

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

MARIANA FERNANDES RIBAS DA SILVA

**RELAÇÕES DE RETENÇÃO DE NITROGÊNIO E MODELAGEM DAS
EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO: RESPOSTA
INDIVIDUAL E DE POPULAÇÃO**

Porto Alegre

2020

MARIANA FERNANDES RIBAS DA SILVA

**RELAÇÕES DE RETENÇÃO DE NITROGÊNIO E MODELAGEM DAS
EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO: RESPOSTA
INDIVIDUAL E DE POPULAÇÃO**

Tese apresentada como requisito para obtenção do grau de Doutora em Zootecnia, na Faculdade de Agronomia, da Faculdade Federal do Rio Grande do Sul

Orientador: Dr. Alexandre de Mello Kessler

Porto Alegre

2020

CIP - Catalogação na Publicação

Ribas, Mariana
RELAÇÕES DE RETENÇÃO DE NITROGÊNIO E MODELAGEM DAS
EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO:
RESPOSTA INDIVIDUAL E DE POPULAÇÃO / Mariana Ribas.
-- 2020.
90 f.
Orientador: Alexandre Kessler.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Ajustes nutricionais. 2. Eficiência de retenção.
3. Excreção de nitrogênio. 4. Resposta individual. 5.
Variabilidade animal. I. Kessler, Alexandre, orient.
II. Título.

Mariana Fernandes Ribas da Silva
Mestre em Zootecnia

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOCTORA EM ZOOTECCNIA

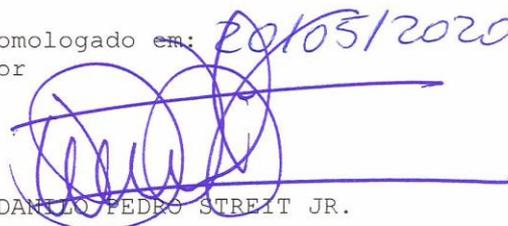
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 31.03.2020
Pela Banca Examinadora



ALEXANDRE DE MELLO KESSLER
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientador

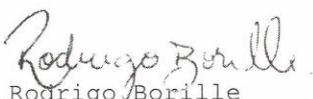
Homologado em: 20/05/2020
Por



DANILO FEDRO STREIT JR.
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



Cheila Roberta Lehnen
UEPG



Rodrigo Borille
UFSM - Palmeira das Missões



Luciano Trevizan
UFRGS



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Chegando à conclusão de mais uma etapa de minha escolarização, a qual qualifica minha força de trabalho, atento para o percurso que me trouxe até aqui. Chegar ao doutorado não é mérito exclusivo meu. Ao contrário, é resultado do trabalho de muitos para chegar até aqui. Pensando nestes trabalhadores é que escrevo estes agradecimentos.

Agradeço a cada professora e professor da Educação Infantil ao Ensino Superior com os quais atravessei meu caminho ao longo destas décadas. Agradeço imensamente a escola pública, gratuita e de qualidade as quais integrei e hoje ainda faço parte. Sou fruto destas instituições públicas e seus trabalhadores que vão bem mais além do professorado. A CAPES que a partir da bolsa concedida possibilitou a continuidade de minha formação.

Obrigada população brasileira que mantém financeiramente toda e qualquer instituição pública deste país. Este doutoramento é oriundo dos investimentos em Educação e Saúde que esta nação vem fazendo até então. Instituições que resistem e persistem no atendimento de todos nós.

Não poderia deixar de mencionar meu agradecimento aos 52 suínos que fizeram com que esse trabalho fosse possível e outros tantos com os quais pude aprender e conhecer sobre a suinocultura desde a graduação.

Minha eterna gratidão a minha pequena grande família, mãe Joana e irmã Izadora, pelo apoio incondicional durante todo esse percurso me incentivando sempre a estudar e ser uma pessoa agradecida e empoderada. Sem o apoio de vocês essa jornada seria muito mais difícil.

RELAÇÕES DE RETENÇÃO DE NITROGÊNIO PARA SUÍNOS INDIVIDUAIS E EM GRUPO E MODELAGEM DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS¹

Autor: M.^a Mariana Fernandes Ribas da Silva

Orientador: Prof. Alexandre de Mello Kessler

RESUMO: O requerimento de nutrientes pelos suínos é um mecanismo dinâmico do organismo, onde as exigências mudam rapidamente e apresentam variações entre os animais. Essa variabilidade afeta a interpretação das respostas da população e da eficiência de retenção dos aminoácidos ingeridos acima da exigência de manutenção para deposição proteica. O objetivo central deste trabalho foi avaliar as mudanças na retenção de nitrogênio (N) de suínos individuais na fase de crescimento em função do aumento gradual no consumo de nutrientes. Para isso foram conduzidos três ensaios (2 de balanço de N e 1 de metabolizabilidade aparente do N e da energia) com suínos na fase de crescimento. Os ensaios de balanço de N foram conduzidos para avaliar a resposta na retenção de N em função do aumento no consumo de lisina digestível (g/d) em suínos individuais (ensaio 1) e suínos em grupo (ensaio 2). O ensaio de metabolizabilidade foi executado para avaliar o impacto do aumento do consumo de energia metabolizável (Mcal/d), desde níveis muito baixos até níveis excedentes, na retenção de N em suínos individuais. A exigência de lisina digestível (g/d) e a eficiência de retenção deste aminoácido apresentaram variação entre os suínos individualmente e a exigência do grupo foi 13% maior que a média geral dos suínos individuais ($p < 0,01$). No entanto, a resposta de retenção máxima de lisina (g/d) do total dos suínos individuais e do grupo foram semelhantes ($p > 0,05$). O aumento de consumo de energia metabolizável (Mcal/d) também apresentou diferença nas curvas de retenção de N (g/d) para os suínos individuais ($p < 0,01$), sendo que o grupo apresentou resposta cúbica para esta variável. A partir da observação das respostas dos suínos individuais ao consumo de distintos nutrientes, podemos considerar que o ajuste individual das exigências nutricionais se faz necessário para maximização da resposta dos suínos melhorando seu desempenho e diminuindo a excreção de nutrientes, o que contribui no desenvolvimento econômico e sustentável da produção de suínos.

Palavras-chave: Ajustes nutricionais; eficiência de retenção; excreção de nitrogênio; resposta individual; variabilidade animal.

¹ Tese de Doutorado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. (90 p.). Março, 2020.

NITROGEN RETENTION RELATIONSHIPS FOR INDIVIDUAL AND GROUP PIGS AND MODELING NUTRITIONAL REQUIREMENTS²

Author: M.^a Mariana Fernandes Ribas da Silva
Adviser: Prof. Alexandre de Mello Kessler

ABSTRACT: The requirement for nutrients by pigs is a dynamic mechanism of the organism, where requirements change quickly and vary between animals. This variability affects the interpretation of the population's responses and the efficiency of use of the amino acids ingested above the requirement of maintenance for protein deposition. The main objective of this work was to evaluate the changes in nitrogen (N) retention of individual pigs in the growth phase due to the gradual increase in nutrient consumption. For this, three trials (2 of N balance and 1 of apparent metabolizability of N and energy) with pigs in the growth phase were conducted. The N balance tests were conducted to evaluate the response in N retention in function of the increase in the consumption of digestible lysine (g/d) in individual pigs (test 1) and pigs in group (test 2). The metabolizability test was performed to assess the impact of increased metabolizable energy consumption (Mcal/d), from very low levels to excessive levels, on N retention in individual pigs. The demand for lysine and the efficiency of use of this amino acid varied between individual pigs and the group requirement was 13% higher than the average of individual pigs ($p < 0.01$). However, the maximum lysine retention response (g/d) for the average of the individual pigs and the group was similar ($p > 0.05$). The increase in metabolizable energy consumption (Mcal/d) also showed a difference in N retention curves for individual pigs ($p < 0.01$), with the group showing a cubic response for this variable. From the observation of the responses of individual pigs to the consumption of different nutrients, we can consider that the individual adjustment of nutritional requirements is necessary to maximize the response of pigs by improving their performance and decreasing the excretion of nutrients, which contributes to economic and sustainable production of pigs.

Keywords: Nutritional adjustments; retention efficiency; nitrogen excretion; individual response; animal variability.

² Doctoral thesis in Animal Science, Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (90 p.) March, 2020.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Cenário produção de suínos	15
2.2 Exigência de proteína dos suínos em crescimento.....	16
2.3 Exigência de energia para o crescimento proteico de suínos	18
2.4 Aminoácidos.....	20
2.5 Lisina.....	24
2.6 Modelagem para determinação das exigências nutricionais dos animais	26
2.7 Exigências nutricionais suínos individuais vs. suínos grupo	28
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	31
CAPÍTULO II	32
Relações de exigência e eficiência de lisina para suínos individuais e em grupo	33
CAPÍTULO III	64
Resposta da retenção de nitrogênio em suínos ao aumento gradual de energia metabolizável consumida	65
CAPÍTULO IV	81
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
6. REFERÊNCIAS	84
7. VITA.....	90

Relação de tabelas

Capítulo I

Tabela 1- Perdas diárias de aminoácidos via intestino, pele e pelos em suínos na fase de crescimento	17
Tabela 2- Relação Aminoácido/Lisina (Proteína Ideal) para estimar as exigências de aminoácidos para suínos em crescimento	24

Capítulo II

Tabela 1- Ingredientes e composição química das dietas utilizadas na diluição (115 e 0% Lisina) dos seis níveis experimentais para suínos em crescimento	57
Tabela 2- Composição química das dietas experimentais após diluição para suínos individuais e em grupo.....	58
Tabela 3- Dados descritivos médios do metabolismo de nitrogênio para suínos em crescimento recebendo níveis crescentes de lisina digestível (g/d).....	58
Tabela 4- Parâmetros dos modelos de Richards e Polinomial Quadrático para suínos individuais e em grupo.....	59
Tabela 5- Requerimento de lisina ($CRetLis_{max}$), Retenção máxima de Lisina ($RetLis_{max}$) e eficiência de retenção de lisina para suínos em grupo, total dos suínos individuais e suínos individuais considerando o consumo de 100, 95 e 90% do consumo de lisina digestível.....	60

Capítulo III

Tabela 1- Ingredientes e composição bromatológica da dieta basal para suínos em crescimento.....	76
Tabela 2- Quantidades diárias consumidas e % de energia metabolizável correspondente ao valor sugerido pelo NRC (2012).....	77
Tabela 3- - Parâmetros do modelo de N retido (g/d) em função do consumo de EM (Mcal/d) para suínos individuais e geral dos suínos individuais.....	77

Relação de figuras

Capítulo I

Figura 1- Funções dos aminoácidos na nutrição e homeostase no metabolismo animal	21
--	----

Capítulo II

Figura 1- Retenção de lisina em função do consumo de lisina digestível em suínos individuais, suínos em grupo e total dos suínos individuais.....	60
---	----

Figura 2- Resposta da retenção de lisina em relação ao consumo de lisina digestível. Respostas dos suínos Individuais, suínos em grupo e total dos suínos individuais.....	61
--	----

Figura 3- Relações de $cLIS_{max}$ e $RetLis_{max}$ em 100% do $cLIS_{max}$. (a); $RetLis_{max}$ e $cLIS_{max}$ (b); Eficiência e $RetLis_{max}$ (c); Eficiência e Consumo de lisina digestível (d) dos suínos individuais.....	61
--	----

Figura 4- Relações de $cLIS_{max}$ e $RetLis_{max}$ em 95% do $cLIS_{max}$. (a); $RetLis_{max}$ e $cRetLis_{max}$ (b); Eficiência e $RetLis_{max}$ (c); Eficiência e Consumo de lisina digestível (d) dos suínos individuais.....	62
--	----

Figura 5- Relações de $cLIS_{max}$ e $RetLis_{max}$ em 90% do $cLIS_{max}$ (a); $RetLis_{max}$ e $cLIS_{max}$ (b); Eficiência e $RetLis_{max}$ (c); Eficiência e Consumo de lisina digestível (d) dos suínos individuais.....	62
---	----

Figura 6- Relação de consumo de EM por grama de lisina retida (kcal/g) total dos suínos individuais (a) e para suínos em grupo (b).....	63
---	----

Figura 7- Gasto energético dos suínos individuais para retenção de lisina (kcal/g lis). (kcal/glis)	63
---	----

Capítulo III

Figura 1- Resposta dos suínos individuais e geral dos suínos individuais para retenção de N (g/d) em relação ao aumento do consumo de EM (Mcal/d).....	78
--	----

Figura 2- Relação do N retido (g/d) em função do consumo de EM (Mcal/d).....	78
--	----

Figura 3- - Relação da eficiência de retenção de N em função do consumo de EM (Mcal/d).....	79
---	----

Figura 4- Relação de gasto de energia por grama de retenção de N (Mcal/g.d ⁻¹).....	79
---	----

Figura 5- Relação de N retido em função da EM consumida.....	80
--	----

Relação de abreviaturas

- CEUA- Comissão de Ética no uso de animais
- cLISmax- Exigência de Lisina digestível
- EB- Energia bruta
- EE- Extrato etéreo
- EFIC- Eficiência
- EfiLIS- Eficiência de retenção de lisina
- EM- Energia metabolizável
- EMA- Energia metabolizável aparente
- EP- Energia metabolizável produtiva
- FB- Fibra bruta
- Lis- Lisina
- Lis/Mcal- Relação lisina digestível e energia metabolizável
- MS- Matéria seca
- N- Nitrogênio
- PB- Proteína bruta
- PC- Peso corporal
- PC^{0,75}- Peso metabólico
- PD- Deposição proteica
- PD_{max}- Deposição proteica máxima
- RetLIS_{max}- Retenção máxima de lisina

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O mercado de carne suína brasileira vem se adequando às exigências dos consumidores, relacionadas ao bem-estar dos animais e à qualidade do produto, para cada vez mais conquistar maior espaço junto à mesa do consumidor. Para isso, há uma tendência crescente na criação de suínos com maior potencial para deposição de proteína, proporcionando carcaças com menor teor de gordura. A rápida evolução na genética suína com o principal objetivo de melhorar a performance animal, faz com que estudos relacionados às exigências de nutrientes sejam conduzidos em intervalos de tempo adequados.

A correta proporção de aminoácidos de acordo com a necessidade do animal, além de melhorar o desempenho também influencia no potencial poluidor da atividade suinícola. Sabe-se que dietas formuladas a partir de proteína ideal diminuem a excreção de nitrogênio (N), melhoram a eficiência da utilização de aminoácidos e diminuem os custos de produção pois, há menor inclusão de proteína nas dietas.

A proteína e a energia da dieta estão intimamente relacionadas, pois a proteína fornece parte da energia da dieta e a energia é necessária para os processos de síntese, degradação e deposição proteica. Síntese e deposição de proteína são funções do organismo que despendem bastante energia para serem executadas. Assim, o consumo energético do animal precisa satisfazer esses e demais processos metabólicos. A quantidade de energia metabolizável necessária para atender as demandas diárias de suínos em crescimento, pode ser considerada como as necessidades de energia para manutenção mais o custo energético para deposição de proteína e gordura.

As exigências de nutrientes variam em função de diferentes fatores como raça, linhagem, sexo, estágio de desenvolvimento do animal, consumo de ração, nível energético da dieta, disponibilidade de nutrientes, temperatura ambiente, umidade do ar, e o estado sanitário do animal, além de outros (Rostagno et al., 2011). Sabe-se que as linhagens comerciais apresentam diferentes potenciais de crescimento e, para que elas possam expressar esse potencial, é imprescindível que suas exigências aminoacídicas sejam atendidas. Segundo Liebert et al. (2000), o potencial máximo de deposição proteica pode ser usado como referencial para a estimativa das exigências

dos aminoácidos com base na eficiência de sua utilização. A lisina é o primeiro aminoácido limitante para os suínos devido à sua constância na proteína corporal e sua destinação metabólica preferencial para deposição de tecido muscular (NRC, 1998).

Por ser o aminoácido referência para o perfil de proteína ideal, muito já se pesquisou sobre o requerimento de lisina para suínos nas diferentes fases de produção, principalmente considerando as exigências nutricionais da população. A variabilidade entre os animais de um grupo de suínos pode afetar a interpretação das respostas de exigências e eficiência de utilização dos aminoácidos para deposição proteica.

Outros fatores que interferem na determinação das exigências de nutrientes são: a metodologia utilizada para determinar a exigência e a forma de interpretação dos dados gerados. As pesquisas baseadas nas metodologias tradicionais de avaliação das exigências nutricionais dos animais (dose-resposta, por exemplo), não proporcionam a inter-relação de todos os fatores que podem influenciar no máximo desempenho animal. As complexidades dentre os fatores envolvidos com o desempenho animal são difíceis de serem avaliados quantitativamente e de forma dinâmica. Com isso, os modelos matemáticos se tornaram cada vez mais importantes para o meio científico e ganhando maior espaço no cenário produtivo, uma vez que possibilitam a interação dos conhecimentos fisiológicos, matemáticos e tecnológicos.

Medir a resposta de um suíno individual em crescimento à diferentes níveis de nutrientes em condições fisiológicas idênticas é uma tarefa difícil. No entanto, os fatores de interferência podem ser minimizados por um projeto experimental adequado. A adoção de estimar as exigências de aminoácidos através de um único indivíduo já foi analisada por alguns autores (Heger et al. 2007, 2009; Remus et al., 2019) e os resultados demonstram que considerar as características individuais de cada suíno pode melhorar a eficiência dos animais, diminuir os custos de produção com alimentação e minimizar a excreção de poluentes, contribuindo com a sustentabilidade da cadeia. Nesse contexto, o objetivo central deste trabalho foi avaliar as mudanças na retenção de N de suínos individuais na fase de crescimento em função do aumento gradual no consumo de nutrientes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cenário produção de suínos

A carne suína, a mais consumida do mundo, pode ser considerada uma das fontes mais econômicas de proteína animal para consumo humano. As características da espécie como o número de animais nascidos/parto e acelerado crescimento dos animais disponibiliza maior quantidade de kg de carne produzida por fêmea reprodutora/ano, sendo mais prolíficas que outras espécies pecuárias (Adesehinwa; Science, 2010).

O Brasil destaca-se como produtor de suínos, em 2018 esteve na quarta posição de produtor e exportador mundial, produziu 3,97 milhões de toneladas de carne e exportou em torno de 18% desta produção (ABPA, 2019). O número de matrizes suínas alojadas no mesmo período foi maior que 2 milhões de animais, gerando mais de 37 milhões de animais abatidos. Dados da ABPA indicam que no ano de 2018 o consumo per capita de carne suína no Brasil foi de 15,9 kg/capita.

As características genéticas dos suínos evoluíram rapidamente nas últimas décadas. Nos primórdios, a seleção genética foi baseada apenas em critérios produtivos (maior número de leitões nascidos, por exemplo). Atualmente também são considerados outros critérios relacionados à qualidade da carcaça, como a quantidade e qualidade de carne e gordura produzidas. Assim, a suinocultura trabalha com animais de linhagens especializadas para produção de maior rendimento de carne na carcaça impulsionada principalmente pela preferência dos consumidores que optam por produtos com menor teor de gordura, mas também devido ao fato de que suínos com melhor desempenho genético possuem melhores resultados de desempenho como por exemplo para eficiência alimentar (Lange, 2012).

A capacidade de deposição proteica é o principal fator determinante do desempenho e das exigências de aminoácidos (Abreu; Fontes; Terra, 2014). Além do acelerado melhoramento genético promovido na cadeia suinícola brasileira, maior desempenho foi alcançado devido ao melhor entendimento dos mecanismos biológicos e fisiológicos da nutrição animal, o que permitiu atingir mais precisamente as exigências dos animais por meio da adoção de diferentes estratégias alimentares.

Pesquisas na área de nutrição animal buscam integrar três aspectos: potencial nutritivo dos ingredientes, exigências nutricionais e resposta do animal em termos de

retenção e excreção de nutrientes (Whittemore; Green; Knap, 2001). Recentemente as variações das exigências nutricionais para a média da população e para animais individuais foram investigadas por diferentes pesquisadores (Andretta et al., 2017; Bertolo et al., 2005; Heger et al., 2009; Isola et al., 2018; Kampman-Van de Hoek et al., 2013; Pomar et al., 2003a; Remus et al., 2019), principalmente pelo fato de que as exigências de nutrientes pelos animais envolvem processos biológicos que são influenciados por fatores intrínsecos como genótipo, idade, sexo, peso corporal e fatores extrínsecos, como temperatura do ambiente e densidade animal. Esses fatores influenciam diretamente a variação das exigências dos animais dentro de um mesmo grupo.

Considerar as variações entre animais para determinar as exigências pode melhorar o desempenho, diminuir a excreção de nutrientes via fezes e urina e diminuir os custos com alimentação maximizando a sustentabilidade da produção. Outro aspecto relevante em considerar as exigências dos animais de acordo com cada indivíduo, é o fato de diminuir a variabilidade dentro de mesmos lotes de criação sendo atualmente considerado como entrave na suinocultura, gerando problemas principalmente nas linhas de abate.

2.2 Exigência de proteína dos suínos em crescimento

Na produção animal, a otimização da conversão de alimento ingerido em componentes corporais, especialmente carne magra, requer o conhecimento das relações de resposta entre a ingestão de nutrientes e o seu desempenho (Bikker, 1994). Os requisitos nutricionais podem ser definidos como a quantidade de nutrientes necessários para atingir objetivos específicos de produção como, maximizar o ganho de peso, ganho de tecido magro ou melhorar a conversão alimentar (Fuller, 2004).

Dentre os diferentes nutrientes existentes nos alimentos, a proteína tem grande participação nas exigências nutricionais dos animais, pois é principalmente incorporada como massa estrutural, enquanto os carboidratos e gorduras provenientes da dieta servem primeiramente como fonte energética. 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, 2006). Na Tabela 1 há um exemplo da quantidade de aminoácidos necessária para suprir as perdas metabólicas de suínos em crescimento.

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, 2008). Os principais determinantes para as exigências de aminoácidos para manutenção são as perdas endógenas intestinais, as quais são influenciadas pelo consumo alimentar, perdas de descamação epitelial e cerdas, que estão em função do peso metabólico ($PC^{0,75}$) e do catabolismo mínimo de aminoácidos (Abreu; Fontes; Terra, 2014).

Tabela 1- Perdas diárias de aminoácidos via intestino, pele e pelos em suínos na fase de crescimento

Aminoácido	Suíno 50 kg (2 kg consumo MS/d)	
	Intestinal (g/d)	Pele e pelos (g/d)
Arginina	0,726 (0,03%)	0,000 (<0,01%)
Histidina	0,447 (0,02%)	0,024 (<0,01%)
Isoleucina	1,110 (0,05%)	0,062 (<0,01%)
Leucina	1,538 (0,07%)	0,131 (<0,01%)
Lisina	1,223 (0,06%)	0,113 (<0,01%)
Metionina	0,343 (0,01%)	0,027 (<0,01%)
Metionina + cistina	1,189 (0,05%)	0,179 (<0,01%)
Fenilalanina	1,123 (0,05%)	0,085 (<0,01%)
Fenilalanina + tirosina	1,850 (0,09%)	0,124 (<0,01%)
Treonina	1,748 (0,08%)	0,083 (<0,01%)
Triptofano	0,478 (0,02%)	0,029 (<0,01%)
Valina	1,489 (0,07%)	0,089 (<0,01%)
N x 6,25	36,376 (1,81%)	2,315 (0,11%)

Fonte: Adaptado de NRC. Nutrient Requirements of Swine, (2012).

