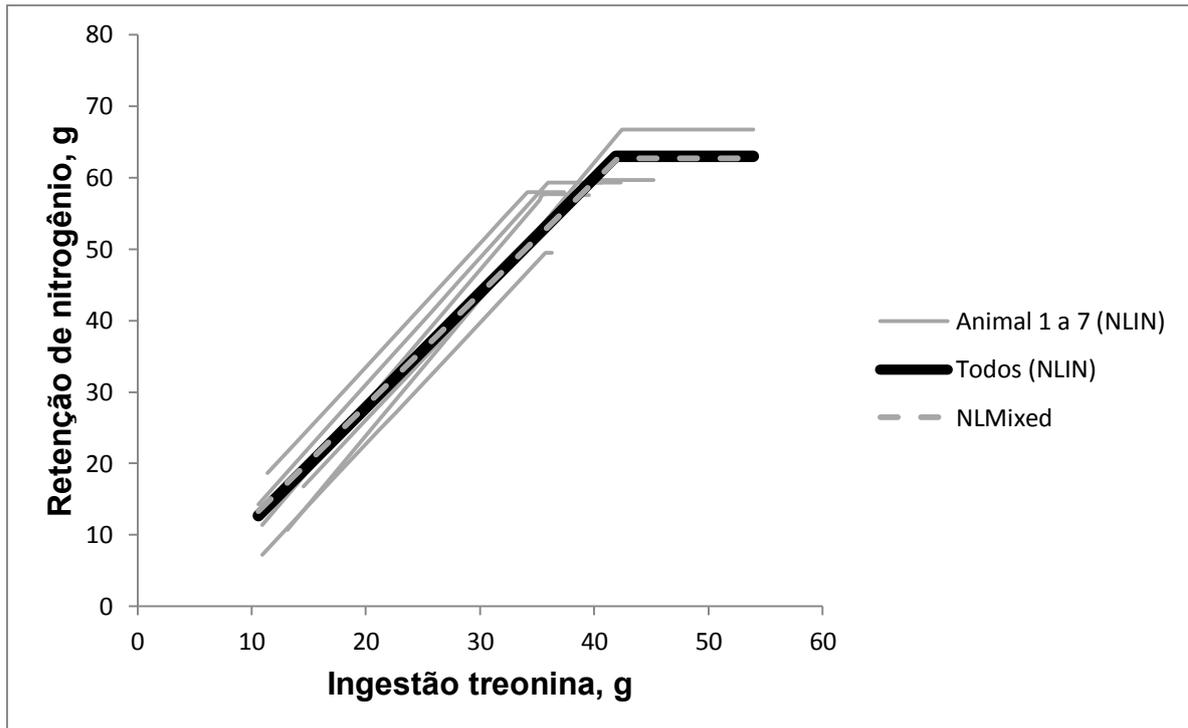


Figura 1. Retenção de N individual em relação a ingestão de Tre utilizando o modelo Linear Platô e o modelo misto. Valores correspondem ao período dos três dias de cada dieta.

O modelo LRP gerado pelo procedimento NLIN para todos os animais apresentou uma ingestão de Tre no ponto de quebra de 41.89 g. O maior valor para o ponto de quebra foi de 42.42 g, enquanto que o menor apresentou um valor de 34.16 g, o que representou uma diferença de ingestão de Tre para a máxima resposta de 19%. O maior valor do platô foi de 66,71 g e o menor valor para retenção de N foi de 49,48 g, o que representou uma diferença para retenção de aproximadamente 25%. Nenhuma correlação significativa foi encontrada entre os valores das inclinações e dos platôs ($r = -0.34$; $p = 0.41$) ou entre as inclinações e os pontos de quebra ($r = 0.02$; $p = 0.97$). Porém houve correlação positiva entre os pontos de quebra e os platôs ($r = 0.72$; $p = 0.04$).

Os parâmetros gerados pelo procedimento NLMixed ajustado para todos os animais são apresentados na Tabela 5. Não houve diferença significativa quando comparadas os ajuste

dos quatros modelos utilizados (modelo 1-2, $p = 1.00$; 1-3, $p = 0.93$; 1-4, $p = 0.93$; 2-3, $p = 1.00$; 2-4, $p = 1.00$ e 3-4 $p = 1.00$).