Os principais fatores que influenciam o requerimento de aminoácidos pelos animais são idade, sexo, nível de deposição diária de proteína, eficiência de retenção do aminoácido e consumo de ração (Samadi e Liebert, 2006). As exigências de

aminoácidos para o crescimento são diretamente influenciadas pelo potencial de crescimento dos suínos em proteína corporal e a eficiência com que os aminoácidos da dieta são incorporados nesta proteína. Suínos com genótipos superiores exigem uma maior quantidade de proteína e aminoácidos na dieta para suportar a alta taxa de deposição proteica. Conseqüentemente, quanto maior a capacidade dos suínos de depositar carne magra na carcaça, maior será a exigência diária de lisina para maximizar seu desempenho e a taxa de deposição proteica. Dados do NRC (2012) indicam média de deposição proteica para suínos de 50-75 kg de 145 g/d. Assim sendo, seguindo o modelo fatorial do NRC (2012), a exigência de lisina digestível para suínos em crescimento, considerando que a proteína corporal tem 7,087% de lisina (Mohn et al., 2000) e a eficiência de deposição da lisina digestível é de 0,68 g/g, será 15,1 g/d ($(145 \times 0,07087) / 0,68$).

2.3 Exigência de energia para o crescimento proteico de suínos

O consumo para suínos em crescimento é ajustado na tentativa de atender às necessidades energéticas que, por sua vez, são determinadas pelo potencial de crescimento do animal, representado basicamente pelas deposições diárias de proteína e gordura associadas ao custo energético desta deposição (Bikker et al., 1995). O amido dos cereais, na maioria das vezes, contribui com a maior parte da energia da dieta, mas proteína, gordura e fibra também contribuem energeticamente na dieta. No entanto, uma vez que a proteína é mais cara (por unidade de energia) que o amido, seu uso como fonte energética é dispendioso, já que o principal objetivo da criação intensiva de suínos é converter maior quantidade de proteína ingerida em proteína depositada. Mas a eficiência de utilização da proteína da dieta varia em função de vários fatores, como potencial genético para deposição de proteínas e capacidade de ingestão diária do animal por exemplo.

A eficiência com que a proteína da dieta é utilizada não é determinada somente pela sua composição de aminoácidos, mas também por fatores como qualidade e quantidade, também pelas quantidades de lipídios e carboidratos fornecidos (Fuller; Crofts, 1977; Li; Sauer, 1994; Reeds et al., 1987). Os autores sugerem que tanto lipídios, como carboidratos presentes na dieta atuam como estimulantes para a deposição de proteínas, fenômeno considerado com “efeito poupador da proteína”. Esse efeito possui origem em pelo menos três hipóteses: 1) a reposição de proteínas

corporais necessita quantidades consideráveis de energia. 2) a maior diluição da proteína da dieta por outras fontes de energia torna menos provável que os aminoácidos sejam desaminados e que muitos efeitos dos carboidratos podem ser atribuídos às ações anabolizantes da insulina, liberada em resposta à absorção dos carboidratos. A insulina provoca a captação de aminoácidos e a síntese geral de proteína. 3) a queda dos níveis de insulina leva à proteólise e a liberação de aminoácidos.

Após o consumo de uma dieta com alta concentração proteica, os altos níveis de aminoácidos que chegam ao pâncreas estimulam a liberação de glucagon, conseqüentemente aumentando a captação de aminoácidos pelo fígado e estimulando a gliconeogênese. Quanto maior a quantidade de carboidratos na dieta, maior a relação insulina/glucagon e maior a quantidade de aminoácidos que são desviados da gliconeogênese para a síntese de proteína (Smith; Marks; Lieberman, 2003). Assim, a adição de substratos energéticos de origem não proteica a dietas de suínos em crescimento aumenta a taxa de retenção de nitrogênio, e a adição de carboidratos ou gorduras parece ser igualmente eficaz nesse aspecto (Reeds et al., 1987). Aumento na taxa de deposição proteica está associado ao aumento na síntese de proteína, mas também pode estar relacionado ao decréscimo na degradação proteica e a redução no catabolismo de aminoácidos (Kyriazakis; Emmans, 1992). A taxa de deposição proteica aumenta à medida que o consumo energético aumenta, mediante o suprimento proteico constante e não limitante. A taxa de deposição lipídica também aumenta à medida que aumenta o consumo energético. Mesmo nos menores níveis de consumo, a proteína pode ainda ser retida nas custas da energia drenada das reservas lipídicas corporais (Kyriazakis; Emmans, 1992).

A energia metabolizável diária necessária para os animais é considerada como a soma da energia para manutenção e o custo energético para deposição de proteína e gordura. A eficiência com que essa energia é utilizada depende da mistura de nutrientes que a suprem e do uso metabólico dessa pelo animal. A utilização de energia varia de acordo com a composição do tecido corporal que está sendo formado, e de acordo com a proporção de energia metabolizável (EM) usada para crescimento em relação à manutenção (Fuller, 1996). Se os suínos são alimentados com quantidades insuficientes de energia, a eficiência da conversão alimentar é reduzida, pois uma maior parte da energia alimentar é utilizada para manutenção (Just, 1984).

O custo energético de deposição de proteína corporal é a soma do calor de combustão dos aminoácidos incorporados à proteína e a energia gasta na sua retenção. Isto é muito mais que o custo energético da síntese proteica, pois a proteína corporal não está somente sendo continuamente sintetizada, mas está também sendo continuamente degradada, logo a quantidade de proteína incorporada em um dia pode ser somente um quinto do total sintetizado. Energia adicional pode ser necessária para a síntese de aminoácidos não essenciais e outros processos relacionados. Uma vez que a síntese proteica excede a deposição, o custo energético de reposição necessita uma considerável quantidade de energia (Close; Berschauer; Heavens, 1983).

A eficiente utilização de nutrientes depende do correto fornecimento de aminoácidos nas proporções adequadas juntamente com uma quantidade adequada de energia para que promova uma completa utilização desses aminoácidos para o crescimento e deposição proteica, mas sem excesso de energia para evitar a deposição de gordura em excesso. Por outro lado, se a proteína fornecida for de baixa qualidade ou em excesso, a EM decresce, pois os aminoácidos não utilizados para a síntese de proteína são catabolizados e utilizados como fonte de energia e o nitrogênio é excretado na urina, e a energia líquida é reduzida pelo aumento na produção de calor (Just, 1984; NRC, 1998). As perdas de energia urinária são dependentes da quantidade de N presente na urina, que é influenciado pela quantidade e qualidade de proteína digestível da dieta.

2.4 Aminoácidos

Os aminoácidos são importantes reguladores das principais vias metabólicas (Figura 1), que são necessárias para manutenção, crescimento, reprodução e imunidade em organismos, maximizando a eficiência de utilização de alimentos, aumentando a deposição de proteínas, reduzindo a deposição de gordura e melhorando a saúde do animal (Suenaga et al., 2008; Wu et al., 2007). Os aminoácidos são os blocos de construção da proteína, sua estrutura típica é composta por um grupo amina ($-NH_2$), um grupo carboxila ($-COOH$), um átomo de hidrogênio e uma cadeia lateral específica para cada aminoácido. As proteínas são polímeros de aminoácidos onde o grupo carboxila de um aminoácido reage com o grupo amina de outro.

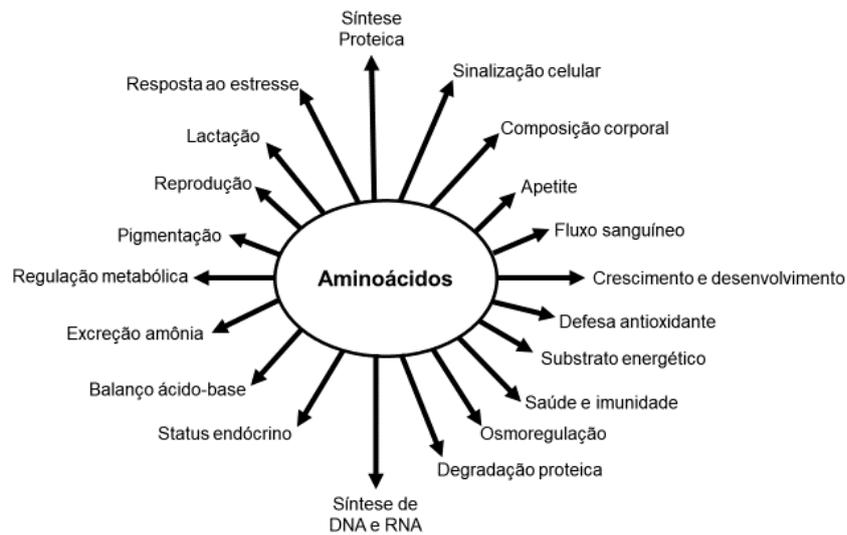


Figura 2-1- Funções dos aminoácidos na nutrição e homeostase no metabolismo animal

Fonte: Adaptado de Wu G. (2010).

Cerca de três quartos dos sólidos corporais consistem em proteínas (Guyton; Hall, 2006). As proteínas são fabricadas pelo suíno a partir de vinte aminoácidos. Nove destes não podem ser sintetizados ou não são sintetizados em quantidade ou velocidades suficientes pelo organismo animal e são, portanto, designados como elementos essenciais da dieta. Os aminoácidos essenciais são: lisina, metionina, treonina, triptofano, isoleucina, leucina, histidina, fenilalanina e valina. Quantidades de metionina suficientes na dieta possibilitam a síntese de cisteína e de forma semelhante, tirosina pode ser sintetizada a partir de fenilalanina. A arginina não é essencial para o suíno em crescimento acima de 20 kg. Os outros aminoácidos não essenciais podem ser sintetizados no corpo do animal: alanina, ácido aspártico, asparagina, ácido glutâmico, glutamina, serina, glicina e prolina (Whittemore; Green; Knap, 2001).

Resultados de algumas pesquisas revelaram que os aminoácidos não essenciais também têm importantes funções reguladoras no metabolismo de nutrientes para favorecer o crescimento do tecido magro e redução do tecido adiposo (Dai et al., 2012; Wu et al., 2012). É comumente assumido que o equilíbrio ideal de proteínas deve fornecer aminoácidos suficientes para poder suprir também, aminoácidos não essenciais. Alguns pesquisadores (Rezaei et al., 2013; Wu, 2009) definiram arginina, cisteína, glutamina, glutamato, glicina, leucina, prolina e triptofano como “aminoácidos funcionais” porque regulam as principais vias metabólicas de

células essenciais para a sobrevivência, crescimento, desenvolvimento e reprodução. Esses aminoácidos são conhecidos também por melhorarem a eficiência de utilização de proteínas dietéticas em suínos (Rezaei et al., 2013; Wang et al., 2008). Coletivamente, os animais têm necessidades dietéticas para todos os aminoácidos sintetizáveis para atingir seu pleno potencial genético para o crescimento, desenvolvimento, reprodução, lactação e resistência a doenças infecciosas (Wu, 2013).

A principal função dos aminoácidos dietéticos é sintetizar proteínas teciduais em animais e para isso, múltiplos processos bioquímicos e fisiológicos complexos são necessários para transformar proteínas dietéticas em proteínas teciduais. Esses eventos incluem digestão, absorção e metabolismo de aminoácidos funções que envolvem numerosos controles e fatores de influência, todos interagindo para controlar o metabolismo e influenciados por sistemas humorais e neurais que precisam estar sincronizados para todo o processo acontecer. Taxa e frequência da ingestão de alimentos, taxa de esvaziamento gástrico e taxa de trânsito da digesta pelo intestino delgado, atividade de várias enzimas digestivas (incluindo bacterianas), grau de contato entre as enzimas e a proteína alimentar, taxa de absorção de aminoácidos e grau de competição por locais de transporte são exemplos de processos que ocorrem no metabolismo proteico no organismo. O coeficiente de digestão e absorção de aminoácidos é influenciado tanto pelo alimento como é um atributo do animal e numerosos fatores afetam a capacidade do animal para digerir e absorver (Moughan, 1999).

A excreção dos compostos nitrogenados é feita via fezes e urina, no caso de suínos, principalmente na forma de ureia. O N endógeno é considerado como a quantidade de N excretada devido a gastos com manutenção, perdas endógenas e ineficiências metabólicas. Enquanto, o N excretado pelos suínos corresponde à parte do N alimentar que não foi retido na forma de proteína corporal ou utilizado no turnover proteico (Bailleul et al., 2001).

Estima-se que seja necessário em torno de 6 kg de N para criar um suíno desde o crescimento até a terminação (8-110 kg). No entanto, aproximadamente 45% deste N é retido no animal, os outros 55% são excretados, principalmente através de fezes e urina (Millet et al., 2018). A excreção corresponde às perdas endógenas e a fração nitrogenada perdida devido ao catabolismo dos aminoácidos que não são utilizados

na síntese proteica geralmente, ocasionado quando o balanço dos aminoácidos está em proporções inadequadas na dieta.

Com base na observação de que a composição aminoacídica de proteínas de alta qualidade para animais em crescimento é semelhante à composição de aminoácidos do tecido dos animais, foi desenvolvido o conceito de expressar os requisitos de aminoácidos na dieta em um perfil ideal de aminoácidos (NRC, 2012). O conceito foi aprimorado para a nutrição de suínos e considera que as dietas devem ser suplementadas com uma mistura de aminoácidos com total disponibilidade de digestão e metabolismo, capaz de atender, sem excessos nem deficiências, às necessidades absolutas de todos os aminoácidos exigidos para o desenvolvimento do animal.

Os requisitos para aminoácidos na proteína ideal são usualmente expressos em relação ao requisito de Lisina (Lis=100%) (Tabela 2), pelo fato de ser usada basicamente para síntese proteica, sendo o componente principal do tecido magro dos suínos (Abreu; Fontes; Terra, 2014). A abordagem de reduzir os níveis de proteína bruta e suplementar a dieta com aminoácidos cristalinos tem implicações nutricionais, econômicas e ambientais para a indústria suína (Figueroa et al., 2002; Zhang et al., 2011). Os diferentes valores encontrados na literatura de exigência de lisina mostram que a exigência deste aminoácido é influenciada pelo estado fisiológico, sexo, composição da dieta, nível de consumo dos animais. Embora o conceito da proteína ideal esteja difundido, alguns aspectos conceituais podem ser aperfeiçoados com base na abordagem fatorial. Um destes aspectos é a diferenciação do perfil de aminoácidos exigidos para crescimento e para manutenção (Hurwitz, 1985).

Uma fonte de aminoácidos deficiente resulta em uma redução no desempenho enquanto um excesso de oferta é dispendioso ao animal e leva à excreção excessiva de N com um impacto ambiental potencialmente negativo (Van Milgen; Dourmad, 2015). A proteína é quantitativamente o nutriente mais caro nas dietas de suínos (Rezaei et al., 2013). Assim, a ingestão de menor quantidade de proteína bruta pelos animais além de diminuir custos com a alimentação, diminui a excreção de N, o que contribui para minimizar o impacto ambiental causado pela atividade, visto que os impactos negativos da produção animal são um problema em diferentes partes do mundo. De acordo com Ferget et al. (2002), a contribuição da proteína ideal neste aspecto possibilita, para cada 1% de proteína bruta reduzida na dieta, uma redução de até 9% da excreção de N nos dejetos.

Tabela 2- Relação Aminoácido/Lisina (Proteína Ideal) para estimar as exigências de aminoácidos para suínos em crescimento

Fase Aminoácido	Inicial		Crescimento	
	Digestível	Total	Digestível	Total
Lisina (%)	100	100	100	100
Metionina (%)	29	28	30	29
Metionina+Cistina (%)	57	56	59	58
Treonina (%)	65	68	65	68
Triptofano (%)	19	19	20	20
Arginina (%)	45	44	42	40
Valina (%)	69	70	69	70
Isoleucina (%)	55	55	55	55
Leucina (%)	100	97	100	97
Histidina (%)	33	32	33	32
Fenilalanina (%)	50	49	50	49
Fenilalanina+Tirosina (%)	100	98	100	98

Fonte: Tabelas Brasileiras de aves e suínos. Rostagno et al. (2017).

2.5 Lisina

A lisina é considerada o primeiro aminoácido limitante para os suínos em dietas convencionais devido principalmente a sua constância na proteína corporal e sua destinação metabólica preferencial para deposição de tecido muscular (NRC, 1998). É considerada um aminoácido verdadeiramente essencial, pois não possui via de síntese endógena. Além disso, a análise laboratorial para determinar os níveis de lisina nos ingredientes, rações e tecidos são precisas. A exigência deste aminoácido para diferentes categorias foi determinada por diferentes autores (Abreu et al., 2007; Gattás et al., 2012; Rostagno; Albino; Donzele, 2011) entre outros. Além do mais, a utilização da lisina purificada como ingrediente nas dietas é economicamente viável. Por isso a lisina é o aminoácido mais investigado e utilizado como referência na proteína ideal.

Além da sua função primária como um bloco de construção para a biossíntese de proteínas e peptídeos, a lisina funciona como um substrato para a geração de numerosas moléculas não peptídicas, que incluem substâncias nitrogenadas de baixo peso molecular (por exemplo, carnitina, poliaminas, amônia e ureia), outros

aminoácidos ou derivados de aminoácidos, bem como algumas pequenas moléculas não nitrogenadas (Wu, 2013). Cada um destes metabolitos tem uma importância bioquímica e fisiológica específica para os processos vitais do animal. A carnitina por exemplo, é sintetizada a partir de lisina e metionina por meio de um processo bioquímico de múltiplos passos (Liao; Wang; Regmi, 2015), têm como papel mais importante o transporte de ácidos graxos de cadeia longa para as mitocôndrias para a β -oxidação e subsequente produção de energia através do ciclo do ácido cítrico. Excesso, mas principalmente deficiência de lisina pode reduzir ou aumentar a retenção de N e o turnover corporal, pode afetar ainda o desempenho animal e características da carcaça bem como, a digestibilidade dos nutrientes.

A deposição de tecido muscular está relacionada com a quantidade de proteína, mais especificamente de aminoácido ingerido, quando não é limitada por outros nutrientes ou potencial de crescimento do animal. Segundo Friesen (1994), a deposição de tecido muscular está relacionada à lisina ingerida pelo animal. Susenbeth (1995) identificou que leitões ($\cong 15$ kg) possuem 6,5% de lisina na proteína corporal, suínos entre 40-60 kg possuem 7%. O NRC (2012), compilando resultados de diferentes pesquisadores definiu a concentração de 7,1 g lisina/100 g no ganho de proteína corporal. Há diferentes valores na literatura para a concentração de lisina na retenção proteica, Susenbeth (1995), sugerem o valor de 7,5%, um pouco mais alto que o valor recomendado por Heger et al., (2002) de 7,07% e, recentemente o valor de 7,3% (Heger et al., 2009). Mohn et. al. (2000), sugerem o valor de 7,087%. O ajuste da relação lisina/EM também é essencial para que haja energia e aminoácidos disponíveis em quantidades adequadas para que a síntese proteica ocorra. De acordo com Schinckel & Einstein (1995), a deposição de proteína aumenta conforme o consumo de energia até atingir um platô, determinado pelo potencial genético do animal. Quando o limite genético de deposição proteica é atingido, a energia excedente promove a deposição de tecido adiposo (Gattás et al., 2012). A magnitude da resposta a maiores níveis de lisina dietética pode estar diminuída com o aumento do peso do suíno acima de 100 kg. De fato, esta resposta de diminuição de eficiência tem sido observada como decrescente. Segundo Schinckel & Einstein (1995), o crescimento de tecido magro é pequeno no início, aumenta rapidamente e alcança o máximo entre os 40 e 75 kg de peso corporal, para então diminuir com diferentes intensidades. A retenção de proteína nos suínos varia em função do peso vivo, e é zero ao atingir a maturidade (Whittemore; Green; Knap, 2001).

Por ser o aminoácido referência para o perfil de proteína ideal, muito já se pesquisou sobre o requerimento de lisina para suínos nas diferentes fases de produção, principalmente considerando as necessidades nutricionais da população. Thong e Liebert (2004), encontraram valores para exigências de lisina para suínos com peso médio de 50 kg de 15,5; 18,0 e 21,1 g/d para a deposição diária de proteínas de 130, 145 e 160 g, respectivamente. Em ensaio realizado por Abreu et al. (2007), o consumo de lisina digestível de 21,94 g/dia (3,43 g de Lis/Mcal de EM) proporcionou os melhores resultados de desempenho e características de carcaça de suínos machos castrados de alto potencial genético dos 30 aos 60 kg. A deficiência de lisina na dieta pode reduzir a expressão de transportadores de aminoácidos no intestino delgado (He et al., 2013) e alterar as concentrações plasmáticas de aminoácidos (Regmi et al., 2016; Zeng et al., 2013), levando a uma série de consequências interligadas que podem afetar a saúde e a produtividade dos suínos.

A eficiência com que os nutrientes da dieta são utilizados para ganho de peso ou deposição de proteína é outro fator importante para a sustentabilidade da produção de suínos. A eficiência é um parâmetro que nos indica como os recursos utilizados pelos suínos estão sendo convertidos em resultados. A eficiência com que a proteína da dieta é utilizada não é determinada somente por sua composição de aminoácidos, mas também por fatores como sua qualidade e quantidade, também pelas quantidades de lipídios e carboidratos fornecidos. Dados do NRC (2012) apontam que para a faixa de peso de 20 kg a eficiência de retenção da lisina seja de 68% e na faixa de 120 kg 57%. Em condições práticas de alimentação, a eficiência da lisina para suínos pode ser assumida entre 50 e 60% (Thong; Liebert, 2004).

2.6 Modelagem para determinação das exigências nutricionais dos animais

A modelagem é considerada uma estratégia que ajuda a entender e quantificar a interação dos fenômenos biológicos complexos tais como crescimento, digestão, absorção, metabolismo dos nutrientes entre outros. Esses fatores apresentam grande variabilidade e são dependentes de diversas condições (Oviedo-Rondón; Pomar; Malheiros, 2014). Os modelos matemáticos são empregados transformando conceitos e conhecimentos pertinentes de fisiologia, bioquímica, nutrição e metabolismo de nutrientes em equações matemáticas, o que permite simular situações reais no computador e testá-las via experimentação. Essa metodologia permite a integração

quantitativa dos fenômenos digestivos e metabólicos passíveis de influenciar as respostas dos animais às variações alimentares (Lovatto; Sauvant, 2001). A modelagem vem sendo utilizada para melhorar o desempenho dos suínos, diminuir o custo de produção e ainda minimizar a excreção de nutrientes, proporcionando melhora na sustentabilidade da produção.