A análise pelo procedimento NLMixed permitiu avaliar a variância entre-indivíduos encontrada para cada parâmetro. O primeiro modelo considerou o conjunto total de animais do experimento e foi gerado com efeitos fixos, portanto não apresentou a variação entre-indivíduos dos parâmetros. O segundo modelo inseriu o ponto de quebra como efeito aleatório, no qual apresentou uma variação entre-indivíduos de 3.11 ± 1.76 g de Tre ingerida. No terceiro modelo, os parâmetros ponto de quebra e inclinação da reta foram adicionados, apresentando uma variância de 1.61 ± 0.61 g, enquanto para a inclinação não houve variação. O quarto e último modelo apresentou um resultado de 1.68 ± 0.63 g e 0.01 ± 0.03 g para o ponto de quebra e para o platô respectivamente. Não houve nenhuma variação para a inclinação da reta.

Tabela 5. Parâmetros gerados pelo procedimento NLMixed¹ relacionando a retenção de nitrogênio (NR) com a ingestão de treonina (Tre_{ing}), valores calculados do ponto de quebra (I_0) e do platô (NR_p), e variâncias (u_{I_0} , u_{bI} e u_{NR_p}) dos parâmetros².

Animal	b^I	I^I	NR^I	u_I^I	u_b^I	$u_{NR_p}^I$
Modelo 1	-1.606	41.889	62.978	-	-	-
Modelo 2	-1.611	41.914	62.971	3.111	-	-
Modelo 3	-1.564	42.072	62.691	1.610	0.000	-
Modelo 4	-1.568	42.072	62.691	1.681	0.000	0.010

¹ $NR = NR_p + b(I - Tre_{ing})$ quando $I < Tre_{ing}$ e $NR = NR_p$ quando $Tre_{ing} \geq I$.

²Valores médios correspondente ao período dos três dias de cada dieta.

Discussão

Um dos principais problemas de realizar um estudo de dose-resposta para indivíduos em fase de crescimento é o tempo de duração experimental. Geralmente a técnica de balanço de N exige de cinco a sete dias para cada nível do aminoácido em teste. Fica evidente que as condições fisiológicas não vão ser idênticas durante todo esse período experimental. O método utilizado no presente estudo com aumento gradual do nível de Tre a cada três dias, pode superar essas dificuldades, pois o N urinário atinge um novo equilíbrio dentro de três dias após a adição do aminoácido na dieta que estava limitando a deposição de proteína (Brown e Cline, 1974; Fuller et al., 1979). Assim, esta técnica pode ser adequadamente utilizada para estudar resposta de indivíduos a ingestão de aminoácidos e conseqüentemente a variabilidade nas exigências nutricionais.

A importância da variabilidade entre-animais tem se confirmado em estudos há várias décadas (Lucas, 1960), porém poucos trabalhos estão sendo realizados com objetivo de avaliar o efeito da variação entre-indivíduos sobre as estimativas na exigência de aminoácidos (Pomar et al., 2003). O método de avaliação das respostas individuais utilizado no presente estudo permitiu confirmar a existência da variação na retenção de N para diferentes ingestões de Tre. O método de ajuste pelo procedimento NLMixed, por incluir os efeitos aleatórios de forma progressiva, nos permitiu quantificar a variabilidade existente no grupo para a ingestão de Tre e para retenção de N, diferentemente de trabalhos anteriores (Berto et al., 2002; Coma et al., 1995; Saldana et al., 1994) que utilizaram métodos que consideram somente a resposta média da população

O coeficiente de variação para o parâmetro de retenção de N foi de 9%. Resultados similares foram encontrados em estudos anteriores com suínos em crescimento. Heger et al. (2007a; 2007b; 2008) observaram coeficiente de variação para esse mesmo parâmetro de 6%

para animais de 45 kg de peso vivo médio para a treonina (Heger et al., 2007a), 7% para animais de 50 kg de peso vivo para a metionina (Heger et al., 2007b) e 11% para animais de 47 kg de peso vivo para lisina (Heger et al., 2008). Essa variação indica que a taxa para a máxima deposição de proteína para cada indivíduo varia consideravelmente, mesmo quando os animais são homogêneos para determinadas características (como linhagem genética, sexo ou idade) e avaliados nas mesmas condições ambientais e sanitárias. Isso evidencia a importância de uma pré-seleção dos animais pelo potencial de deposição de proteína (de Lange et al., 2001), principalmente em delineamentos experimentais com um número reduzido de animais por tratamento.