As pesquisas baseadas nas metodologias tradicionais de avaliação das exigências nutricionais dos animais (dose-resposta, por exemplo), não proporcionam a inter-relação de todos os fatores que podem influenciar no máximo desempenho animal. Esses ensaios geralmente concentram-se na necessidade de aminoácidos em relação a uma única perspectiva (conversão alimentar ou ganho médio diário, por exemplo), isto é, quais são as consequências de uma deficiência de aminoácidos no desenvolvimento/desempenho animal? Este último aspecto é, em certo modo, considerado em abordagens de modelagem que buscam quantificar a resposta do animal ao suprimento de aminoácidos de forma dinâmica (Van Milgen; Dourmad, 2015).

A complexidade dentre os fatores envolvidos com o desempenho animal não pode ser avaliada quantitativamente e de forma dinâmica, com isso, os modelos matemáticos têm se tornado cada vez mais importantes para o meio científico, uma vez que possibilitam combinação dos conhecimentos técnicos do nutricionista e a capacidade matemática de computadores. De acordo com Rondón et al. (2002), um modelo é considerado linear quando todos os parâmetros estão linearmente dispostos, mesmo quando existirem termos elevados ao quadrado, ao cubo e assim sucessivamente. As exigências geradas com o uso de modelos lineares podem ser interpretadas como concentrações de aminoácidos presentes na dieta acima das quais não serão observadas respostas adicionais no desempenho dos animais (Pack; Hoehler; Lemme, 2003).

Os modelos não lineares baseiam-se no contexto que a resposta animal é reduzida à medida que se aproxima do desempenho máximo ou mínimo (Sakomura; Rostagno, 2016). Assim, modelos criados pelo método fatorial que consideram a máxima deposição de proteína (PD_{max}) usualmente seguem uma resposta linear-platô em relação ao consumo de aminoácidos digestível, com a eficiência (inclinação da reta) obtida na parte linear do modelo atribuída ao nível da PD_{max} (Hauschild et al., 2012). Desse modo, o máximo ganho com o máximo de eficiência é estimado, o que pode levar à subestimação da exigência dietética de aminoácido digestível, pois

considera a eficiência constante à medida que se aumenta o desempenho do suíno. Por outro lado, exigências de aminoácidos digestíveis obtidas a partir de experimentos dose-resposta, especialmente aqueles obtidos por modelos quadráticos, valorizam a PD_{max} em ponto já avançado no platô assintótico, onde a eficiência de conversão do aminoácido digestível ingerido é baixa, o que pode levar à superestimação da exigência dietética de aminoácidos digestíveis.

Gahl et al. (1994) não consideram constantes os ganhos nas respostas face ao aumento na ingestão de aminoácidos (parte linear do modelo linear-platô), e sugerem que os retornos ao aumento na ingestão de nutrientes são decrescentes à medida que se aproxima da resposta máxima. Rendimentos decrescentes em resposta ao aumento na ingestão de nutrientes têm evidente impacto econômico, uma vez que há decréscimo no ganho para cada incremento no consumo, e este incremento passa a ser zero a partir do ponto de resposta máximo (Gahl; Crenshaw; Benevenga, 1994). Estes autores evidenciaram ainda, que a eficiência marginal máxima para o consumo de lisina por suínos em crescimento é verificada abaixo da metade da resposta máxima e que conseqüentemente os rendimentos decrescentes são verificados na metade superior da curva de resposta. Da mesma forma, o aumento do consumo de lisina na dieta reduz a eficiência de deposição de tecido proteico em suínos (De Lange; Birkett; Morel, 2001; Möhn et al., 2000). Quando se avalia a eficiência marginal de utilização da lisina para deposição de proteína ou ganho de peso é preciso considerar a variabilidade entre os animais estudados. Isto porque a eficiência média de utilização de um nutriente estimada para um grupo de animais pode ser mais baixa que a eficiência estimada para um único animal (Gahl et al., 1991) e é mais evidente quando a ingestão do nutriente está próxima à máxima deposição de proteína (Gahl; Crenshaw; Benevenga, 1994).

2.7 Exigências nutricionais suínos individuais vs. suínos grupo

Os modelos utilizados atualmente para determinar as exigências de nutrientes para os animais (empírico e fatorial), são propostos para maximizar o desempenho e assumem que a eficiência de utilização do nutriente é constante para todos os indivíduos da população estimando o mesmo nível para todos os animais por um longo período, assim provavelmente haverá animais recebendo um aporte maior de nutrientes do que realmente precisa (Hauschild; Pomar; Lovatto, 2010). As exigências

nutricionais mudam dinamicamente ao longo do tempo e variam entre os animais, mesmo em populações homogêneas para idade ou sexo, por exemplo (Pomar et al., 2003). Para atingir uma maior parte da população a adoção de margens de segurança na formulação das dietas é uma estratégia adotada pela indústria de rações, entretanto, as excessivas margens de segurança configuram excesso no fornecimento de nutrientes que normalmente não são aproveitados pelo animal, reduzindo a eficiência de utilização e aumentando a excreção de nutrientes (Bailleul et al., 2001). A variabilidade entre os animais afeta a interpretação das respostas da população e da eficiência de utilização dos aminoácidos ingeridos acima da exigência de manutenção para deposição proteica.

A variabilidade entre indivíduos é resultado das diferenças existentes entre os animais no que se refere à genética, idade e peso. Além dessa variação há também variações extrínsecas, que estão relacionadas a fatores como temperatura, umidade, densidade animal entre outros fatores externos que interferem no desempenho e nas exigências dos animais. Considerar essa variabilidade entre indivíduos nas exigências de nutrientes, pode ser importante para obtenção de melhores estratégias alimentares, maiores lucratividades e maximização da resposta da população (Pomar, 1995).

Ainda é bastante difícil medir a resposta individual de um suíno em crescimento a diferentes níveis de aminoácidos em condições fisiológicas idênticas. No entanto, os fatores de interferência podem ser minimizados por um projeto experimental adequado. Diferentes autores (Andretta et al., 2016; Heger et al., 2009; Isola et al., 2018; Remus et al., 2019) avaliaram a variabilidade animal dentro da população e relataram diferenças entre indivíduos referentes às exigências nutricionais e respostas no desempenho.

A adoção de estimar as exigências de aminoácidos através de um único indivíduo pode possibilitar no futuro diminuir o uso de animais nos experimentos de metabolismo, porém com a mesma confiabilidade, permitindo determinar as exigências de mais de um aminoácido em um único experimento. Além disso, novas estratégias alimentares vêm sendo desenvolvidas como por exemplo, o uso de *Intelligent Precision Feeder*, onde o sistema de alimentação identifica os animais individualmente e fornece uma dieta adequada conforme suas necessidades diárias. Sendo assim, sistemas de alimentação de precisão têm sido desenvolvidos para proporcionar condições de nutrição mais adequadas, permitindo melhor utilização dos

nutrientes da dieta e otimizando o custo das formulações (Hauschild et al., 2012). Assim, modelos para determinar a exigência de nutrientes que considerem as variações individuais dos animais podem ser adotados em futuras estratégias alimentares melhorando a eficiência de utilização da dieta e maximizando o desempenho dos suínos.

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

As hipóteses que conduziram esta pesquisa são as seguintes:

- Os suínos em crescimento apresentam retenção de nitrogênio crescente quando recebem níveis crescentes de aminoácidos ou energia na dieta, mas essa retenção é curvilínea e indica retornos decrescentes próximo à resposta máxima de retenção do suíno.
- A resposta de retenção de N em função de níveis dietéticos crescentes de aminoácidos é similar quando avaliada considerando suínos individuais ou suínos em grupo.

Os objetivos do presente estudo estão listados a seguir:

- Determinar a exigência de lisina digestível (g/d) para suínos em crescimento, recebendo níveis crescentes deste aminoácido sequencialmente no tempo para animais individuais;
- Determinar a exigência média de lisina digestível (g/d) para uma população de suínos em crescimento recebendo diferentes níveis deste aminoácido;
- Estimar a eficiência de retenção de lisina na dieta para suínos individuais e em grupo;
- Estimar a retenção diária de lisina (g) para suínos em crescimento por balanço de nitrogênio;
- Comparar os pontos de máxima deposição (exigência) entre os suínos individuais e em grupo;
- Estimar a eficiência de utilização de energia metabolizável na dieta para a retenção de nitrogênio em suínos individuais.

CAPÍTULO II¹

¹Este capítulo é apresentado conforme as normas de publicação da revista Journal of animal and feed sciences.

Relações de exigência e eficiência de lisina para suínos individuais e em grupo

Ribas M.F.S*, Kessler A.M.*¹

*Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 91540-00

¹Endereço email: akessler@ufrgs.br

Resumo

Foram realizados dois ensaios de balanço de nitrogênio (N) para avaliar a resposta de suínos individuais (ensaio 1) e suínos em grupo (ensaio 2) ao aumento do consumo de lisina digestível (g/d) na retenção de lisina (g/d). No ensaio 1 foram utilizados 18 suínos machos castrados ($30,60 \pm 2,49$ kg), avaliados individualmente pelo período de 23 dias. Foram fornecidas uma série de 6 dietas com aumento sequencial de lisina digestível (g/d) a cada três dias, totalizando dezoito dias de período de coletas considerando o suíno individual como repetição. No segundo ensaio foram utilizados 18 suínos machos castrados ($27,48 \pm 2,19$ kg), distribuídos em seis grupos (três suínos cada) por um período de 10 dias. Seis dietas com diferentes níveis de lisina digestível foram distribuídas para os grupos de suínos e avaliado a resposta média da população. A concentração de lisina digestível para os dois experimentos variou de 65% a 115% das exigências assumidas para suínos em crescimento. A retenção de N foi relacionada ao consumo de lisina para suínos individuais, suínos em grupo e total dos suínos individuais e assim, estimado a exigência, retenção e eficiência de lisina usando o modelo de Richards ou Polinomial quadrático. Comparando os dados dos suínos em grupo e total dos suínos individuais a exigência de lisina digestível (cLIS_{max}) (g/d) para a máxima retenção apresentou diferença entre os dois experimentos ($p < 0,01$) sendo 17,9 para os suínos em grupo e 15,6 para o total dos suínos individuais. No entanto, para a variável retenção máxima de lisina (RetLIS_{max}) (g/d) não houve diferença entre os experimentos ($p > 0,05$) onde os suínos em grupo apresentaram o valor de 12,2 e o total dos suínos individuais foi de 12,11 g/d. A eficiência de retenção de lisina foi de 0,68 e 0,77 para os suínos em grupo e total dos suínos individuais, respectivamente. Considerando as respostas individuais de cada suíno a cLIS_{max} variou de 13,6 a 24,7 (g/d) sendo que a RetLIS_{max} para esse consumo de lisina foi de 9,6 e 13,3 (g/d) e eficiência de retenção de lisina de 0,70 e 0,54 e respectivamente. Os animais consumiram mais energia metabolizável por grama de lisina retida nos níveis mais baixos de consumo de lisina digestível e houve evidente redução linear ($P < 0,0001$) no consumo de EM conforme aumento da RetLIS_{max} individualmente estimada. Os dados individuais dos suínos ao aumento gradual do consumo de lisina digestível mostram que os suínos que apresentam as maiores taxas de deposição diária de lisina não são os que utilizam de modo mais eficiente a inclusão deste aminoácido na dieta. Além disso, a variação existente entre os suínos de uma mesma população, mesmo sendo de mesma origem e categoria, mostra que os diferentes potenciais apresentado por cada suíno interferem na interpretação das exigências de lisina, e considerar essas variações para a alimentação dos suínos pode trazer benefícios econômicos e ambientais para a produção.

Palavras-Chave: Eficiência de lisina na dieta; exigência de aminoácidos; metabolismo nitrogênio; resposta individual; suínos; variabilidade animal

Introdução

As exigências de aminoácidos para o crescimento são diretamente influenciadas pelo potencial de crescimento em proteína corporal dos suínos e a eficiência com que os aminoácidos da dieta são incorporados nesta proteína, e deste modo, suínos com genótipos superiores exigem um maior aporte de aminoácidos na dieta para suportar a alta taxa de deposição proteica. Assim, quanto maior a capacidade do suíno de depositar carne magra, maior será a exigência diária de aminoácidos, principalmente lisina, para maximizar seu desempenho e a taxa de deposição proteica.

As exigências de aminoácidos na proteína ideal são usualmente expressos em relação à lisina, em virtude de ser usada basicamente para síntese proteica, sendo o componente principal do tecido magro dos suínos (Abreu et al., 2014). Os diferentes valores encontrados na literatura de exigência de lisina (Rostagno, 2017; Heger, 2009; NRC, 2012; Thong e Liebert, 2004) mostram que a exigência deste aminoácido é influenciada pelo estado fisiológico, sexo, composição da dieta, nível de consumo dos suínos entre outros fatores. Assim, a variabilidade entre os suínos de um grupo pode afetar a interpretação das respostas de exigências e eficiência de utilização dos aminoácidos para deposição proteica.

Outros fatores que interferem na determinação das exigências de nutrientes são a metodologia utilizada para determinar a exigência e a forma de interpretação dos dados gerados. Os modelos usualmente utilizados para determinar as exigências de nutrientes para os animais (empírico e fatorial), são propostos para maximizar o desempenho e assumem que a eficiência de utilização do nutriente é constante para todos os suínos da população, dentro de uma mesma faixa de peso vivo, estimando o mesmo nível para todos os animais, assim provavelmente a maioria dos suínos acaba recebendo um aporte maior de nutrientes do que realmente precisa (Hauschild et al., 2010). As exigências nutricionais mudam dinamicamente ao longo do tempo

e variam entre os animais, mesmo em populações homogêneas para idade ou sexo, por exemplo (Pomar et al., 2003).

As pesquisas baseadas nas metodologias tradicionais de avaliação das exigências nutricionais dos animais (dose-resposta, método fatorial) não proporcionam a inter-relação de todos os fatores que podem influenciar no máximo desempenho animal. A complexidade dentre os fatores envolvidos com o desempenho animal não pode ser avaliada quantitativamente e de forma dinâmica, com isso, os modelos matemáticos têm se tornado cada vez mais importantes para o meio científico e ganhando maior espaço no cenário produtivo, uma vez que possibilitam a interação dos conhecimentos fisiológicos, matemáticos e tecnológicos.

Medir a resposta de um suíno individual em crescimento a diferentes níveis de aminoácidos em condições fisiológicas idênticas é uma tarefa difícil. No entanto, os fatores de interferência podem ser minimizados por um projeto experimental adequado. A metodologia de estimar as exigências de aminoácidos através de um único animal já foi analisada por alguns autores (Heger et al., 2007; Isola et al., 2018; Remus et al., 2019), e os resultados demonstram que considerar as características individuais de cada suíno pode diminuir os custos de produção com alimentação e minimizar a excreção de poluentes, contribuindo com a sustentabilidade da produção. Nesse contexto, o objetivo principal deste artigo é estudar a resposta de suínos individuais e em grupo ao consumo de lisina digestível e analisar as variações existentes entre as respostas de exigência, retenção e eficiência de lisina.

Material e métodos

Os procedimentos experimentais descritos foram avaliados e aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com número de aprovação 33880.

Foram conduzidos dois ensaios de balanço de nitrogênio para determinar a exigência de lisina ($cLIS_{max}$) e a eficiência de retenção deste aminoácido para suínos de alto potencial genético em crescimento a partir da modelagem da retenção de lisina ($RetLis_{max}$) em função do consumo. Esses parâmetros foram determinados considerando as respostas individuais dos suínos (Suínos Individuais – ensaio 1) e a resposta média de uma população de suínos (Suínos Grupo – ensaio 2). Os experimentos foram conduzidos na Faculdade de Agronomia da UFRGS.

Design Experimental

No primeiro ensaio foram utilizados 18 suínos machos castrados com peso corporal médio inicial de $30,60 \pm 2,49$ kg. Os suínos foram alojados individualmente em gaiolas de metabolismo equipadas com bebedouros automáticos e comedouros manuais em ambiente com temperatura controlada, a média de temperatura para o período experimental foi de $17^{\circ}C$. Os suínos foram avaliados individualmente e receberam seis dietas consecutivas com níveis crescentes de lisina digestível em intervalos de três dias para cada nível. Assim, geramos dezoito informações de consumo de lisina digestível nos seis níveis avaliados para cada animal, possibilitando determinar a quantidade que melhor se ajuste aos requisitos individuais considerando a $RetLis_{max}$ do suíno e a eficiência de retenção da lisina. O experimento teve duração de 23 dias, sendo 5 para o período de adaptação dos suínos à gaiola, ao alimento e ao ambiente e 18 para o período de coletas de fezes e urina.

No segundo experimento foram utilizados 18 suínos, com a mesma procedência dos animais do ensaio 1, com peso corporal médio inicial de $27,48 \pm 2,19$ kg. Os suínos foram alojados individualmente em gaiolas de metabolismo equipadas com bebedouros automáticos e comedouros manuais em ambiente com temperatura controlada, a média de temperatura para o período experimental foi de $16^{\circ}C$. Os suínos foram distribuídos em blocos, de acordo com o peso corporal (leves, médios e pesados), em um dos seis níveis de lisina digestível avaliados, onde cada nível foi considerado a unidade experimental com repetição de três animais. Este

ensaio foi conduzido para obter a $RetLi_{S_{max}}$ e a eficiência de utilização da lisina para a média da população. O experimento teve duração de 10 dias, sendo 5 para o período de adaptação dos suínos à gaiola, ao alimento e ao ambiente e 5 para o período de coletas de fezes e urina.

Dietas e Alimentação

Os seis níveis de lisina avaliados nos dois ensaios de balanço de N foram obtidos através da técnica de diluição das dietas (Fisher and Morris, 1970), onde a dieta 115% lisina foi gradualmente diluída com uma dieta isoenergética livre de aminoácidos (Tabela 1), a concentração de lisina digestível nas dietas foi 65%, 75%, 85%, 95%, 105% e 115% das exigências presumidas para os suínos em crescimento (Tabela 2). A formulação das dietas foi baseada nas exigências de suínos de desempenho médio-superior com peso médio corporal de 30-50 kg, conforme Rostagno et, al. (2017).

Os suínos foram alimentados duas vezes ao dia às 8:00 e 16:00, as dietas foram fornecidas de acordo com as recomendações do NRC (2012) que são mais práticas de serem utilizadas para os cálculos de consumo diário dos suínos:

$$(\text{Consumo de EM (kcal/dia)} = 10.447 * \{1 - \text{EXP} [-\text{EXP} (-4,283) * PC^{1,0843}]\}).$$

A água foi fornecida *ad libitum*. Durante o período de adaptação os suínos foram alimentados com uma dieta com baixa concentração de lisina (65% da exigência).

Balanço de nitrogênio

O balanço de N foi conduzido por coleta quantitativa de fezes e urina. A urina foi coletada duas vezes ao dia às 9:00 e às 17:00 horas em baldes plásticos com adição de 5 ml de ácido sulfúrico (98%) para cada coleta, visando manter o pH ácido e evitar a volatilização de amônia. As coletas de urina iniciaram 8 horas após a primeira alimentação do período de coletas, continuando ininterruptamente por todo o experimento. No ensaio 1 foram guardadas,

em temperatura de -15°C para posterior análise, alíquotas de 10% do volume total de urina para cada nível de lisina digestível avaliado de cada suíno. No ensaio 2 foram guardadas, em temperatura de -15°C para posterior análise, alíquotas de 10% do volume total de urina dos seis grupos de suínos. As fezes foram coletadas duas vezes ao dia, juntamente com a coleta de urina e as alíquotas (10%) foram armazenadas conforme descrito nas amostras de urina. Para saber o início da coleta de fezes para cada dieta no ensaio 1, foi adicionado óxido de ferro (0,5% de Fe₃O₂) como marcador fecal na primeira refeição diária dos suínos no início de cada nível de lisina avaliado. No primeiro dia pós-experimental também foi adicionado óxido de ferro (0,5% de Fe₃O₂) na primeira refeição dos suínos para identificar o final do período de coletas. No ensaio 2, foi adicionado óxido de ferro como marcador fecal (0,5% de Fe₃O₂) na primeira refeição experimental dos suínos, e na primeira refeição pós-experimental para indicar o início e o final das coletas.

O peso corporal dos suínos no ensaio 1 foi registrado no primeiro dia do início das coletas, no nono dia e ao final do período experimental. Para o ensaio 2 os pesos corporais dos suínos foram registrados no primeiro dia de coletas e ao final do período experimental.

Análises Químicas

As análises químicas das dietas, fezes e urina foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da UFRGS. Foram realizadas as análises de: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), energia e cinzas das doze dietas experimentais; MS, N e energia das fezes e N total da urina. A metodologia das análises seguiu as normas do AOAC (1990). A energia bruta da urina foi calculada através da equação proposta por Noblet (2007): Energia urinária suínos (kJ/kg de MS consumida) = 192 + 31 * N urinário (g/kg de MS consumida).

Cálculos, equações e análises estatísticas

Os dados de balanço de N (consumo, excreção e retenção de N) foram obtidos a partir dos dados de consumo e excreção de PB. A partir da retenção de N foi determinada a retenção de proteína (retenção de PB = retenção N*6,25). Para fins de análise estatística, a resposta utilizada foi a $RetLis_{max}$, calculada a partir da retenção de proteína, considerando que a porcentagem de lisina na proteína corporal do suíno corresponde à 7,087% (Mohn et al.,2000). A eleição da $RetLis_{max}$ como representante da retenção de proteína corporal deveu-se à objetividade nas análises de eficiência nutricional, considerando a $RetLis_{max}$ e $cLIS_{max}$. Para observar a variação na resposta de $RetLis_{max}$ em função do consumo de lisina digestível simulamos redução de 10 e 5% no $cLIS_{max}$, que foi calculado a partir do consumo observado de lisina digestível (g/d) pelos suínos: (redução 10% consumo= consumo lisina dig.100% * 0,90; redução 5%= consumo lisina dig.100% * 0,95).

A eficiência de retenção de lisina foi determinada de modo direto, a partir dos dados de $RetLis_{max}$ dividido pelo consumo de lisina digestível (g/dia). A eficiência também foi calculada simulando a redução de 10 e 5% no consumo de lisina digestível. O consumo de energia metabolizável (kcal/dia) foi calculado a partir do consumo de ração diário (fornecido menos sobras) e do conteúdo analisado de EM da dieta. A quantidade de EM para cada grama de lisina retida foi estabelecida a partir dos valores de consumo de EM e retenção de lisina. Sendo, então, as respostas avaliadas foram:

- Retenção de Lisina ($RetLis_{max}$, g/d)= retenção N * 6,25 * 0,07087;
- Retenção de lisina máxima ($RetLis_{max}$ g/d)= ponto assintótico ou de resposta máxima das curvas estimadas;
- Eficiência de Retenção de Lisina (efiLIS, %)= $RetLis_{max}$ (g/d) / consumo lisina digestível (g/d) * 100

- Eficiência Energética da EM consumida (kcal/g)= EM consumida (kcal/d) / RetLis_{max} (g/d); testadas em função do consumo de lisina digestível e/ou da RetLis_{max}, pelos modelos descritos a seguir.

As equações de regressão para prever a RetLis_{max} foram ajustadas usando os dados de consumo e excreção de N. As respostas foram determinadas para todos os suínos individualmente, total dos suínos individuais e suínos em grupo pelo programa CurveExpert 2.6.5 (Hyams, 2018), onde foi escolhido o modelo que melhor ajustasse os dados observados. Os modelos pressupostos pelo programa foram o de Richards e Polinomial Quadrático e a qualidade do ajuste do modelo foi definida a partir do R². A exigência diária de lisina digestível foi determinada no ponto assintótico (Modelo de Richards) e Y_{max} (Quadrático) para os suínos individualmente, total dos suínos individuais e suínos em grupo.

O modelo de Richards descreve assintoticamente a retenção máxima de lisina (RetLis_{max}, representando a PD_{max}) (y) em relação ao consumo de lisina digestível (x) pela equação: $y = a / (1 + \text{EXP}(b - c * x))^{(1/d)}$. O modelo Polinomial Quadrático é descrito pela equação: $y = a + b * x + c * x^2$. Onde y é a PD_{max} do suíno e x o consumo de lisina digestível. A resposta de RetLis em função do cLIS para o total dos suínos individuais (1) e suínos em grupo (2) foram obtidas pelo ajuste das equações de Richards.

As respostas de RetLis, cLIS e eficiência de retenção de lisina do total dos suínos individuais e dos suínos em grupo foram comparados sendo submetidos à ANOVA pelo procedimento GLM do programa Statgraphics 3.1 (Statistical Graphic Corp., Rockville, MD, USA), utilizando o peso corporal e o consumo diário de lisina digestível como covariáveis.

Resultados

Durante o período experimental, nos dois ensaios, os suínos estiveram saudáveis, consumiram ração e ganharam peso de acordo com o desempenho esperado para esta categoria.

O consumo médio de lisina digestível aumentou de 8,97 g/d na dieta 1 para 19,22 g/d na dieta 6 entre os suínos individualmente. Como esperado, a excreção de N aumentou com o aumento do consumo de lisina digestível variando de 7,21 a 17,90 g/d entre os suínos individualmente para as dietas 1 e 6, respectivamente. Entre os suínos em grupo o consumo de lisina variou de 10,07 a 18,64 g/d e a excreção de N variou de 7,05 a 12,8 g/d para as dietas 1 e 6, respectivamente (Tabela 3).

Os parâmetros dos modelos utilizados para determinar a $cLIS_{max}$ para os suínos individualmente e em grupo estão sumarizados na Tabela 4. Exceto para quatro animais, que se ajustaram melhor ao modelo quadrático, os demais tiveram melhor ajuste ao modelo de Richards, assim como a estimativa total dos suínos individuais e para os suínos do ensaio 2. O critério para a utilização do modelo foi o valor de R^2 , que entre os suínos individualmente variou de 80 a 96%, confirmando o bom ajuste do modelo, onde no mínimo 80% das variações foram explicadas pelo consumo de lisina digestível. Já para os suínos em grupo e o total dos suínos individuais, o R^2 foi de 56 e 73% respectivamente, indicando que a variação entre os suínos é um dos fatores que diminuem o ajuste do modelo.

Comparando os dados dos suínos em grupo e total dos suínos individuais o $cLIS_{max}$ apresentou diferença entre os dois experimentos ($p < 0,01$), sendo que a resposta dos suínos em grupo foi 13% maior que o total dos suínos individuais. No entanto, para a variável $RetLIS_{max}$ não houve diferença entre os experimentos ($p > 0,05$), sendo 12,21 g/d para os suínos em grupo e 12,11 g/d para o total dos suínos individuais. Essas respostas indicam que a curva de retenção apresenta similaridade para os dois ensaios (Figuras 1 e 2). Analisando a $RetLIS_{max}$ podemos observar que a curva total dos suínos individualmente é mais bem definida e apresenta seu ponto assintótico antes que a curva resposta dos suínos em grupo pois, esse parâmetro também é influenciado pelo consumo de lisina e o $cLIS_{max}$ apresentou diferença entre os ensaios.

A Tabela 5 traz as respostas dos suínos individualmente e em grupo de retenção de lisina bem como o consumo de lisina ($cLIS_{max}$) para a $RetLis_{max}$ e a figura 2 traz a representação gráfica destas relações. A resposta individual dos suínos à $RetLis_{max}$ (indicador da PD_{max}), uma das variáveis utilizadas para modelar e determinar a exigência de lisina, apresentou variação de 9,16 a 14,11 g/d e resposta curvilínea, quando plotado em relação ao consumo individual para a $RetLis_{max}$ (Figura 3). A exigência de lisina foi determinada a partir da $RetLis_{max}$ do suíno, também apresentando variação entre os animais.

A eficiência de retenção da lisina (Tabela 5) foi calculada a partir do consumo e retenção de lisina digestível e variou de 0,57 a 0,77 entre os suínos individualmente e diminuiu linearmente com o aumento do $cLIS_{max}$ estimado para cada suíno (Figura 3c). Com o intuito de maximizar a eficiência de retenção da lisina foi simulado redução no seu consumo em 5 e 10% e o efeito na $RetLis_{max}$ (Tabela 5). As relações de consumo de lisina digestível * $RetLis_{max}$ * Eficiência estão representadas nas figuras 3, 4 e 5 para o $cLIS_{max}$ de 100, 95 e 90% respectivamente. Independentemente do consumo simulado de lisina (100, 95 e 90%), a relação da eficiência de retenção da lisina digestível consumida com as $RetLis_{max}$ estimadas para cada suíno individualmente foi quadrática ($P < 0,001$), mostrando que os suínos com $RetLis_{max}$ mais baixas e mais altas são menos eficientes nesta conversão (Figura 3c, 4c e 5c).

Os suínos consumiram mais energia metabolizável por grama de lisina retida nos níveis mais baixos de consumo de lisina digestível. Esta relação foi quadrática ($P < 0,0001$) nos suínos individualmente e linear ($P < 0,0001$) no grupo de suínos (Figura 6). Os valores para o grupo e total dos suínos individuais foram próximos (416,3 e 435,2 kcal/g, respectivamente), enquanto nos suínos individualmente a variação foi maior (menor valor: 393,0 kcal/g; maior valor: 514,5 kcal/g). Esta variação é demonstrada na figura 7, que mostra evidente redução linear ($P < 0,0001$) no consumo de EM conforme aumentou a $RetLis_{max}$ individualmente estimada.

Discussão

A $RetLis_{max}$, parâmetro que é afetado diretamente pelo suprimento de aminoácidos, foi o critério de resposta usado para determinar sua exigência a partir da modelagem dos resultados de consumo e excreção de N. O design experimental do ensaio 1 (suínos individuais), permite obter dezoito informações de consumo de lisina digestível nos seis níveis para cada animal, possibilitando determinar a quantidade que melhor se ajusta aos requisitos individuais considerando a $RetLis_{max}$ do suíno e a eficiência de retenção de lisina. O ensaio 2 (suínos no grupo), foi conduzido para obter a exigência de lisina para a média da população e comparar as respostas obtidas de exigência e eficiência de retenção de lisina para suínos individualmente e em grupo. A vantagem adicional do uso do animal individual é que cada animal fornece uma curva de resposta a partir da qual podem ser feitas estimativas como a $RetLis_{max}$, que são menos sujeitas a desvios do que a observação pontual no animal como repetição. Por outro lado, há a necessidade de comprovar que as curvas de resposta de animais individuais recebendo sequencialmente níveis crescentes de lisina digestível é similar à curva estimada no grupo, onde repetições de animais receberam cada nível de lisina digestível, sem alteração ao longo do período experimental.

O modelo de Richards teve melhor ajuste para a maioria dos suínos (Tabela 4), simulando o aumento da retenção de lisina em relação ao consumo de lisina digestível. Inicialmente há aumento na retenção proteica à medida que o consumo de lisina vai aumentando, considerada como resposta ascendente que está muito relacionado a capacidade genética do animal. Conforme o animal vai alcançando sua PD_{max} há estabilização da retenção e em níveis muito maiores de consumo (que não se aplicam nos experimentos atuais) há início de uma fase de intoxicação. Nosso objetivo é encontrar um ponto ideal (que obtenha bom desempenho, mas evitando grandes excreções de N) entre o final da fase de ascendência e o início da fase de estabilização. No caso do modelo de Richards, além de obter o melhor ajuste (R^2) para a maioria dos suínos e para os suínos em grupo, este modelo apresenta o ponto

assintótico (parâmetro a , na Tabela 4) como base para a estimativa da $RetLis_{max}$. Além disso, quando testado para todos os suínos, o modelo quadrático estimou os valores de consumo de lisina digestível acima dos valores observados pelo modelo de Richards. Um atributo negativo do modelo quadrático é que este pode superestimar as exigências de nutrientes, pois pressupõe respostas simétricas na parábola para deficiência e excesso do nutriente em análise. No entanto, o modelo quadrático também apresenta bom ajuste para os dados, sendo que Heger et al. (2009) obtiveram melhor ajuste com esse modelo comparando-o com outros usados para modelagem de exigências de aminoácidos. Apesar de superestimar as exigências, o modelo quadrático possui uma característica que corresponde aos processos fisiológicos do suíno, onde a partir do ponto máximo (Y_{max}) a curva resposta vai indicar uma queda no desempenho (nesse caso, retenção de lisina) pois o aumento do consumo do aminoácido causaria efeitos fisiológicos adversos nos suínos. Portanto, essas considerações em relação aos modelos são importantes na tomada de decisão para determinar as exigências de aminoácidos e demais nutrientes, pois pode afetar fortemente os valores encontrados a partir deles.

A exigência de lisina digestível entre os suínos individualmente variou de 13,65 a 24,70 g/d sendo que a $RetLis_{max}$ desses animais foi de 13,38 g/d para a maior exigência e 9,68 g/d para a menor exigência com eficiência de 0,54 e 0,70 respectivamente (Tabela 5). As exigências de lisina digestível são dependentes da deposição diária de proteína e da eficiência de utilização de aminoácidos da dieta. Os suínos mesmo sendo de mesma origem apresentaram variação nos valores obtidos. Genótipo, peso corporal, sexo, capacidade de deposição proteica e de tecido magro são alguns fatores que podem influenciar este parâmetro (Thong and Liebert, 2004; Wecke and Liebert, 2009), bem como a influência dos reprodutores e diferenças individuais na eficiência de retenção dos aminoácidos. Baseado nesses resultados e a partir de outros dados (Pomar et al., 2003; Bertolo et al., 2005; Heger et al., 2009; Andretta et al., 2016), podemos

considerar que o ajuste individual é necessário para se determinar as exigências de lisina digestível para suínos.

A $cLIS_{max}$ para o grupo de suínos foi de 17,95 g/d e para a estimativa total dos suínos individuais foi de 15,57 g/d com eficiência (lisina retida/lisina consumida) de 0,68 e 0,77 respectivamente. A resposta dos suínos individuais citados acima, mesmo apresentando a maior e menor $cLIS_{max}$ (24,70-13,65 g/d) não foram os animais com a maior e menor $RetLIS_{max}$. Heger et al. (2007), sugerem que a obtenção de uma alta acreção proteica não precisa estar relacionada à alta eficiência da utilização de aminoácidos. A resposta quadrática verificada da eficiência de uso da lisina de acordo com as de $RetLIS_{max}$ demonstra que a menor eficiência foi verificada nos suínos com os menores e maiores valores, sendo mais eficientes os intermediários (Figuras 3c, 4c e 5c). A maior $RetLIS_{max}$ só pode ser atingida exigindo pequenas perdas de aminoácidos dietéticos e endógenos via metabolismo inevitável do aumento do turnover corporal. Assim sendo, na retenção mais baixa de lisina, uma maior parcela dos aminoácidos consumidos é usada para a manutenção, sendo a provável causa desta menor eficiência. Por outro lado, nos maiores valores de $RetLIS_{max}$, quando os suínos vão atingindo seu máximo potencial genético para deposição proteica, a eficiência de conversão em lisina corporal diminui por causa da diminuição dos acréscimos na retenção de proteína corporal, que chegam a zero no ponto assintótico. Esse princípio, de diminuir a eficiência de utilização do aminoácido à medida que o animal vai alcançando seu máximo desempenho, foi verificado por Gahl et al. (1991; 1994), que sugerem rendimentos decrescentes próximos a PD_{max} . Em nosso estudo, os suínos que têm os valores mais altos de $RetLIS_{max}$ atingiram o ponto assintótico em valores mais altos de consumo de lisina digestível, numa região da curva de deposição em que a eficiência de acréscimo da proteína corporal é muito baixa confirmando esta hipótese.

A redução das concentrações ideais de proteína na dieta para um nível logo abaixo do estimado para o desempenho máximo dos animais aumenta a eficiência do nitrogênio e

consequentemente diminui sua excreção (Millet et al., 2010). Com base nesses princípios, modelamos o consumo de lisina para verificar a resposta dos suínos e as relações de eficiência. O mesmo animal citado anteriormente que apresentou a maior exigência de lisina (24,70 g/d), ao diminuir seu consumo em 10 e 5% tem sua eficiência melhorada de 0,54 para 0,60 e 0,57 respectivamente e sua retenção de lisina apresentando redução apenas a partir da quarta casa decimal para os dois valores considerados (Tabela 5). O comportamento das curvas dos suínos individualmente, demonstra que a variação em x é muito maior que a variação em y nas proximidades do ponto assintótico (Richards) ou Y_{\max} (Quadrático), porque a eficiência da retenção de lisina diminui à medida que o ganho máximo é alcançado (retornos decrescentes) (Gahl et al., 1994).

A estratégia de diminuir a ingestão de proteína já é consolidada na nutrição animal, visto que a alimentação por fases tem esse objetivo, reduzir a concentração proteica nas dietas à medida que o animal vai crescendo para melhorar a eficiência dos animais e consequentemente, diminuir a excreção de poluentes. A lisina é utilizada com melhor eficiência em quantidades abaixo do ideal pelos animais principalmente pelo fato de que esse aminoácido é usado quase exclusivamente para a síntese de proteínas e não participa de outros processos metabólicos (Heger et al., 2002). No entanto, considerar esses ajustes para suínos individualmente e diariamente é uma estratégia que possibilita melhorar a sustentabilidade da produção de suínos. Um menor consumo de lisina, nesse caso, não indicou menor retenção de lisina pelo animal e o impacto dessa estratégia na excreção de poluentes e cenário econômico da produção deve ser considerada na determinação das exigências deste aminoácido.

O suíno que exibiu a melhor eficiência de retenção de lisina (0,85%) apresentou exigência de 15,3 g/d e $RetLis_{\max}$ de 13,02 g/d, sendo que o suíno com a menor eficiência (0,54%) obteve consumo 61% maior do que o suíno mais eficiente e a $RetLis_{\max}$ apenas 3% maior (Tabela 5). A eficiência dos suínos individualmente em relação ao $cLIS_{\max}$ estimado

apresenta resposta linear negativa (Figuras 3d, 4d e 5d). Assim, a melhor eficiência de retenção está em valores mais baixos de consumo de lisina digestível. A eficiência é um parâmetro que nos indica como os recursos utilizados pelos suínos estão sendo convertidos em resultados e, conforme já abordado anteriormente, a eficiência da retenção de lisina diminui à medida que se aproxima a PD_{max} do suíno, indicando retornos decrescentes.

Os dados do NRC (2012), para eficiência de retenção de lisina são de 0,68 para suínos na faixa de 20 kg e 0,56 para a faixa de 120 kg. Baseado nos valores encontrados pelo NRC (2012) para deposição proteica, calculamos a eficiência de retenção de lisina a partir de nossos dados, considerando o mesmo consumo indicado pelos autores. Os suínos avaliados em grupo apresentaram eficiência igual à reportada pelo NRC (0,68) para suínos machos castrados de médio potencial com DP de 145 g/d. No entanto, a DP_{max} para os dados dos suínos em grupo e total dos suínos individuais foi 15% maior (172 e 171 g/d, respectivamente). Esses valores de DP encontram-se um pouco acima da capacidade genética atual de suínos em crescimento e a há três fatores que podem explicar essa variação: 1) A própria metodologia para determinar as exigências. De acordo com Quiniou et.al. (1995), ensaio de balanço de N pode superestimar em até 7% os valores de retenção de N comparado com a técnica de abate comparativo, devido principalmente a pequenas perdas de N na urina que não conseguem ser quantificadas. Considerando o valor de variação de Quiniou et al. (1995), a DP encontrada para os suínos em grupo usando nossa abordagem a partir dos dados de consumo do NRC (2012) seria de 156,4 g/d mais próximo da DP encontrada na literatura para suínos em crescimento e em torno de 7% mais alta do que a DP obtida pelo NRC (2012). Em ensaio realizado por nosso grupo de pesquisa (Snizek Jr.; P. N., 2002), encontramos variação de 18% entre as duas técnicas para determinar a retenção de N nos suínos; 2) Adaptação fisiológica dos suínos às mudanças nos níveis de lisina. Em ensaio realizado para comparar oferta de níveis crescente de lisina *versus* níveis decrescentes Kampman-van et. al. (2013), concluíram que os suínos que receberam

níveis crescentes de lisina precisaram de mais tempo para se adaptar às mudanças no suprimento de aminoácido do que suínos recebendo níveis decrescentes e conseqüentemente, apresentaram maior exigência de lisina. Essa adaptação metabólica inclui mudanças nas taxas de síntese proteica, quebra de proteínas, oxidação de aminoácidos e produção de ureia; 3) Ajuste do consumo voluntário de alimento em relação ao conteúdo de proteína na dieta. Os suínos individualmente recebendo níveis crescentes de lisina digestível apresentaram menor retenção de lisina nos níveis baixos de ingestão, quando comparados aos suínos em grupo recebendo os mesmos níveis, mas já tinham retenção similar no consumo intermediário de lisina (Figura 2). Esse comportamento sugere um pequeno período de ganho compensatório dos suínos individualmente, também observado por Ishida et al. (2012) em suínos que recebiam dieta deficiente em lisina e que passaram a receber, no curto prazo, dieta adequada neste aminoácido.

Ringel et. al., (2009); Bikker, (1995) verificaram valores de eficiência de retenção de lisina de 0,70 para suínos de 50-70 kg. Valor próximo (0,68) foi encontrado para os suínos em grupo nesse trabalho, no entanto para o total dos suínos individuais a eficiência de retenção de lisina foi de 0,77. Thong e Liebert (2004) assumem valores menores para a eficiência da lisina, de 0,50-0,60, em condições práticas de alimentação para suínos em crescimento trabalhando com animais avaliados em grupo. Vale comentar que há influência do melhoramento genético nesse espaço temporal das literaturas citadas. No entanto, a prática de determinar as exigências nutricionais a partir da média da população faz com que a variação existente entre os suínos interfira na resposta de eficiência de utilização de aminoácidos. Há evidências na literatura que apontam que a eficiência de retenção de lisina para deposição proteica é independente do peso corporal (Ringel and Susenbeth, 2009), e está mais relacionada ao aumento das necessidades para manutenção do animal no decorrer do seu crescimento. Design experimental e metodologia utilizada são alguns dos fatores que podem influenciar nos diferentes valores encontrados na

literatura, bem como, a concentração da lisina assumida na proteína corporal (Heger et al., 2009). O valor assumido neste estudo foi de 7,087% conforme Mohn et al. (2000).

Usualmente as exigências de nutrientes são estimadas a partir de um valor médio da população o que não permite considerar os diferentes potenciais de deposição encontrados entre os suínos deste grupo prejudicando o desempenho e a sustentabilidade da produção. Como apontado por Bertolo et al. (2005), o conhecimento da variabilidade populacional nos requisitos de aminoácidos pode ajudar na definição da estratégia ideal de alimentação, na formulação de dietas econômicas e na maximização do lucro sob várias condições nutricionais e cenários econômicos. Os princípios de modelagem por nós utilizados podem melhorar a eficiência dos suínos em situação de alimentação com *precision feeder* pois, permitem determinar a exigência a partir dos dados de deposição de proteína e consumo de lisina, onde pode-se melhorar a eficiência de retenção de lisina sem afetar drasticamente a $RetLIS_{max}$ do animal. Sistemas de alimentação de precisão têm sido desenvolvidos para proporcionar condições de nutrição mais adequadas, permitindo melhor utilização dos nutrientes da dieta e otimizando o custo das formulações (Hauschild et al., 2012). A partir dos dados de $RetLIS_{max}$ obtidos para cada indivíduo do presente estudo, uma estimativa da exigência diária de lisina pode ser obtida para um sistema de alimentação de precisão, de acordo com a capacidade individual de retenção de proteína:

As estimativas da EM ingerida por g de lisina retida foram fortemente decrescentes com o aumento na retenção de lisina, tanto no total dos suínos individuais como nos suínos em grupo (Figura 6). Também, dentro das estimativas individuais dos suínos de $RetLIS_{max}$, houve forte redução linear (Figura 7). Por um lado, porque nos baixos níveis de ingestão de lisina as dietas foram diluídas com fontes energéticas, com conseqüente alta relação EM/lisina digestível, esta resposta era esperada. Por outro lado, como já mencionado antes, esta alta relação EM/lisina coincidiu com a maior eficiência de retenção da lisina. A eficiência energética da síntese e

deposição proteica não é determinada apenas pela composição de aminoácidos da dieta, mas também por outros fatores como sua qualidade e quantidade, assim como pela quantidade de lipídios e carboidratos fornecidos (Fuller and Crofts, 1977; Reeds et al., 1987). Deste modo, gorduras e carboidratos presentes na dieta atuam como estimulantes para a deposição proteica, referido por aqueles autores como “efeito poupador da proteína”, que, em última análise é a ingestão de calorias na forma não-proteica e na quantidade necessária para otimizar a deposição corporal de proteína. Mas em relação as $RetLis_{max}$ estimadas para cada suíno, a EM/lisina retida também é alta nas $RetLis_{max}$ mais baixas e menor nas mais altas, indicando que suínos com baixa PD_{max} necessitam de mais energia para esta deposição. Nas três curvas (total dos suínos individuais, suínos em grupo e estimativas individuais de $RetLis_{max}$) os valores convergem para próximos de 400 kcal EM/g lisina retida nos valores médios de $RetLis_{max}$, este valor é próximo ao do NRC (2012) (400 kcal/g lisina retida, calculado a partir da exigência de EM e da PD_{max}).

Os dados individuais dos suínos ao aumento gradual do consumo de lisina digestível mostram que os animais que apresentam as maiores taxas de deposição diária de lisina não são os que utilizam de modo mais eficiente a inclusão deste aminoácido na dieta. Esse comportamento indica retornos decrescentes nos níveis próximos ao máximo desempenho do animal. Além disso, a variação existente entre os suínos de uma mesma população, mesmo sendo de mesma origem e categoria, mostra que os diferentes potenciais apresentados por cada animal interferem na interpretação das exigências de lisina, e considerar essas variações para a alimentação dos suínos pode trazer benefícios econômicos e ambientais para a produção.

Referências

Abreu, M. L. T., D. de O. Fontes, and N. E. Terra. 2014. Exigências de aminoácidos para suínos. In: N. K. Sakomura, J. H. V. Silva, F. G. P. Costa, J. B. K. Fernandes, and L. Hauschild, editors. Nutrição de Não Ruminantes. FUNEP, Jaboticabal. p. 2014.

Andretta, I., C. Pomar, J. Rivest, J. Pomar, and J. Radünz. 2016. Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. *animal*. 10:1137–1147. doi:10.1017/S1751731115003067.