Os parâmetros para inclinação da reta dos modelos LRPs pelo procedimento NLIN diferiram para cada indivíduo. Contudo não houve uma correlação entre a inclinação e o platô, sugerindo que a deposição de proteína não estava associada com a eficiência de utilização do aminoácido nos animais estudados. Porém, Moehn et al. (2004) utilizando uma metodologia para estimar o catabolismo dos aminoácidos concluíram que para animais com maior potencial de deposição de proteína o catabolismo de lisina é menor com consequente melhor eficiência de utilização desse aminoácidos. Isso indica uma correlação positiva entre a eficiência de utilização do aminoácido e o potencial para deposição proteica do animal. No nosso estudo como nos demais que utilizaram metodologia similar a não observância de correlação pode estar relacionada a forma empírica de representar a eficiência e principalmente a interpretação matemática (parâmetros são estimados de forma independente) utilizada para ajustar a resposta dos indivíduos.

Os resultados apresentados pelo procedimento NLMixed para avaliação da resposta do grupo foram muito semelhantes as respostas do procedimento NLIN estimados de forma isolada para cada indivíduo. Os valores médios diários para ingestão de Tre para a máxima

resposta no NLIN e no NLMixed foram de 13.96 g d⁻¹ e 14.02 g d⁻¹. O método baseado no procedimento NLMixed pode ser mais preciso para a estimação das exigências para a máxima resposta, uma vez que permite a inclusão dos parâmetros como efeitos aleatórios na análise. Porém, no estudo em questão essa metodologia não apresentou nenhuma vantagem em relação ao procedimento mais simples (NLIN) para a descrição da resposta do grupo para a ingestão de Tre em termos de máxima retenção de N. Por outro lado, a pré-seleção dos animais para o estudo, pode ter influenciado nos resultados observados. Os animais pré-selecionados possuíam provavelmente potencial genético muito similar e a baixa variabilidade entre eles resultou em valores similares também entre as metodologias. Resultados significativos podem ser obtidos com essa metodologia, quando o grupo de animais for heterogêneo, apresentando uma maior variabilidade entre si. Visto que a variação para retenção de N foi de 9%.

Os resultados apresentados nesse estudo no que se refere a respostas de indivíduos e para o grupo a ingestão de treonina são de extrema importância, pois fornecem informações da variabilidade entre-indivíduos, que podem ser utilizadas no aprimoramento de modelos estocásticos, além do desenvolvimento de estratégias e programas nutricionais e genéticos mais precisos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa de São Paulo (FAPESP), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento do estudo e a empresa Ajinomoto do Brasil e Comércio de Alimentos Ltda, pela doação dos aminoácidos.

Referências

Association of Official Analytical Chemists – International [AOAC]. 2005. Official Methods of Analysis. 18ed. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.

Berto, D.A.; Wechsler, F.S.; Noronha, C.C. 2002. Threonine requirements of piglets from 7 to 12 and 12 to 23 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31: 1176-1183 (in Portuguese, with abstract in English).

Bertolo, R.F.; Moehn, S.; Pencharz, P.B.; Ball, R.O. 2005. Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. *Journal of Animal. Science*. 83: 2535-2542.

Brown, J.A.; Cline, T.R. 1974. Urea excretion in the pig: An indicator of protein quality and amino acid requirements. *Journal of Nutrition*. 104: 542-545.

Burrin, D. G.; Stoll, B.; Van Goudoever, J.B.; Reeds, P.J. 2001. Nutrients requirements for intestinal growth and metabolism in the developing pig. In: *Digestive physiology of pigs proceedings of the 8th symposium*. pp. 75-88. CABI Publishing.

Coleman, R.A.; Bertolo, R.F.; Moehn, S.; Leslie, M.A.; Ball, R.O.; Korver, D.R. 2003. Lysine requirements of pre-lay broiler breeder pullets: Determination by indicator amino acid oxidation. *Journal of Nutrition*. 133: 2826-2829.