Available from:

https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S1751731115003067/type/journal_article

Association Of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Maryland: AOAC International 1990.

Bertolo, R. F., S. Moehn, P. B. Pencharz, and R. O. Ball. 2005. Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. *J. Anim. Sci.* 83:2535–2542. doi:10.2527/2005.83112535x.

Bikker, P., V. Karabinas, M. W. Verstegen, and R. G. Campbell. 1995. Protein and lipid accretion in body components of growing gilts (20 to 45 kilograms) as affected by energy intake. *J. Anim. Sci.* 73:2355–2363. doi:10.2527/1995.7382355x.

Fisher, C., and T. R. Morris. 1970. The determination of the methionine requirement of laying pullets by a diet dilution technique. *Br. Poult. Sci.* 11:67–82. doi:10.1080/00071667008415793.

Available from: <https://doi.org/10.1080/00071667008415793>

Fuller, M. F., and R. M. J. Crofts. 1977. The protein-sparing effect of carbohydrate. *Br. J. Nutr.* 38:489–496. doi:10.1079/bjn19770114.

Gahl, M. J., T. D. Crenshaw, and N. J. Benevenga. 1994. Diminishing returns in weight, nitrogen, and lysine gain of pigs fed six levels of lysine from three supplemental sources. *J. Anim. Sci.* 72:3177–3187. doi:10.2527/1994.72123177x.

Gahl, M. J., M. D. Finke, T. D. Crenshaw, and N. J. Benevenga. 1991. Use of a Four-Parameter Logistic Equation to Evaluate the Response of Growing Rats to Ten Levels of Each

Indispensable Amino Acid. *J. Nutr.* 121:1720–1729. doi:10.1093/jn/121.11.1720. Available from: <https://academic.oup.com/jn/article/121/11/1720/4744078>

Hauschild, L., P. A. Lovatto, J. Pomar, and C. Pomar. 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:2255–2263. doi:10.2527/jas.2011-4252.

Hauschild, L., C. Pomar, and P. A. Lovatto. 2010. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal*. 4:714–723. doi:10.1017/S1751731109991546.

Heger, J., L. Křížová, M. Šustala, S. Nitrayová, P. Patráš, and D. Hampel. 2007. Assessment of statistical models describing individual and group response of pigs to threonine intake. *J. Anim. Feed Sci.* 16:420–432.

Heger, J., L. Křížová, M. Šustala, S. Nitrayová, P. Patráš, and D. Hampel. 2009. Individual response of growing pigs to lysine intake. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 93:538–546. doi:10.1111/j.1439-0396.2008.00837.x. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1439-0396.2008.00837.x>

Heger, J., T. Van Phung, and L. Křížová. 2002. Efficiency of amino acid utilization in the growing pig at suboptimal levels of intake: lysine, threonine, sulphur amino acids and tryptophan. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 86:153–165. doi:10.1046/j.1439-0396.2003.00406.x.

Hyams, D. G. 2018. CURVEEXPERT 2.6.5.

Ishida, A., T. Kyoya, K. Nakashima, and M. Katsumata. 2012. Nitrogen balance during compensatory growth when changing the levels of dietary lysine from deficiency to sufficiency in growing pigs. *Anim. Sci. J.* 83:743–749. doi:10.1111/j.1740-0929.2012.01018.x.

- Isola, R. D. G., L. Hauschild, D. Perondi, I. Andretta, J. de P. Gobi, A. Remus, and A. M. Veira. 2018. Individual responses of growing pigs to threonine intake. *Rev. Bras. Zootec.* 47:2–7. doi:10.1590/rbz4720170143. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982018000100500&lng=en&tlng=en
- Kampman-van de Hoek, E., W. J. J. Gerrits, C. M. C. van der Peet-Schwering, A. J. M. Jansman, and J. J. G. C. van den Borne. 2013. A simple amino acid dose–response method to quantify amino acid requirements of individual meal-fed pigs. *J. Anim. Sci.* 91:4788–4796. doi:10.2527/jas.2013-6247. Available from: <https://academic.oup.com/jas/article/91/10/4788/4717259>
- Millet, S., M. Aluwé, M. De Paepe, D. L. De Brabander, and M. J. Van Oeckel. 2010. Effect of decreasing ideal protein levels on performance results and nitrogen efficiency of growing-finishing gilts. *Arch. Anim. Nutr.* 64:1–11. doi:10.1080/17450390903499931. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17450390903499931>
- Möhn, S., A. M. Gillis, P. J. Moughan, and C. F. de Lange. 2000. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. *J. Anim. Sci.* 78:1510. doi:10.2527/2000.7861510x. Available from: <https://academic.oup.com/jas/article/78/6/1510-1519/4668515>
- Noblet, J. 2007. Net energy evaluation of feeds and determination of net energy requirements for pigs. *Rev. Bras. Zootec.* 36:277–284. doi:10.1590/S1516-35982007001000025. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982007001000025&lng=en&tlng=en
- NRC, N. R. C. 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. 11th rev. (P. T. Whitacre, editor.). The National Academies Press, Washington.

Pomar, C., I. Kyriazakis, G. C. Emmans, and P. . Knap. 2003. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 81:E178–E186.

Quiniou, N., S. Dubois, and J. Noblet. 1995. Effect of dietary crude protein level on protein and energy balances in growing pigs: comparison of two measurement methods. *Livest. Prod. Sci.* 41:51–61. doi:10.1016/0301-6226(94)00030-B. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/030162269400030B>

Reeds, P. J., M. F. Fuller, A. Cadenhead, and S. M. Hay. 1987. Urea synthesis and leucine turnover in growing pigs: changes during 2 d following the addition of carbohydrate or fat to the diet. *Br. J. Nutr.* 58:301–311. doi:10.1079/BJN19870097.

Remus, A., L. Hauschild, E. Corrent, M.-P. Létourneau-Montminy, and C. Pomar. 2019. Pigs receiving daily tailored diets using precision-feeding techniques have different threonine requirements than pigs fed in conventional phase-feeding systems. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 10:16. doi:10.1186/s40104-019-0328-7. Available from: <https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40104-019-0328-7>

Ringel, J., and A. Susenbeth. 2009. Lysine requirement for maintenance in growing pigs. *Livest. Sci.* 120:144–150. doi:10.1016/j.livsci.2008.05.005. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2008.05.005>

Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzele, P. C. Gomes, R. F. de Oliveira, D. C. Lopes, A. S. Ferreira, S. L. T. Barreto, and R. Euclides. 2017. Tabelas brasileiras para suínos e aves. 4^o. Available from: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Tabelas+brasileiras+para+aves+e+su?nos:+composi??o+de+alimentos+e+exig?ncias+nutricionais#2>

Schiavon, S., M. D. Bona, G. Carcò, L. Carraro, L. Bungler, and L. Gallo. 2018. Effects of feed allowance and indispensable amino acid reduction on feed intake, growth performance and

carcass characteristics of growing pigs. *PLoS One*. 13:1–18. doi:10.1371/journal.pone.0195645.

Snizek Jr.; P. N. 2002. Utilização do conceito de energia líquida para suínos em crescimento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Thong, B. H. T., and F. Liebert. 2004. Potential for protein deposition and threonine requirement of modern genotype barrows fed graded levels of protein with threonine as the limiting amino acid. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 88:196–203. doi:10.1111/j.1439-0396.2004.00457.x.

Wecke, C., and F. Liebert. 2009. Lysine requirement studies in modern genotype barrows dependent on age, protein deposition and dietary lysine efficiency. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 93:295–304. doi:10.1111/j.1439-0396.2009.00923.x. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1439-0396.2009.00923.x>

Tabela 1- Ingredientes e composição química das dietas utilizadas na diluição (115 e 0% Lisina) dos seis níveis experimentais para suínos em crescimento

Ingredientes (%)	Suínos Individuais		Suínos Grupo	
	Dieta 115% Lis	Dieta 0% Lis	Dieta 115% Lis	Dieta 0% Lis
Milho	67,343	-	67,289	-
Farelo de soja	27,311	-	27,315	-
Amido de milho	-	82,119	-	82,069
Óleo de soja	2,057	4,851	2,057	4,851
Celulose	-	3,612	-	3,662
Calcário calcítico	1,039	0,826	1,039	0,826
Fosfato bicalcico.	0,562	1,909	0,562	1,909
Caulim	-	5,197	-	5,197
Cloreto K	-	0,572	-	0,572
Sal Comum	0,429	0,483	0,429	0,483
Premix Vitaminas*	0,050	0,100	0,100	0,100
Premix Mineral**	0,100	0,100	0,100	0,100
L-Lysine HCl	0,542	-	0,542	-
DL-Methionine	0,199	-	0,199	-
L-valina	0,046	-	0,046	-
L-treonina	0,231	-	0,231	-
L-triptofano 99%	0,078	-	0,078	-
Choline Cl -60%	0,007	0,231	0,007	0,231
Fitase 500FTU 0,01%	0,006	-	0,006	-
Total	100	100	100	100

Composição Química (%)	Suínos Individuais		Suínos Grupo	
	Dieta 115% Lis	Dieta 0% Lis	Dieta 115% Lis	Dieta 0% Lis
Matéria Seca	88,38	90,489	87,680	90,489
Energia Metabolizável (kcal/kg)	4503	4450	4448	4420
Proteína Bruta	19,47	0	21,42	0
Extrato Etéreo	4,969	4,970	4,969	4,970
Fibra Bruta	2,90	2,82	2,95	2,820
Cinzas	4,687	8,515	4,687	8,515
Lisina digestível	1,391	0	1,402	0
Treonina digestível	0,799	0	0,799	0
Triptofano digestível	0,246	0	0,246	0
Met.+cis digestível	0,725	0	0,726	0

*Inclusão/kg dieta: vit.A= 7.270 UI; Vit.D3= 1.599 UI; Vit. E= 43,6 UI; Vit. B1= 1,066 mg; Vit. B6= 2,133 mg; Vit. B12= 0,022 mg; Niacina= 31,5 mg; Ác. Pantotênico= 16 mg; Ác. Fólico= 0,339 mg; Biotina= 0,107 mg; Colina= 213,3 mg. **Inclusão /kg dieta: Zn= 92,1 mg, Cu= 10,18 mg; Fe= 67,9 mg; Mn= 33,9 mg; I= 0,838 mg; Se= 0,305 mg.

Tabela 2- Composição química das dietas experimentais após diluição para suínos individuais e em grupo

	65% Lis	75% Lis	85% Lis	95% Lis	105% Lis	115% Lis
Suínos Individuais						
MS %	88,39	88,14	88,03	88,27	88,19	88,38
EB (kcal/kg MS)	4278	4215	4300	4378	4427	4503
PB(%MS)	12,96	14,97	14,93	17,26	18,98	19,47
EE (%MS)	2,85	1,37	1,75	2,05	2,30	2,06
Cinzas (%MS)	6,72	6,04	5,50	5,56	5,58	5,22
FB (%MS)	2,60	2,70	2,40	2,80	2,60	2,90
Lis dig.(%MS)	0,79	0,91	1,03	1,15	1,27	1,39
	65% Lis	75% Lis	85% Lis	95% Lis	105% Lis	115% Lis
Suínos Grupo						
MS %	88,03	88,26	88,00	87,55	87,71	87,68
EB (kcal/kg MS)	4258	4259	4288	4301	4359	4448
PB(%MS)	13,66	14,21	16,41	17,73	19,85	21,42
EE (%MS)	1,87	1,70	1,58	1,70	1,27	2,09
Cinzas (%MS)	6,50	6,43	5,69	5,40	5,35	4,79
FB (%MS)	3,16	3,67	3,31	3,01	2,89	2,95
Lis dig.(%MS)	0,79	0,91	1,03	1,16	1,28	1,40

Tabela 3- Dados descritivos médios do metabolismo de nitrogênio para suínos em crescimento recebendo níveis crescentes de lisina digestível (g/d)

	Consumo lisina (g/d)		Consumo N (g/d)		Excreção N (g/d)	
	Suínos Indiv.	Suínos Grupo	Suínos Indiv.	Suínos Grupo	Suínos Indiv.	Suínos Grupo
Lis.65%	8,979	10,071	23,685	27,921	7,219	7,054
Lis.75%	11,009	11,862	28,989	29,726	8,548	8,867
Lis.85%	13,158	13,610	30,454	34,650	9,439	10,401
Lis.95%	14,974	15,158	35,945	37,116	8,708	10,603
Lis.105%	17,217	16,877	41,082	41,935	13,974	12,828
Lis.115%	19,226	18,645	43,070	45,587	17,902	11,903

Tabela 4- Parâmetros dos modelos de Richards* e Polinomial Quadrático** para suínos individuais e em grupo para a retenção diária de lisina conforme o consumo de lisina digestível

Parâmetro	a	b	c	d	R ²
Suínos Grupo	12,2636	48,4299	2,7618	65,0537	0,560
Total Suínos Indiv.	12,1117	1076,7982	69,3019	886,9310	0,730
Suíno1	9,9801	56,0561	3,8565	55,4853	0,908
Suíno2	12,4977	491,7412	31,1106	427,9371	0,922
Suíno3	13,2049	119,4956	7,1492	118,7124	0,808
Suíno4	9,1641	51,3731	3,7432	37,1341	0,754
Suíno5	13,6092	286,5284	17,2607	219,3636	0,961
Suíno6	11,6062	37,9095	2,6193	23,6523	0,939
suíno7	-12,0234	3,0006	-0,1041	x	0,547
Suíno8	13,0213	275,4325	19,9233	241,9666	0,902
Suíno9	13,5380	29,7034	1,7587	24,5321	0,910
suíno10	-22,8582	4,4646	-0,1420	x	0,596
Suíno11	9,6805	1024,3553	75,5291	929,8742	0,965
Suíno12	12,6159	65,2641	3,9875	77,1632	0,838
Suíno13	13,3877	22,5320	1,3996	17,7803	0,954
Suíno14	12,4910	528,1220	34,8993	437,9125	0,963
suíno15	-3,3133	1,5647	-0,0367	x	0,921
Suíno16	11,9830	584,2360	40,2502	465,0761	0,828
Suíno17	11,7837	622,6516	43,0503	517,0404	0,897
suíno18	-12,3338	2,9471	-0,0957	x	0,596

*Modelo de Richards: $y = a / (1 + \exp(b - c \cdot x))^{(1/d)}$; **Modelo polinomial quadrático (quando há um "x" no parâmetro d): $y = a + b \cdot x + c \cdot x^2$

Tabela 5- Requerimento de lisina (CRetLis_{max}) (g/d), Retenção máxima de Lisina (RetLis_{max}) (g/d) e eficiência da utilização da lisina para suínos em grupo, total dos suínos individuais e suínos individuais considerando o consumo de 100, 95 e 90% lisina digestível.

	cRetLis _{max} 100%			cRetLis _{max} 95%			cRetLis _{max} 90%		
	RetLis _{max}	Efic.		RetLis _{max}	Efic.		RetLis _{max}	Efic.	
Suínos Grupo	17,95	12,21	0,68	17,05	11,97	0,70	16,15	11,56	0,71
Total suínos Indiv.	15,62	12,11	0,77	14,83	11,46	0,77	14,05	10,78	0,76
Suíno 1	16,73	9,98	0,59	15,89	9,97	0,62	15,05	9,95	0,66
Suíno 2	16,95	12,49	0,73	16,10	12,49	0,77	15,25	12,00	0,78
Suíno 3	18,00	13,20	0,73	17,10	13,19	0,77	16,20	12,79	0,79
Suíno 4	16,30	9,16	0,56	15,48	9,16	0,59	14,67	9,15	0,62
Suíno 5	17,10	13,60	0,79	16,24	13,23	0,814	15,39	12,37	0,80
Suíno 6	18,50	11,60	0,62	17,57	11,60	0,66	16,65	11,60	0,69
Suíno 7	14,41	9,60	0,66	13,69	9,54	0,69	12,97	9,38	0,72
Suíno 8	15,30	13,02	0,85	14,53	13,02	0,89	13,77	12,94	0,94
Suíno 9	23,10	13,53	0,58	21,94	13,53	0,61	20,79	13,53	0,65
Suíno 10	15,72	12,23	0,77	14,93	12,14	0,81	14,15	11,88	0,84
Suíno 11	13,65	9,68	0,70	12,96	9,22	0,71	12,28	8,72	0,71
Suíno 12	18,80	12,61	0,67	17,86	12,61	0,70	16,92	12,59	0,74
Suíno 13	24,70	13,38	0,54	23,46	13,38	0,57	22,23	13,38	0,60
Suíno 14	15,40	12,49	0,81	14,63	12,00	0,82	13,86	11,28	0,81
Suíno 15	21,31	13,36	0,62	20,24	13,32	0,65	19,18	13,19	0,68
Suíno 16	14,70	11,98	0,81	13,96	11,42	0,81	13,23	10,72	0,81
Suíno 17	14,70	11,78	0,80	13,96	11,30	0,80	13,23	10,63	0,80
Suíno 18	15,40	10,35	0,67	14,63	10,30	0,70	13,86	10,13	0,73

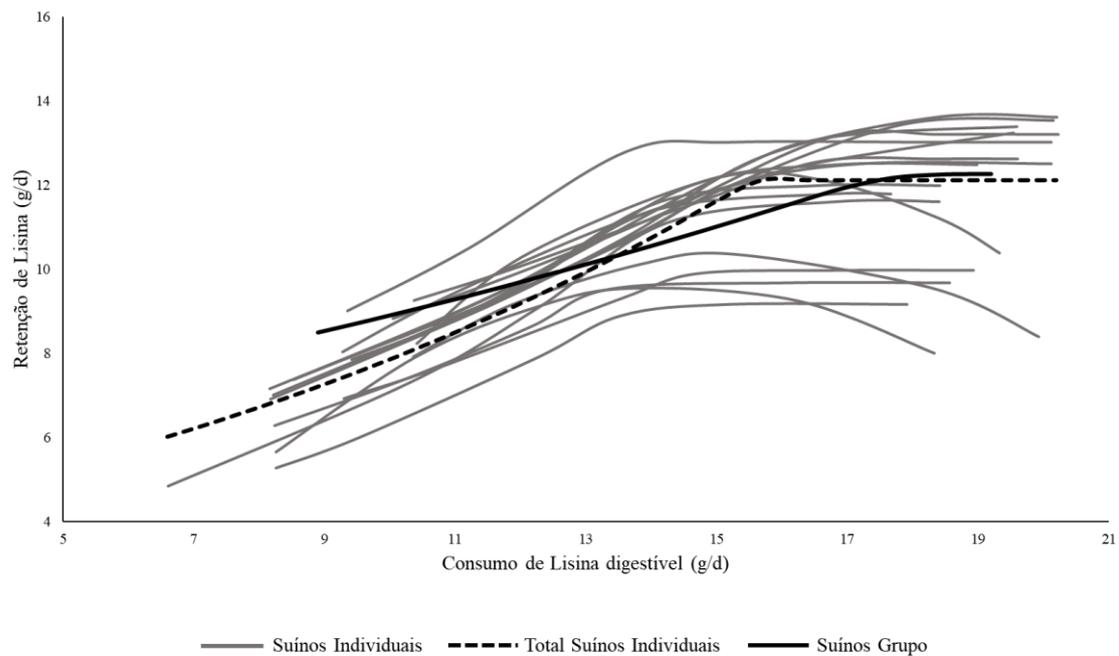


Figura 1- Retenção de lisina em função do consumo de lisina digestível em suínos individuais, suínos em grupo e total dos suínos individuais.

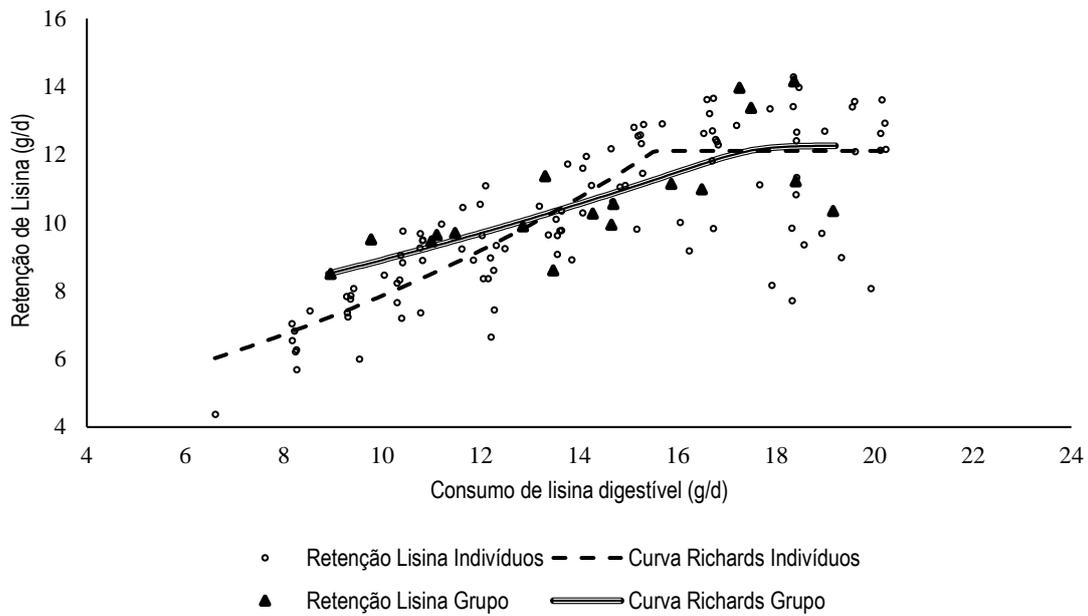


Figura 2- Resposta da retenção de lisina em relação ao consumo de lisina digestível. Respostas dos suínos Individuais, suínos em grupo e total dos suínos individuais. A figura mostra a observação pontual dos suínos nos dois experimentos e a resposta simulada da retenção de lisina em função do consumo. Equação de Richards para total dos suínos individuais: $y = 12,111 / (1 + \text{EXP}(1076,798 - 69,301 * x))^{(1/886,931)}$ $\text{RetLis}_{\text{max}} = 12,11 \text{ g/d}$; $R^2 = 0,73$. Equação de Richards para suínos em grupo: $y = 12,263 / (1 + \text{EXP}(48,429 - 2,761 * x))^{(1/65,053)}$ $\text{RetLis}_{\text{max}} = 12,263$; $R^2 = 0,56$.