Coma, J.; Carrion, D.; Zimmerman, D.R. 1995. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine lysine requirement of pigs. *Journal of Animal Science*. 73: 472-481.

Ferguson, N.S.; Gous, R.M.; Emmans, G.C. 1997. Predicting the effects of animal variation on growth and food intake in growing pigs using simulation modelling. *Journal of Animal Science*. 64: 513-522.

Fuller, M.F.; Livingstone, R.M.; Baird, B.A. 1979. The optimal amino acid supplementation of barley for the growing pig. *British Journal of Nutrition*. 41: 321-331.

Hauschild, L.; Pomar, C.; Lovatto, P.A, 2010. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal*, v.4, p.714-723.

Heger, J.; Krizova, L.; Sustala, M.; Nitrayova, S.; Patras, P.; Hampel, D. 2007a. Assessment of statistical models describing individual and group response of pigs to threonine intake. *Journal of Animal and Feed Science*. 16: 420-432.

Heger, J.; Krizova, L.; Sustala, M.; Nitrayova, S.; Patras, P.; Hampel, D. 2007b. Individual response of growing pigs to sulphur amino acid intake. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 92: 18-28.

Heger, J.; Krizova, L.; Sustala, M.; Nitrayova, S.; Patras, P.; Hampel, D. 2008. Individual response of growing pigs to lysine intake. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 93: 538-546.

Leclercq, B.; Beaumont, C. 2000. Simulating the response of poultry flocks to the contributions of amino acids and proteins. *INRA Productions Animales* 13: 47-59 (in French).

Lucas, I.A.M. 1960. Problems of the science of pig feeding. Pages 32–50 in *Proc. Conf. Agric. Res. Workers and Agric. Economists*, Pig Industry Development Authority, London, UK.

Moehn, S.; Bertolo, R.F.; Pencharz, P.B.; Ball, R.O. 2004. Indicator amino acid oxidation responds rapidly to changes in lysine or protein intake in growing and adult pigs. *Journal of Nutrition*. 134: 836-841.

Moehn, S.; Shoveller, A.K.; Rademacher, M.; Ball, R.O. 2008. An estimate of the methionine requirement and its variability in growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. *Journal of Animal Science*. 86: 364-369.

National Research Council [NRC] (2012). *Nutrient Requirements of Swine*. National Academy Press, Washington, DC.

Noblet, J.; Quiniou, N. 1999. Main factors of change of amino acid requirements of growing pigs. *Techni Porc*. 22: 9-16 (in French).

Noblet, J; Shi, X.S. 1993. Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adult sows fed at maintenance. *Livestock Production Science*, 34: 137-152.

Pomar, C. 1995. A systematic approach to interpret the relationship between protein intake and deposition and to evaluate the role of variation on production efficiency in swine. Pages 361-375 in *Proc. of the Symposium on Determinants of Production Efficiency in Swine*. Can. Soc. Anim. Sci., Ottawa, Ont. Canada.

Pomar, C.; Kyriazakis, I.; Emmans, G.C.; Knap, P.W. 2003. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. *Journal of Animal Science*. 81: 178-186.

Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Donzele, J.L.; Gomes, P.C.; Oliveira, R.F.; Lopes, D.C.; Ferreira, A.S.; Barreto, S.L.T.; Euclides, R.F. 2011. *Brazilian Tables for Poultry and Swine: Composition of Feedstuffs and Nutritional Requirements = Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais*. 3ed. Editora UFV, Viçosa, MG, Brazil (in Portuguese).

Saldana, C.I.; Knabe, D.A.; Owen, K.Q.; Burgoon, K.G.; Gregg, E.J. 1994. Digestible threonine requirements of starter and finisher pigs. *Journal of Animal Science* 72: 144-150.

Santos, F.; Donzele, J.L.; Oliveira, R.F.M.; Silva, F.C.; Abreu, M.T.; Saraiva, A. 2010. Digestible threonine level in diets for borrows high genetic potential in the phase from 95 to 125 kg live weight. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 526-531(in Portuguese, with abstract in English).