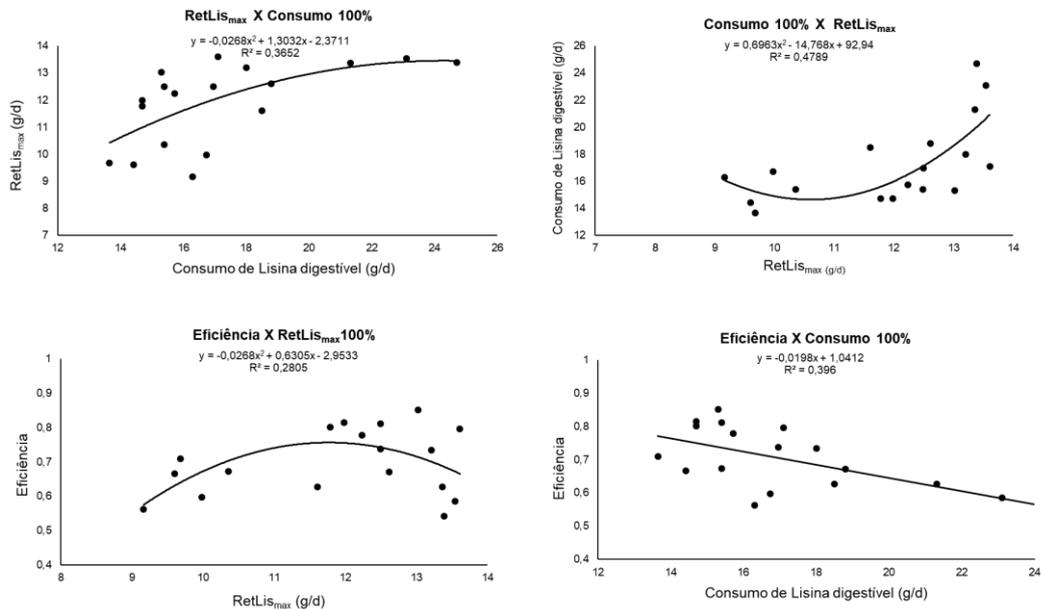


Figura 3- Relações de cLIS_{max} e $\text{RetLis}_{\text{max}}$ em 100% do cLIS_{max} . (a); $\text{RetLis}_{\text{max}}$ e cLIS_{max} (b); Eficiência e $\text{RetLis}_{\text{max}}$ (c); Eficiência e Consumo de lisina digestível (d) dos suínos individuais. Equação de regressão de $\text{RetLis}_{\text{max}}$ sobre cLIS_{max} ($Y = -2,3711 + 1,3032 * \text{cLIS}_{\text{max}} - 0,0268 * \text{cLIS}_{\text{max}}^2$, $P < 0,001$). Equação de regressão de cLIS_{max} sobre $\text{RetLis}_{\text{max}}$ ($Y = 92,94 - 14,768 * \text{RetLis}_{\text{max}} + 0,69630,0268 * \text{RetLis}_{\text{max}}^2$, $P < 0,001$). A resposta curvilínea indica que a eficiência da $\text{RetLis}_{\text{max}}$ não é constante com diferentes CLIS_{max} e $\text{RetLis}_{\text{max}}$. Equação de regressão de eficiência da $\text{RetLis}_{\text{max}}$ sobre cLIS_{max} : $Y = -2,95362 + 0,630557 * \text{RetLis}_{\text{max}} 100 - 0,0267931 * \text{RetLis}_{\text{max}}^2$. Sendo que a partir da equação, a melhor eficiência foi de 0,75 com $\text{RetLis}_{\text{max}}$ de 11,76 g/d; A menor $\text{RetLis}_{\text{max}}$ foi de 9,16 g/d com eficiência de 0,57 e a maior $\text{RetLis}_{\text{max}}$ foi de 13,60 g/d com eficiência de 0,66.

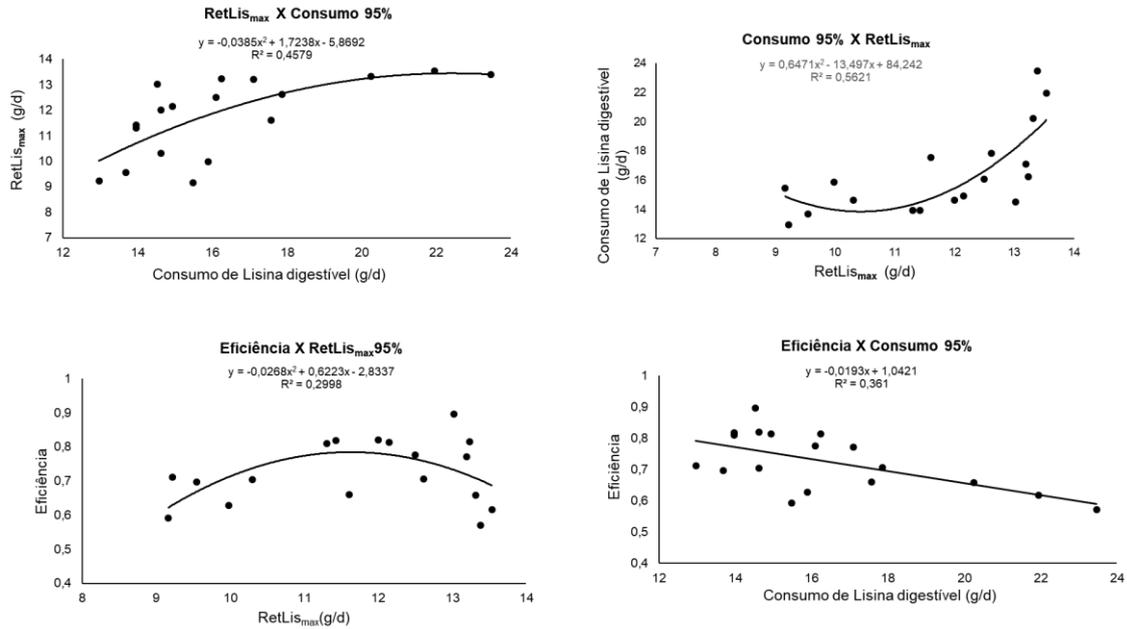


Figura 4- Relações de cLIS_{max} e RetLIS_{max} em 95% do cLIS_{max}. (a); RetLIS_{max} e cRetLIS_{max} (b); Eficiência e RetLIS_{max} (c); Eficiência e Consumo de lisina digestível (d) dos suínos individuais. Equação de regressão de RetLIS_{max} sobre cLIS_{max} ($Y = -5,8692 + 1,7238 * cLIS_{max} - 0,0385 * cLIS_{max}^2$, $P < 0,001$). Equação de regressão de cLIS_{max} sobre RetLIS_{max} ($Y = 84,242 - 13,497 * cLIS_{max} + 0,6471 * cLIS_{max}^2$, $P < 0,001$). A resposta curvilínea indica que a eficiência da RetLIS_{max} não é constante com diferentes CLIS_{max} e RetLIS_{max}. Equação de regressão de eficiência da RetLIS_{max} sobre cLIS_{max}: ($Y = -2,8337 + 0,6223 * RetLIS_{max} - 0,0268 * RetLIS_{max}^2$). Sendo que a partir da equação, a melhor eficiência foi de 0,78 com RetLIS_{max} de 11,62 g/d; A menor RetLIS_{max} foi de 9,16 g/d com eficiência de 0,62e a maior RetLIS_{max} foi de 13,53 g/d com eficiência de 0,68.

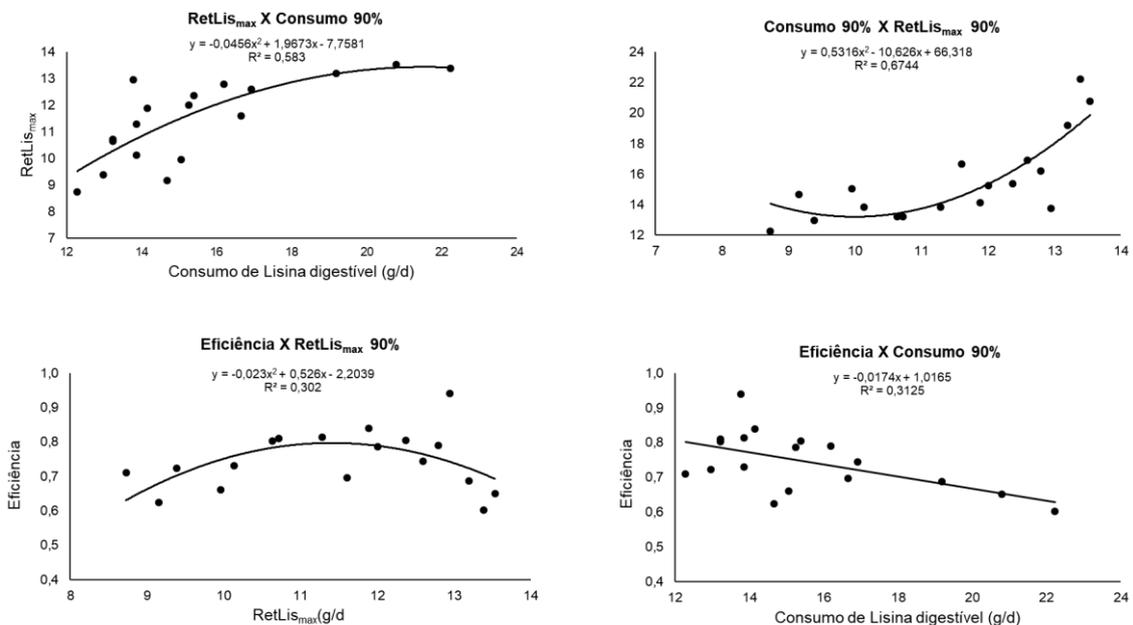


Figura 5- Relações de cLIS_{max} e RetLIS_{max} em 90% do cLIS_{max}(a); RetLIS_{max} e cLIS_{max} (b); Eficiência e RetLIS_{max} (c); Eficiência e Consumo de lisina digestível (d) dos suínos individuais. Equação de regressão de RetLIS_{max} sobre cLIS_{max}: ($Y = -7,7581 + 1,9673 * cLIS_{max} - 0,0456 * cLIS_{max}^2$, $P < 0,001$). Equação de regressão de cLIS_{max} sobre RetLIS_{max} ($Y = 66,318 - 10,626 * cLIS_{max} + 0,5316 * cLIS_{max}^2$, $P < 0,001$). A resposta curvilínea indica que a eficiência da RetLIS_{max} não é constante com diferentes CLIS_{max} e RetLIS_{max}. Equação de regressão de eficiência da RetLIS_{max} sobre cLIS_{max}: ($Y = -2,2039 + 0,526 * RetLIS_{max} - 0,023 * RetLIS_{max}^2$). Sendo que a partir da equação, a melhor eficiência foi de 0,79 com RetLIS_{max} de 11,41 g/d; A menor RetLIS_{max} foi de 8,72 g/d com eficiência de 0,63 e a maior RetLIS_{max} foi de 13,53 g/d com eficiência de 0,69.

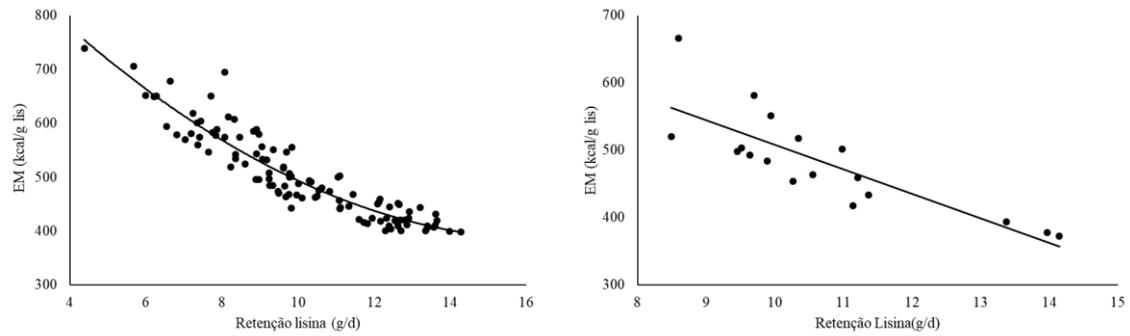


Figura 6- Relação de consumo de EM por grama de lisina retida (kcal/g) total dos suínos individuais (a) e para suínos em grupo (b). Equação consumo de EM/Retenção de lisina total dos suínos individuais: $cEM(kcal/d) = 2040,83 + 381,289*Ret.Lisina - 9,26391*Ret.Lisina^2$; $R^2=0,75$. Equação consumo de EM/Retenção de lisina total dos suínos em grupo: $y = -36,444x + 872,63$; $R^2=0,67$.

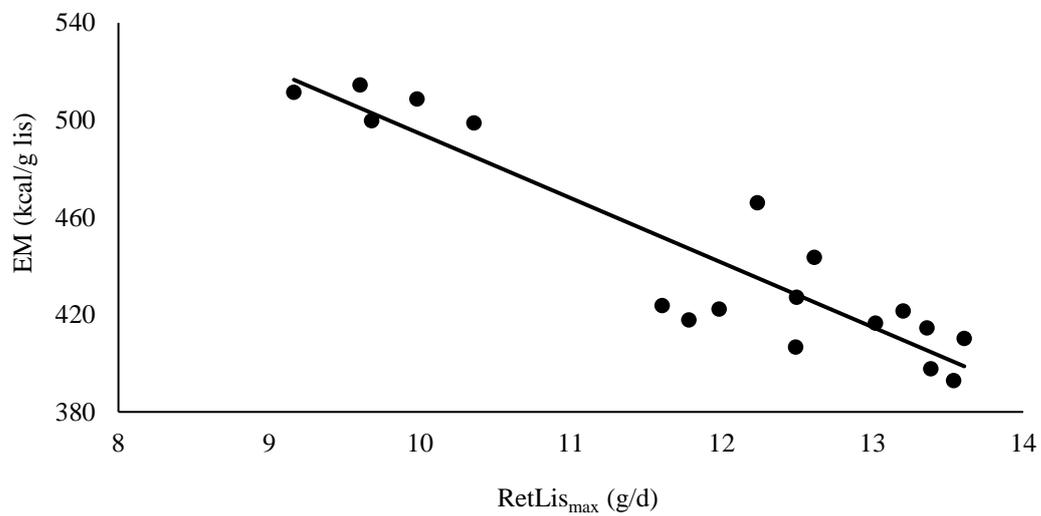


Figura 7- Gasto energético dos suínos individuais para retenção de lisina (kcal/g lis). Equação consumo EM/RetençãoLis_{max}: $y = -26,506x + 759,49$; $R^2=0,84$. A resposta apresenta comportamento linear decrescente, onde à medida que há aumento na retenção de lisina (g/d) a quantidade necessária de EM para 1 g retenção vai reduzindo que indica que suínos com menor capacidade de retenção proteica necessitam maiores quantidades de EM para deposição.

CAPÍTULO III¹

¹ Este capítulo é apresentado conforme as normas da Revista Brasileira de Zootecnia

Resposta da retenção de nitrogênio em suínos ao aumento gradual de energia metabolizável consumida¹

Ribas M. F. R.*, Kessler A. M.*¹

*Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 91540-000.

² Endereço email: akessler@ufrgs.br

Resumo

O presente trabalho tem o objetivo de estudar os aspectos do metabolismo energético e proteico associado ao crescimento de suínos recebendo níveis crescentes de energia na dieta (Mcal/d), mediante o fornecimento adequado e constante de proteína e dos demais nutrientes. Foi avaliado o comportamento da retenção de nitrogênio (N) em função do aumento do consumo de energia metabolizável (EM), desde 53 até 168% das recomendações do NRC (2012), em suínos em crescimento. Foram utilizados 16 suínos (66,1 + 3,4 kg), avaliados individualmente. Os suínos receberam seis valores crescentes de EM (Mcal/d) em intervalos de dois dias para cada nível. Foi realizada análise de regressão (linear e não-linear) dos dados diários das respostas de cada suíno e dos dados agrupados dos 16 animais, sempre usando o consumo de EM (g/d) como variável independente. Os modelos foram testados utilizando o programa CurveExpert 2.6.5 (HYAMS, 2018) e as respostas foram avaliadas pelo programa Statgraphics (2010), para determinar o grau de significância do polinômio. A excreção urinária de N (g/d) diminuiu com o aumento dos níveis energéticos da dieta. Consequentemente, a retenção de N (g/d) aumentou em torno de 80% ($p < 0,01$) com o aumento do consumo diário de energia. A eficiência de retenção de N também foi melhor ($p < 0,01$) à medida que os suínos aumentavam o consumo de EM. Os suínos apresentaram diferenças nas curvas de retenção de N e considerando a média dos suínos individuais o modelo cúbico apresentou melhor ajuste. Os suínos consumiram mais energia do que o necessário nos níveis mais altos de EM ofertados, pois foram submetidos a níveis restritos de consumo de EM no início do experimento e alcançaram taxas de deposição altas. Os resultados deste ensaio mostram que os suínos apresentaram resposta crescente na deposição de N (g/d) com o aumento do consumo de EM (Mcal/d). A eficiência energética dos suínos também melhorou com o aumento da ingestão de EM (Mcal/d). Observa-se variação na resposta de retenção de N entre os suínos mesmo estes sendo de mesma origem e categoria. Isso reflete a importância de considerar as variações individuais na alimentação dos suínos o que pode trazer benefícios econômicos e ambientais para a produção.

Palavras-chave: Consumo energético, eficiência energética, variabilidade animal

Introdução

O consumo de alimentos para suínos em crescimento é ajustado na tentativa de atender às necessidades energéticas que, por sua vez, são determinadas pelo potencial de crescimento do suíno, representado basicamente pelas deposições diárias de proteína e gordura corporal associadas ao custo energético desta deposição (Bikker et al., 1995). O amido dos cereais, na maioria das vezes, contribui com a maior parte da energia da dieta, mas proteína, lipídio e fibra também contribuem energeticamente na dieta. No entanto, uma vez que a proteína é mais cara (por unidade de energia) que o amido, seu uso como fonte energética é dispendioso, já que o principal objetivo da criação intensiva de suínos é converter maior quantidade de proteína ingerida em proteína depositada.

A utilização da energia diária consumida varia de acordo com a composição do tecido corporal que está sendo formado, e de acordo com a proporção de energia metabolizável (EM) usada para crescimento em relação à manutenção (Fuller, 1996). Se os suínos são alimentados com quantidades insuficientes de energia, a eficiência da conversão alimentar é reduzida, pois uma maior parte da energia alimentar é utilizada para manutenção (Just, 1984). Se o ajuste de consumo energético não for suficiente para manter a taxa máxima de deposição de tecido magro, este será menor que o potencial. Nesse caso haverá aumento na energia disponível para lipogênese e, conseqüentemente, maior deposição de gordura. Baixo consumo energético além de comprometer a deposição proteica, provoca aumento na catabolização de aminoácidos (que não foram incorporados ao tecido animal por falta de energia), acarretando maior excreção de N, um dos principais pontos negativos da produção de suínos.

A eficiência de utilização dos nutrientes da dieta varia em função de diferentes fatores, como potencial genético para deposição de proteínas e capacidade de ingestão diária do suíno, por exemplo. A eficiência de utilização de nutrientes depende também do correto fornecimento de nutrientes nas proporções adequadas juntamente com uma quantidade apropriada de energia para que promova uma completa utilização para o crescimento e deposição proteica, mas sem excesso de energia para evitar a deposição de gordura em excesso. A eficiência é um parâmetro que nos indica como os recursos utilizados pelos suínos estão sendo convertidos em resultados. Essa resposta não é constante à medida que se aumenta a ingestão de nutrientes, o que indica retornos decrescentes próximo a resposta máxima dos suínos. Rendimentos decrescentes em

resposta ao aumento na ingestão de nutrientes têm evidente impacto econômico, uma vez que há decréscimo no ganho para cada incremento no consumo, e este incremento passa a ser zero a partir do ponto de resposta máximo (Gahl et al., 1994). O presente trabalho tem como objetivo estudar aspectos do metabolismo energético e proteico associado ao crescimento de suínos recebendo níveis crescentes de energia na dieta, mediante ao fornecimento adequado e constante de proteína e dos demais nutrientes.

Material e métodos

Os procedimentos experimentais descritos foram avaliados e aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com número de aprovação 33880.

Foi realizado um ensaio de metabolizabilidade aparente do nitrogênio e da energia da dieta para avaliar a resposta dos animais individuais ao consumo de níveis crescentes de EM (Mcal/d) diário na dieta e o comportamento da retenção proteica (g/d) em função do consumo de energia. O ensaio foi realizado em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil no Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

Design experimental

Foram utilizados 16 suínos machos castrados (Landrace x Large White) com peso médio no início do experimento de $66,1 \pm 3,4$ kg. Os suínos foram alojados individualmente em gaiolas de metabolismo equipadas com bebedouros automáticos e comedouros manuais. Os suínos foram avaliados individualmente e receberam seis valores crescentes de EM (mistura energética adicionada a dieta basal) em intervalo de dois dias para cada nível. O ensaio teve duração de 17 dias, onde os animais foram submetidos a 5 dias de adaptação a gaiola, ao alimento e ao ambiente e 12 para o período de coletas de fezes e urina.

Dietas e alimentação

Os suínos foram alimentados com uma dieta basal (Tabela 1) conforme as recomendações do NRC (2012), com exceção do nível energético que foi calculado para atender à 53% das exigências de energia metabolizável para suínos em crescimento na faixa de 50 a 80 kg de peso corporal. Assim sendo, todos os animais receberam 1,3 kg/d da dieta basal, suficientes para atender às exigências de todos os nutrientes, exceto o

consumo de EM (kcal/d) que aumentou conforme o período experimental (Tabela 2). A partir do terceiro dia experimental foi adicionado à dieta basal uma mistura de amido e óleo (88% e 12% respectivamente) para aumentar o nível energético da ração sendo que as quantidades foram elevadas a cada dois dias. A quantidade de EM diária consumida (Mcal/d) e a porcentagem do consumo em relação as recomendações do NRC (2012) estão apresentadas na Tabela 2. Os suínos foram alimentados duas vezes ao dia (às 8:00 e às 17:00h). A água foi fornecida ad libitum. Nos três últimos dias do período de adaptação os animais receberam 1,3 kg de dieta basal.

Ensaio de Metabolizabilidade

As coletas de urina iniciaram 24 horas após o fornecimento da primeira refeição marcada, continuando ininterruptamente por todo o experimento, com intervalo de coletas de 24 horas, sendo sua produção registrada diariamente. Após homogeneização, coletava-se 10% de amostra do volume total de urina que foram e congeladas (-15°C) para análises posteriores. Diariamente, foram colocados 20 ml de uma solução de ácido sulfúrico 50% no balde da coleta diária de urina. Este procedimento visou manter o pH ácido e evitar a volatilização de amônia.

As fezes foram coletadas no período da manhã e foram armazenadas e congeladas (-15°C) para posterior análise. Para saber o início da coleta de fezes para cada nível de EM consumido (kcal/d), foi adicionado óxido de ferro (0,5% de Fe₃O₂) como marcador fecal na primeira refeição diária dos suínos no início de cada nível de EM avaliado. No primeiro dia pós-experimental também foi adicionado óxido de ferro (0,5% de Fe₃O₂) na primeira refeição dos suínos para identificar o final do período de coletas.

O peso corporal dos suínos foi registrado no primeiro dia do início das coletas, no sexto dia e ao final do período experimental.

Análises químicas

As análises químicas das dietas, fezes e urina foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da UFRGS. Foram realizadas as análises de: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), energia e cinzas da dieta basal; MS, N e energia das fezes e N total da urina. A metodologia das análises seguiu as normas do AOAC (1990). O conteúdo de energia da urina foi determinado como sendo 9,17 kcal/g de N (Morgan; Cole; Lewis, 1975).

Cálculos e análises estatísticas

Baseado na metabolizabilidade aparente do nitrogênio foi calculado a excreção de N (g/d), assim a retenção de N (g/d) foi calculada pelo consumo de N (g/d) menos a excreção de N (g/d)). A eficiência de retenção do N digestível (%) foi obtida a partir da cálculo da relação de N retido (g/d) dividido pelo N digestível (g/d) $(N \text{ consumido} - N \text{ fecal}) * 100$). O consumo de EM (Mcal/d) foi calculado a partir do consumo diário (g/d) (fornecido - sobras) multiplicado pela EM aparente da dieta medida em cada período para cada suíno. O gasto energético da retenção de N (g/d) também foi calculado: EM consumida (Mcal/d) dividido pelo N retido estimado (g/d).

Foi realizada análise de regressão (linear e não-linear) dos dados diários das respostas de cada suíno e dos dados agrupados dos 16 animais, sempre usando o consumo de EM (g/d) como variável independente. Os modelos foram testados utilizando o programa CurveExpert 2.6.5 (Hyams, 2018), para definir o modelo de melhor ajuste (R^2). O melhor ajuste foi sistematicamente do modelo linear, conseqüentemente as respostas foram avaliadas no módulo "Polynomial Regression" do programa Statgraphics 3.1 (Statistical Graphic Corp., Rockville, MD, USA), para determinar o grau de significância do polinômio (linear, quadrático, cúbico).

Resultados

Durante o período experimental os suínos permaneceram saudáveis, consumiram ração e ganharam peso de acordo com o desempenho esperado para esta categoria

Os parâmetros dos modelos para cada suíno estão apresentados na Tabela 3. A excreção urinária de N (g/d) diminuiu com o aumento dos níveis energéticos da dieta. Conseqüentemente, a retenção de N (g/d) aumentou significativamente ($p < 0,01$) com o aumento do consumo diário de energia (Figura 2). No início do experimento observa-se valores negativos de retenção para parte (38%) dos animais (Figura 1), pois vinham recebendo energia abaixo da sua exigência. Com o aumento do consumo de energia a retenção também cresce chegando a valores altos de deposição nos consumos maiores (alguns animais com DP maior de 200 g/d), pois para altos valores de deposição proteica foi preciso alto consumo de EM. Houve aumento cúbico da eficiência de retenção de N ($p < 0,01$) com o aumento da concentração energética da dieta (Figura 3), sendo que a taxa de incremento na eficiência diminui quando o consumo de EM atinge valores próximos a

13 Mcal/d a eficiência demonstra redução. Os suínos apresentaram diferenças nas curvas de retenção de N (Tabela 3), sendo 9 ajustados pelo modelo cúbico (56%), 4 pelo quadrático (25%) e 3 pelo linear (19%). Isto contribuiu para o bom ajuste do grupo pelo modelo cúbico. Apesar da redução (quadrática ou cúbica) da taxa de incremento de retenção de N, apenas 6 dos 16 suínos atingiram a retenção máxima de N dentro da faixa de consumo estudada (figura 1), e o modelo cúbico para todos os animais (figuras 1 e 2) mostra que no maior nível de consumo a retenção máxima ainda não foi atingida, mesmo com este consumo sendo muito superior à exigência do NRC (2012).

A figura 4 traz a resposta do gasto de EM consumida (Mcal) por grama de N retido e apresenta uma curva bem peculiar, onde mostra que nos níveis mais baixos de consumo de EM (entre 3,8 e 6,0 Mcal/d) os animais necessitaram elevada EM para conseguir reter 1 g de N (entre 0,8 e 1,2 Mcal/g), pois a retenção proteica estava próxima de zero. Nos consumos mais altos de EM (a partir de 10 Mcal/d) a quantidade de EM por grama de N retido foi menor do que as reportadas pelo NRC (2012), sendo em torno de 0,4 Mcal/g.

A relação de N retido e a quantidade de EM consumida (Mcal/d) está apresentada na Figura 5. Há um aumento moderado desta relação com o aumento no consumo de EM e podemos observar que nos consumos mais baixos a quantidade de energia necessária para a retenção de 1 g de N varia bastante entre os animais e à medida que há aumento progressivo no consumo a resposta torna-se mais homogênea. Como foi abordado anteriormente, em consumos baixos de EM há necessidade de mais EM consumida para retenção de N.

Discussão

A retenção de N foi o parâmetro utilizado para estudar a resposta do crescimento proteico nos suínos em função do aumento do consumo de energia a partir da inclusão de amido e óleo nas dietas experimentais.

Os dados gerados permitem visualizar a resposta dos suínos desde níveis muito baixos até níveis altos de consumo de EM (Mcal/d). A deposição proteica e a eficiência deste processo não são determinadas somente pela composição de aminoácidos na dieta, mas também por outros fatores como qualidade e quantidade de proteína, assim como pela quantidade de lipídios e carboidratos fornecidos (Fuller; Crofts, 1977; Reeds et al., 1987). Tanto lipídios, como carboidratos presentes na dieta atuam como estimulantes

para a deposição proteica, fenômeno este que é classificado como “efeito poupador da proteína”, que, em última análise é a ingestão de calorias na forma não-proteica e na quantidade necessária para otimizar a deposição corporal de proteína. A partir de maior ingestão energética há aumento na captação de glicose pelo músculo e, aumento nos níveis de ácidos graxos circulantes, sobrando energia e restando mais proteína para os processos de síntese e deposição como descrito por Fuller e Crofts (1977). Aumento das concentrações de insulina circulante com a inclusão de carboidratos na dieta é um dos fatores metabólicos responsáveis pelo efeito poupador da proteína, pois a insulina possui efeito anabolizante no organismo estimulando a captação de aminoácidos e a síntese geral de proteína.

No presente experimento, houve alta taxa de degradação de proteína no baixo consumo de energia, nestas condições tanto a energia metabolizável (pela maior perda de energia na urina), quanto a energia líquida (pelo maior incremento calórico devido a degradação proteica) sofrem redução, sendo as causas mais determinantes dos valores altamente variáveis e eventualmente negativos na retenção de N. O aumento na ingestão energética, pela adição de amido e óleo, diminui esta variação nos resultados e acabam aumentando os valores de EM, EL e, conseqüentemente, maximiza a deposição de N.

Os suínos consumiram mais energia do que o necessário nos níveis mais altos de EM ofertados, pois foram submetidos a níveis restritos de consumo de EM no início do experimento e alcançaram taxas de deposição altas, alguns animais tiveram deposição proteica maior que 200 g/d nos valores mais altos de consumo de EM. Esses valores são mais altos do que os reportados pelo NRC (2012) para deposição proteica. Esse comportamento sugere que os suínos tiveram um período de ganho compensatório para atingir altas taxas de deposição, porém com baixa eficiência energética. Diferentes autores reportaram o efeito do crescimento compensatório após restrição alimentar ou de algum nutriente específico (Martínez-Ramírez; De Lange, 2007; Schiavon et al., 2018; Lovatto et al., 2006; Skiba, 2005; Whang et al., 2003), mas os resultados são conflitantes. A extensão e a taxa de ganho compensatório variam com o tipo, grau, época e duração da restrição de ingestão de energia e nutrientes, bem como o genótipo do suíno e a disponibilidade de energia e nutrientes após o período de restrição alimentar (Martínez-Ramírez; De Lange, 2007). Alguns autores (Bikker, 1996; Whang, 2003; Lovatto, 2006) mostram que o ganho compensatório pode estar associado ao ganho de água nos órgãos digestivos, o que não é

considerado em ensaios de metabolismo. No entanto, o presente estudo não pôde fornecer evidências diretas de atividade metabólica reduzida.

O baixo consumo energético da dieta basal (Mcal/d), em três dias da adaptação pré-experimental e nos dois primeiros dias do período experimental, numa situação em que o consumo de 1,3 kg/d representou uma dieta ao mesmo tempo hiper proteica e energeticamente deficiente, levou os suínos a um baixo e variado nível de crescimento proteico, que persistiu até o dia 4 do experimento (quando o consumo de EM atingiu 76% da recomendação). Após este período, a oferta crescente de EM pela oferta de amido+óleo aumentou a relação energia:proteína, permitindo o aumento acelerado da retenção proteica (representado pela primeira metade da curva cúbica). A deposição de proteína (g/d) persistiu em crescimento até o nível mais alto de ingestão de EM(Mcal/d).

Conclusão

Os resultados deste ensaio mostram que os suínos apresentaram resposta crescente na deposição de N (g/d) com o aumento do consumo de EM (Mcal/d). A eficiência energética dos suínos também melhorou com o aumento da ingestão de EM (Mcal/d), sendo que em consumos mais altos de EM (10-12 Mcal/d) os suínos foram mais eficientes, indicando que precisaram de menos energia (Mcal/d) para reter 1 g de N. Observa-se variação na resposta de retenção de N entre os suínos mesmo estes sendo de mesma origem e categoria. Isso reflete a importância de considerar as variações individuais na alimentação dos suínos o que pode trazer benefícios econômicos e ambientais para a produção.

Referências

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 15. ed. Maryland: Maryland: AOAC International 1990, 1990.
- BIKKER, P. Protein and lipid accretion in body components of growing gilts (20 to 45 kilograms) as affected by energy intake. *Journal of Animal Science*, Champaign, v. 73, n. 8, p. 2355-2363, 1995.
- FULLER, M. Macronutrient requirements of growing swine. In: *Simpósio Internacional Sobre Exigências Nutricionais de Aves e Suínos*, Viçosa, p. 205-221. Anais... Viçosa, MG: UFV, 1996.
- FULLER, M. F.; CROFTS, R. M. J. The protein-sparing effect of carbohydrate. *British Journal of Nutrition*, Cambridge, v. 38, n. 3, p. 489-496, 1977.
- GAHL, M. J.; CRENSHAW, T. D.; BENEVENGA, N. J. Diminishing returns in weight, nitrogen, and lysine gain of pigs fed six levels of lysine from three supplemental sources. *Journal of animal science*, Champaign, v. 72, n. 12, p. 3177-3187, 1994.
- HYAMS, D. G. CurveExpert Basic Documentation. V 2.1.0, 2018.
- JUST, Arnold. Nutritional Manipulation and interpretation of body compositional differences in growing swine. *Journal of Animal Science*, Champaign, v. 58, n. 3, p. 740-752, 1984.
- LOVATTO, P. A. et. al. Effects of feed restriction and subsequent refeeding on energy utilization in growing pigs. *Journal of Animal Science*, Champaign, p. 3329-3336, 2006.
- MARTÍNEZ-RAMÍRES, H. R.; DE LANGE, C. F. M. Compensatory grow in pigs. In: (P. C. Garnsworthy, J. Wiseman, Eds.), *RECENT ADVANCES IN ANIMAL NUTRITION*, 2007, Nottingham. Anais... Nottingham: Nottingham University Press, 2007.
- MORGAN, D. J.; COLE, D. J. A.; LEWIS, D. Energy values in pig nutrition:I. The relationship between digestible energy, metabolizable energy and total digestible nutrient values of a range of feedstuffs. *The Journal of Agricultural Science*, Ontario., v. 84, n. 1, p. 7-17, 1975.
- NRC, N. R. C. Nutrient Requirements of Swine. 11th rev. ed. Washington: The National Academies Press, 2012.
- REEDS, P. J. et al. Urea synthesis and leucine turnover in growing pigs: changes during 2 d following the addition of carbohydrate or fat to the diet. *British Journal of Nutrition*, Cambridge, v. 58, n. 2, p. 301-311, 1987.
- SCHIAVON, S. et al. Effects of feed allowance and indispensable amino acid reduction on feed intake, growth performance and carcass characteristics of growing pigs. *PLoS ONE*, v. 13, n. 4, p. 1-18, 2018.
- SKIBA, G. Physiological aspects of compensatory growth in pigs. *Journal of animal and Feed Sciences*, v. 14, n. Suppl. 1, p. 191-203, 2005.
- STATGRAPHICS, STATPOINT TECHNOLOGIES INC., 2010.

WHANG, K. Y. et al. Effects of protein deprivation on subsequent growth performance, gain of body components, and protein requirements in growing pigs. *Journal of Animal Science*, Cham

Tabela 1- Ingredientes e composição bromatológica da dieta basal para suínos em crescimento

Ingredientes	Dieta basal (%)
Milho	18,00
Farelo de soja (44%)	55,60
Glúten de milho	10,00
Farinha de trigo	7,00
Óleo vegetal	4,00
Fosfato bicálcico	2,30
Calcáreo calcítico	1,80
Sal comum	0,74
L-lisina	0,20
L-treonina	0,05
Premix vitamínico*	0,10
Premix mineral**	0,21
Total	100
Nutrientes	Dieta basal
Matéria Seca (%)	89,80
Proteína Bruta (%)	33,00
Energia Met.(kcal/kg)	3.265,00
Cálcio (%)	1,38
Fósforo disp. (%)	0,60
Lisina (%)	1,82
Arginina (%)	2,22
Met + Cis (%)	1,13
Triptofano (%)	0,39
Treonina (%)	1,28
Colina (mg/kg)	1.824,00

*Adição/kg de ração: vit. A= 10.500,00 UI; vit. D3= 2.100,00 UI; vit. E= 21,00 mg; vit. K3= 2,100 mg; vit. B2= 6,200mg; vit. B12= 0,031 mg; ácido pantotênico= 16,8 mg; niacina= 31,5 mg; biotina= 0,105 mg.

**adição/kg de ração: ferro= 126,00 mg; zinco= 210,00 mg; manganês= 84,00 mg; cobre= 21,00 mg; iodo= 0,31 mg; selênio= 0,42 mg.

Tabela 2- Quantidades diárias consumidas e % de energia metabolizável correspondente ao valor sugerido pelo NRC (2012)

Dias	Consumo			
	Ração Basal (kg)/d	Amido+Óleo* (g)	EM consumida (kcal/d)	% do NRC
1-2	1,3	0	4.245	53
3-4	1,3	424	6.068	76
5-6	1,3	848	7.909	99
7-8	1,3	1272	9.750	122
9-10	1,3	1697	11.591	145
11-12	1,3	2121	13.433	168

*EM calculada para o amido e amido+óleo foi 3.861,6 e 4.931,3 (kcal/kg), respectivamente.

Tabela 3- Parâmetros do modelo polinomial significativo de N retido (g/d) em função do consumo de EM (Mcal/d) para suínos individuais e geral dos suínos individuais

Parâmetro	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²
Geral Indivíduos	28,801	-11,776	1,6651	-0,0572	0,72
Suíno 1	48,269	-17,326	2,1267	-0,0703	0,95
Suíno 2	0,484	1,1934	0,2748	-	0,91
Suíno 3	53,992	-23,330	3,4323	-0,1337	0,86
Suíno 4	37,211	-18,350	2,4919	-0,0839	0,90
Suíno 5	19,499	-4,7396	0,4187	-	0,80
Suíno 6	20,749	-9,1952	1,3896	-0,0493	0,82
Suíno 7	65,846	-29,635	4,1462	-0,1605	0,71
Suíno 8	74,870	-34,345	4,6148	-0,1707	0,92
Suíno 9	50,470	-18,247	2,4124	-0,0858	0,82
Suíno 10	-16,7830	3,8816	-	-	0,83
Suíno 11	-15,6790	3,5538	-	-	0,82
Suíno 12	40,231	-15,196	2,1154	-0,0786	0,66
Suíno 13	62,417	-26,189	3,5515	-0,1306	0,84
Suíno 14	24,765	-3,3893	0,3288	-	0,76
Suíno 15	7,001	-2,1613	-0,3267	-	0,93
Suíno 16	-15,006	2,8511	-	-	0,83

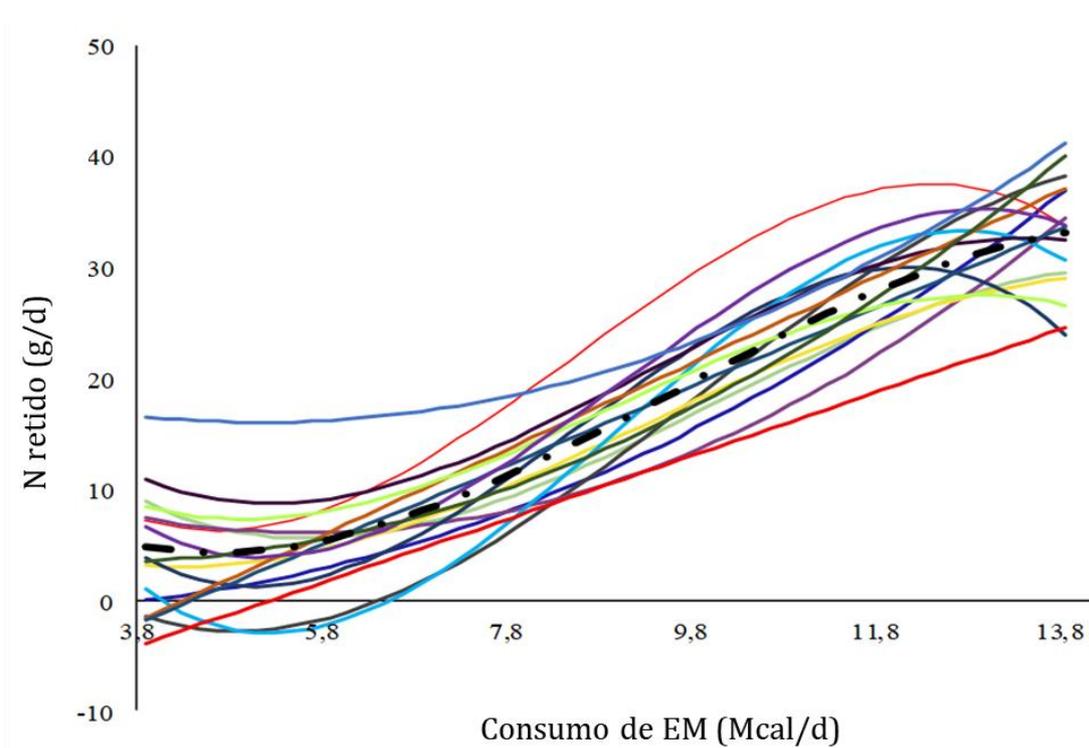


Figura 1- Resposta dos suínos individuais e geral dos suínos individuais para retenção de N (g/d) em relação ao aumento do consumo de EM (Mcal/d).

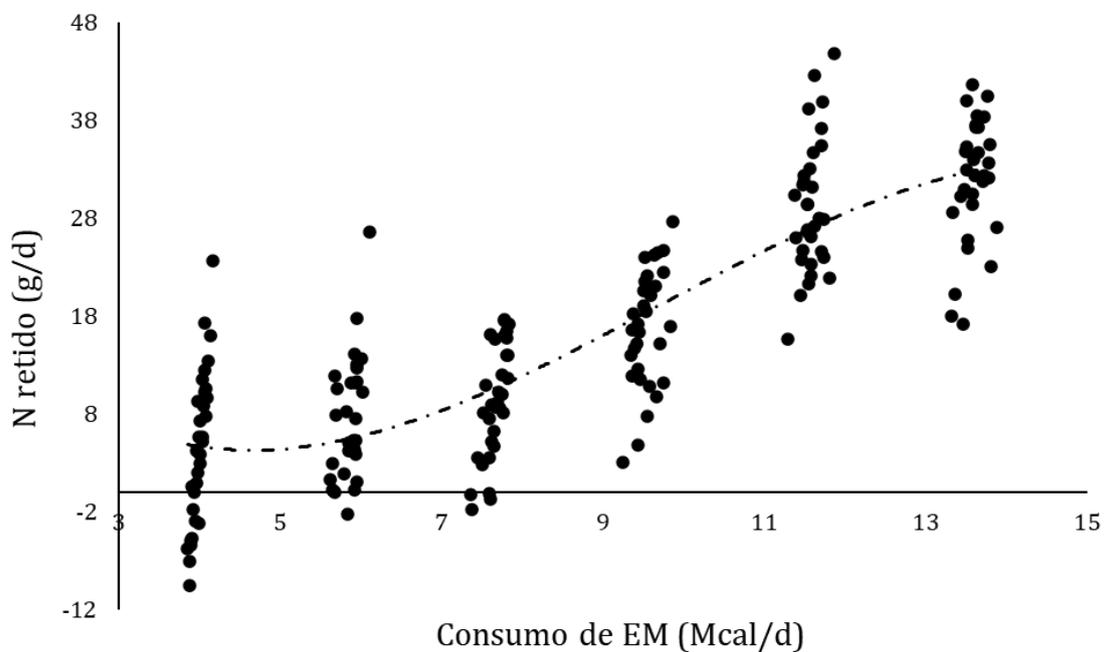


Figura 2- Relação do N retido (g/d) em função do consumo de EM (Mcal/d). Equação: $y=28,801 - 11,776x + 1,6651x^2 - 0,0572x^3$, $P<0,0001$; $R^2=0,72$.

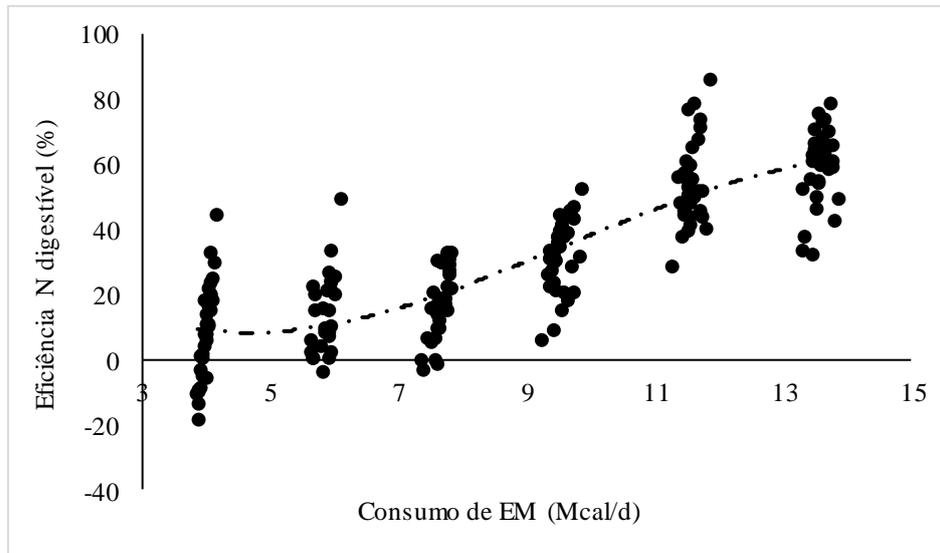


Figura 3- Relação da eficiência de retenção de N em função do consumo de EM (Mcal/d). Equação: $y = 54,072 - 22,133x + 3,1366x^2 - 0,1083x^3$, $P < 0,0001$; $R^2 = 0,72$.

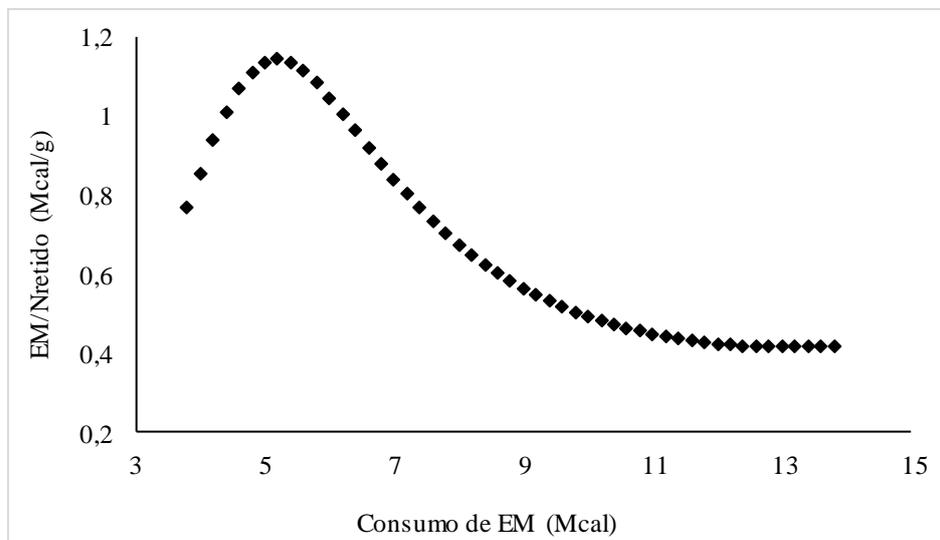


Figura 4- Relação de gasto de energia por grama de retenção de N (Mcal/g.d^{-1}). Valores de N retido estimados pela equação da Figura 2. Este procedimento foi necessário para evitar valores negativos dos dados individuais dos suínos, que impossibilitam o cálculo da relação. Trata-se, portanto, da curva de valores médios do grupo experimental.

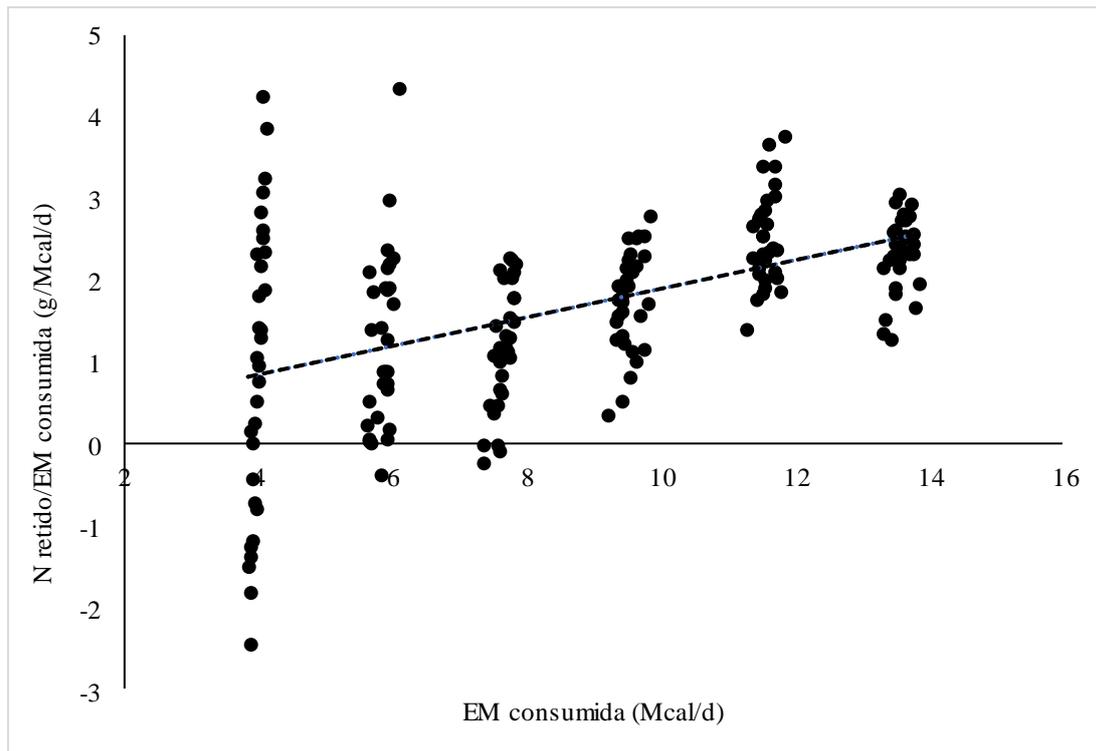


Figura 5- Figura 5- Relação de N retido em função da EM consumida. Equação: $y=0,1424 + 0,1751x$, $P<0,0001$; $R^2= 0,26$.

CAPÍTULO IV

5. Considerações Finais

Os desafios da produção animal atuais estão relacionados, entre outros fatores, ao impacto causado ao meio ambiente. Com isso, ajustes cada vez mais precisos da dieta para com as necessidades dos animais são necessários e diferentes métodos para determinar as exigências devem ser buscados. A modelagem é considerada uma estratégia que ajuda a entender e quantificar a interação dos fenômenos biológicos complexos do organismo e pode ser uma boa alternativa para aprimorar as metodologias de exigências nutricionais.

Os dados individuais dos suínos ao aumento gradual do consumo de lisina digestível mostram que os animais que apresentam as maiores taxas de deposição diária de lisina não são os que utilizam de modo mais eficiente a inclusão deste aminoácido na dieta. Esse comportamento indica retornos decrescentes nos níveis próximos ao máximo desempenho do animal, e considerar essas variações para a alimentação dos suínos pode trazer benefícios econômicos e ambientais para a produção. Além disso, a variação existente entre os animais de uma mesma população, mesmo sendo de mesma origem e categoria, mostra que os diferentes potenciais apresentado por cada animal interferem na interpretação das exigências de lisina quando determinadas a partir da média desse população.

Nossa abordagem na estimativa da exigência de lisina digestível leva em consideração as diferenças na eficiência com que a lisina consumida é convertida em cada suíno e o potencial de retenção do animal. Esses dados individualizados permitem melhor ajuste às exigências, uma quantidade adequada de nutrientes é fornecida considerando a capacidade de produção do suíno visando melhorar o desempenho e diminuir a excreção de nutrientes.

Ao se estudar individualmente as respostas de um suíno aos níveis crescentes e consecutivos de lisina digestível, obtém-se uma curva de formato geral semelhante à curva do total da população, mas quase sempre com maior coeficiente de determinação (R^2), o que permite precisão nas estimativas individuais da exigência ($cLIS_{max}$) para a retenção máxima diária ($RetLis_{max}$) bem como o cálculo das exigências. Assim, a exigência individual num grupo variado de suínos em crescimento pode ser estimada de acordo com a sua $RetLis_{max}$ que é estimada a partir de sua PD_{max} que por sua vez pode ser obtida a partir do ganho de peso momentâneo

num sistema como o *Intelligent Precision Feeder*, conforme a equação utilizada no primeiro trabalho.

Ainda considerando a variação nas respostas individuais de retenção e eficiência entre os suínos nos dois ensaios, esses dados podem refletir a heterogeneidade encontrada nos lotes de criação de suínos no campo. Nesse aspecto, pensando em alimentação de suínos em lotes sem uso de *precision feeder*, o manejo de animais em grupos de acordo com características produtivas, como potencial de produção e peso corporal por exemplo, poderia ser uma alternativa para melhor ajustar a alimentação com as necessidades de nutrientes dos suínos. Claro que esse manejo demanda mão de obra e acompanhamento no mínimo semanal dentro da granja, mas traz benefícios que precisam ser considerados. Os aspectos ambientais não podem deixar de ser comentados. Os dejetos suínos causam grande impacto ambiental e a nutrição pode ser uma estratégia para melhorar este aspecto da produção. A literatura mostra (Pomar et.al, 2003; Heger et al., 2009; Andretta et.al., 2016; Isola et al., 2018; Remus et al., 2019), que a excreção de nutrientes reduz quando os suínos recebem quantidades de nutrientes ajustadas às suas necessidades.

Por último, o estudo das curvas individuais mostrou ser promissor, pois quando comparado com o estudo em grupo mostrou similaridade no formato das curvas e na estimativa geral de $RetLis_{max}$. Por outro lado, o período de restrição pré-experimental levou a aparente crescimento compensatório, onde foram alcançados excessivos consumos de energia bem como de retenção de N no ensaio de energia; e uma aceleração maior na curva de resposta à lisina consumida no ensaio da lisina, o que pode subdimensionar ligeiramente sua exigência.

No entanto, essas abordagens ainda são restritas às condições destes experimentos. Medidas adicionais devem ser obtidas em suínos em crescimento nas diferentes faixas de peso, levando a um modelo que considere esta variação, bem como as diferenças de sexo. Além disso, mais estudos devem ser realizados para ajustar a aderência das medidas de balanço de N em ensaios de metabolismo com as estimativas mais diretas da deposição de proteínas em ensaios de crescimento, pois o balanço de N pode superestimar a deposição.

. REFERÊNCIAS

- ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://abpa-br.org/mercados/>. Acesso em: 2 fev 2020.
- ABREU, Márvio Lobão Teixeira *et al.* Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético, dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 62–67, 2007.
- ABREU, Márvio Lobão Teixeira; FONTES, Dalton de Oliveira; TERRA, Eduardo Nogueira. Exigências de aminoácidos para suínos. *In*: SAKOMURA, Nilva Kazue *et al.* (ed.). **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2014.
- ADESEHINWA, A. O. K. *et al.* Mitigating challenges in pig production and marketing. *In*: NIGERIAN INTERNATIONAL PIG SUMMIT, 1., 2010, Apata, Ibadan. **Proceedings** [...]. Abuja: Nigerian Institute of Animal Science, 2010.
- ANDRETTA, I. *et al.* Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. **Animal**, Cambridge, v. 10, n. 7, p. 1137–1147, 2016. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S1751731115003067/type/journal_article. Acesso em: 11 abr. 2019.
- ANDRETTA, I. *et al.* Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. **Animal**, Cambridge, v. 12, n. 9, p. 1990–1998, 2017.
- BAILLEUL, P. Jean *et al.* Reducing nitrogen excretion in pigs by modifying the traditional least-cost formulation algorithm. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 72, n. 3, p. 199–211, 2001.
- BERTOLO, R. F. *et al.* Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, n. 11, p. 2535–2542, 2005.
- BIKKER, P. **Protein and lipid accretion in body components of growing pigs: effects of body weight and nutrient intake**. 1994. Thesis (PhD) - Wageningen University, Wageningen, 1994.
- BIKKER, P. *et al.* Protein and lipid accretion in body components of growing gilts (20 to 45 kilograms) as affected by energy intake. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, n. 8, p. 2355–2363, 1995.
- BROWN, J. *et al.* Digestible lysine requirements for maintenance in the starting turkey. **International Journal of Poultry Science**, Champaign, v. 5, n. 8, p. 740–743, 2006.
- CLOSE, W. H.; BERSCHAUER, F.; HEAVENS, R. P. The influence of protein:energy value of the ration and level of feed intake on the energy and nitrogen metabolism of

the growing pig. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 49, n. 2, p. 255–269, 1983.

DAI, Zhao-Lai *et al.* Regulatory role for L-arginine in the utilization of amino acids by pig small-intestinal bacteria. **Amino Acids**, Wien, v. 43, n. 1, p. 233–244, 2012.

DE LANGE, C. F. M.; BIRKETT, S. H.; MOREL, P. C. H. Protein, fat, and bone tissue growth in swine. *In*: LEWIS, Austin J.; SOUTHERN, L. Lee (ed.). **Swine nutrition**. 2nd ed. Flórida: CRC Press, 2001. p. 975.

FERGET P. R.; VAN HEUGTEN E.; KEMPEN T. A.T.G. Nutritional strategies to reduce environmental emissions from nonruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, p. E168–E182, 2002. Supl. 2.

FIGUEROA, J. L. *et al.* Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, n. 11, p. 2911–2919, 2002.

FRIESEN, K. G. *et al.* Effects of the interrelationship between genotype, sex, and dietary lysine on growth performance and carcass composition in finishing pigs fed to either 104 or 127 kilograms. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 4, p. 946–954, 1994.

FULLER, M. Macronutrient requirements of growing swine. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, 1996, Viçosa. **Anais [...]**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1996.

FULLER, M. F. **The encyclopedia of farm animal production**. Wallingford: CABI, 2004.

FULLER, M. F.; CROFTS, R. M. J. The protein-sparing effect of carbohydrate. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 38, n. 3, p. 489–496, 1977.

GAHL, M. J.; CRENSHAW, T. D.; BENEVENGA, N. J. Diminishing returns in weight, nitrogen, and lysine gain of pigs fed six levels of lysine from three supplemental sources. **Journal of animal science**, Champaign, v. 72, n. 12, p. 3177–3187, 1994.

GAHL, M. J. *et al.* Use of a four-parameter logistic equation to evaluate the response of growing rats to ten levels of each indispensable amino acid. **The Journal of Nutrition**, Champaign, v. 121, n. 11, p. 1720–1729, 1991. Disponível em: <https://academic.oup.com/jn/article/121/11/1720/4744078>. Acesso em: 12 mar. 2017.

GATTÁS, Gustavo *et al.* Níveis de lisina digestível em dietas para suínos machos castrados dos 60 aos 100 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 41, n. 1, p. 91–97, 2012.

GUYTON, A.; HALL, J. **Tratado de fisiologia médica**. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

HAUSCHILD, L. *et al.* Development of sustainable precision farming systems for

swine: estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 7, p. 2255–2263, 2012.

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**, Cambridge, v. 4, n. 5, p. 714–723, 2010.

HE, Liuqin *et al.* Effects of dietary l-lysine intake on the intestinal mucosa and expression of CAT genes in weaned piglets. **Amino Acids**, Wien, v. 45, n. 2, p. 383–391, 2013.

HEGER, J. *et al.* Individual response of growing pigs to lysine intake. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Malden, v. 93, n. 5, p. 538–546, 2009. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1439-0396.2008.00837.x>. Acesso em: 28 mar. 2017.

HEGER, J.; VAN PHUNG, T.; KŘÍŽOVÁ, L. Efficiency of amino acid utilization in the growing pig at suboptimal levels of intake: lysine, threonine, sulphur amino acids and tryptophan. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Malden, v. 86, n. 1/2, p. 153–165, 2002.

HURWITZ, S. Calculation of the amino acid requirements of growing birds under variable environmental conditions. *In*: LÁSZTITY, R. **Amino acid composition and biological value of cereal proteins**. Budapest: Springer, 1985. p. 577–593.

ISOLA, Renan Di Giovanni *et al.* Individual responses of growing pigs to threonine intake. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 47, p. 2–7, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982018000100500&lng=en&tlng=en. Acesso em: 12 mar. 2019.

JUST, Arnold. Nutritional manipulation and interpretation of body compositional differences in growing swine. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 58, n. 3, p. 740–752, 1984.

KAMPMAN-VAN DE HOEK, E. *et al.* A simple amino acid dose–response method to quantify amino acid requirements of individual meal-fed pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 10, p. 4788–4796, 2013. Disponível em: <https://academic.oup.com/jas/article/91/10/4788/4717259>. Acesso em: 20 mar. 2017.

KYRIAZAKIS, I.; EMMANS, G. C. The effects of varying protein and energy intakes on the growth and body composition of pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 68, n. 3, p. 603–613, 1992. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0007114592001211/type/journal_article. Acesso em: 12 mar. 2020.

LANGE, C. F. M.; LEVESQUE, C. L.; KERR, B. J. Amino acid nutrition and feed efficiency. *In*: PATIENCE, John F. (ed.). **Feed efficiency in swine**. Wageningen: Wageningen Academic, 2012. p. 1–275.

LI, S.; SAUER, W. C. The effect of dietary fat content on amino acid digestibility in

young pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 7, p. 1737–1743, 1994. Disponível em: <https://academic.oup.com/jas/article/72/7/1737-1743/4632671>. Acesso em: 8 abr. 2018.

LIAO, Shengfa F.; WANG, Taiji; REGMI, Naresh. Lysine nutrition in swine and the related monogastric animals: muscle protein biosynthesis and beyond. **SpringerPlus**, London, v. 4, n. 147, p. 1–12, 2015.

LOVATTO, Paulo Alberto; SAUVANT, Daniel. Modelagem aplicada aos processos digestivos e metabólicos do suíno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 663–670, 2001.

MILLET, S. *et al.* Review: Pork production with maximal nitrogen efficiency. **Animal**, Cambridge, v. 12, n. 5, p. 1060–1067, 2018.

MÖHN, S. *et al.* Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 78, n. 6, p. 1510, 2000. Disponível em: <https://academic.oup.com/jas/article/78/6/1510-1519/4668515>. Acesso em: 28 jan. 2017.

MOUGHAN, P. J. Protein metabolism in the growing pig. *In*: KYRIAZAKIS, I. (ed.). **A quantitative biology of the pig**. Wallingford: CABI, 1999.

MOUGHAN, P. J. Efficiency of amino acid utilization in simple-stomached animals and human – a modeling approach. *In*: FRANCE, James; KEBREAB, Ermias (ed.). **Mathematical modelling in animal nutrition**. Cambridge: CABI, 2008. p. 241–253.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 10th rev ed. Washington, DC: The National Academies Press, 1998.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 11th rev. ed. Washington, DC: The National Academies Press, 2012.

OVIEDO-RONDÓN, Edgar O.; POMAR, Candido; MALHEIROS, Ramon D. Modelagem na nutrição de monogástricos. *In*: SAKOMURA, Nilva Kazue *et al.* (ed.). **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2014.

PACK, Michel; HOEHLER, Dirk; LEMME, Andreas. Economic assessment of amino acid responses in growing poultry. *In*: D’MELLO, J. P. F. (ed.). **Amino acids in animal nutrition**. 2nd ed. Cambridge: CABI, 2003. p. 459–483.

POMAR, C. 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, 1995, Ottawa. **Proceedings** [...]. Ottawa: Canadian Society of Animal Science, 1995.

POMAR, C. *et al.* Modeling stochasticity: dealing with populations rather than individual pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 14, p. E178–E186,

2003. Supl. 2.

REEDS, P. J. *et al.* Urea synthesis and leucine turnover in growing pigs: changes during 2 d following the addition of carbohydrate or fat to the diet. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 58, n. 2, p. 301–311, 1987.

REGMI, Naresh *et al.* Effects of dietary lysine levels on plasma free amino acid profile in late-stage finishing pigs. **SpringerPlus**, London, v. 5, n. 1, [art.] 888, 2016.

REMUS, Aline *et al.* Pigs receiving daily tailored diets using precision-feeding techniques have different threonine requirements than pigs fed in conventional phase-feeding systems. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, Amsterdam, v. 10, n. 1, p. 16, 2019. Disponível em: <https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40104-019-0328-7>. Acesso em: 22 set. 2019.

REZAEI, Reza *et al.* Biochemical and physiological bases for utilization of dietary amino acids by young pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, Amsterdam, v. 4, n. 7, p. 1–12, 2013.

RONDÓN, E. O. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 4, n. 1, p. 199–207, 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1516-635X2002000100001&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 15 ago. 2018.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2017.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: FUNEP, 2016.

SAMADI, F.; LIEBERT, F. Estimation of nitrogen maintenance requirements and potential for nitrogen deposition in fast-growing chickens depending on age and sex. **Poultry Science**, Champaign, v. 85, n. 8, p. 1421–1429, 2006.

SCHINCKEL, A.; EINSTEIN, M. Concepts of pig growth and composition. *In*: PURDUE SWINE DAY REPORT, 1995, Purdue. **Proceedings** [...]. Purdue University, 1995. p.118.

SMITH, C.; MARKS, A. D.; LIEBERMAN, M. **Marks basic medical biochemistry: a clinical approach**. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2003.

SUENAGA, R. *et al.* Intracerebroventricular injection of L-arginine induces sedative and hypnotic effects under an acute stress in neonatal chicks. **Amino Acids**, Wien, v. 35, n. 1, p. 139–146, 2008.

SUSENBETH, A. Factors affecting lysine utilization in growing pigs: an analysis of literature data. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 193–204, 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 the limiting amino acid. **Journal Animal Physiology and Animal Nutricional**, Malden, v. 88, n. 5/6, p. 196–203, 2004.
- VAN MILGEN, Jaap; DOURMAD, Jean Yves. Concept and application of ideal protein for pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, Amsterdam, v. 6, n. 1, p. 1–11, 2015.
- WANG, Junjun *et al.* Gene expression is altered in piglet small intestine by weaning and dietary glutamine supplementation. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 138, n. 6, p. 1025–1032, 2008.
- WHITTEMORE, C. T.; GREEN, D. M.; KNAP, P. W. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, n. 2, p. 363–373, 2001.
- WU, Guoyao *et al.* Important roles for the arginine family of amino acids in swine nutrition and production. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 112, n. 1/2, p. 8–22, 2007.
- WU, Guoyao. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. **Amino Acids**, Wien, v. 37, p. 1–17, 2009.
- WU, Guoyao. Functional amino acids in growth, reproduction, and health. **Advances in Nutrition**, Rockville, v. 1, n. 4, p. 31–37, 2010.
- WU, Guoyao. **Amino acids: biochemistry and nutrition**. London: CRC Press, 2013.
- WU, Zhenlong *et al.* Regulation of brown adipose tissue development and white fat reduction by L-arginine. **Current Opinion in Clinical Nutricional and Metabolic Care**, London, v. 15, n. 6, p. 529–538, 2012.
- ZENG, P. L. *et al.* Effects of dietary lysine levels on apparent nutrient digestibility and serum amino acid absorption mode in growing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 26, n. 7, p. 1003–1011, 2013.
- ZHANG, Zhihong *et al.* Identification of lysine succinylation as a new post-translational modification. **Nature Chemical Biology**, London, v. 7, n. 1, p. 58–63, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nchembio.495>. Acesso em: 28 abr. 2017.

VITA

Mariana Fernandes Ribas da Silva natural do município de Itaara, nascida no dia vinte e três de fevereiro de 1989. Filha de Joana Maria Fernandes Ribas. Coursou o ensino fundamental na Escola Municipal Euclides Pinto Ribas e concluiu o ensino médio na Escola Estadual de Ensino Médio de Itaara.

É bacharel em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria, RS, graduada no ano de 2012. Durante a graduação, atuou na área de produção e nutrição de suínos no Setor de Suínos, participando de projetos de extensão e pesquisa. Como requisito para conclusão da graduação, realizou o estágio curricular na Faculdade de Engenharia Agrônômica da Universidade Nacional del Este em Ciudad del Este no Paraguai, onde além de desenvolver o período de estágio na área experimental da faculdade, cursou disciplinas no curso de Agronomia.

No ano de 2013 foi trainee em uma empresa que trabalha com a reprodução de suínos. Sendo que fez parte da equipe responsável pelo setor de reprodução de duas unidades produtoras de leitões.

Em agosto de 2014 iniciou o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFSM, na área de concentração em Produção Animal, com ênfase em Suinocultura sob orientação do Prof. Dr. Gerson Guarez Garcia.

Em abril de 2016, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na área de concentração Nutrição de Não-Ruminantes com orientação do Prof. Dr. Alexandre de Mello Kessler.

Durante a vida acadêmica, participou de projetos de pesquisa em nutrição de não-ruminantes, principalmente suínos. Participou de eventos nacionais e internacionais de nutrição e produção animal. Publicou artigos e resumos como autora e coautora