

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Faculdade de Agronomia
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

**Eficiência marginal da lisina digestível das dietas para suínos em
crescimento e terminação: um estudo meta-analítico**

RAQUEL MELCHIOR

Zootecnista - UFSM
Mestre em Zootecnia - UFSM

Tese apresentada como um dos requisitos a obtenção do Grau de
Doutor em Zootecnia
Área de Concentração Produção Animal

Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil
Março de 2016.

CIP - Catalogação na Publicação

Melchior, Raquel

Eficiência marginal da lisina digestível das dietas para suínos em crescimento e terminação: um estudo meta-analítico / Raquel Melchior. -- 2016. 102 f.

Orientador: Alexandre de Mello Kessler.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Suínos. 2. Dose-resposta. 3. Lisina digestível. 4. Meta-análise. 5. Rendimentos decrescentes. I. de Mello Kessler, Alexandre, orient. II. Título.

RAQUEL MELCHIOR
Zootecnista e Mestre em Zootecnia

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR EM ZOOTECNIA

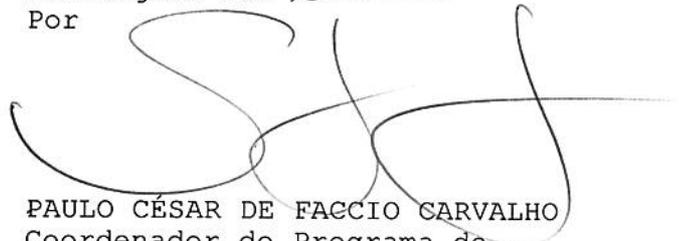
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 18.03.2016
Pela Banca Examinadora



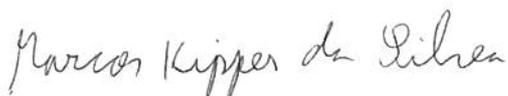
ALEXANDRE DE MELLO KESSLER
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientador

Homologado em: 10.05.2016
Por

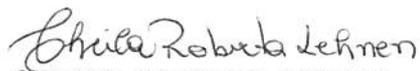


PAULO CÉSAR DE FACCIO CARVALHO
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia


INES ANDRETTA
PPG Zootecnia/UFRGS



MARCOS KIPPER DA SILVA
UFRGS


CHEILA ROBERTA LEHNEN
PPG Zootecnia/UEPG



PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de Agronomia

DEDICATÓRIA

À vocês, Mãe e Pai
Pelo exemplo, dedicação e empenho que permitiram a conquista dos
meus sonhos...

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e pela saúde e por iluminar cada passo de minha vida.

Aos meus pais Ejair José Melchior e Virginia Helena da Silva Melchior, aos irmãos Rodrigo e Rosana, cunhados Jaqueline e Carlos, Sobrinhos Renato e Ravine e ao meu noivo Alexandre por sempre estarem ao meu lado e serem fonte de inspiração para enfrentar os desafios.

A minha família que sempre me apoiou, incentivou e confiou na minha capacidade.

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos no projeto CAPES COFECUB - França.

Ao professor Alexandre de Mello Kessler pela oportunidade, confiança, incentivo, orientação e presença em minha formação.

Aos professores do Departamento de Zootecnia, em especial a Andrea Machado Leal Ribeiro, Ines Andretta e Maitê de Moraes Vieira, pelos ensinamentos e apoio.

Aos Drs. Jaap Van Milguyen e Alberto Conde Aguilera pela oportunidade de estágio, acolhida calorosa, paciência inestimável e preciosos conhecimentos.

Aos colegas e amigos que fiz durante o estágio de doutorado no INRA-Saint Gilles, em especial a Maëva, Elise, Rosa, Ana, Magdalena, Marcolino, Paulo e Aline, pela ajuda com a língua, pela parceria e por ajudarem a amenizar a saudade.

À coorientadora Cheila Roberta Lehnen, pela ajuda inestimável no desenvolvimento e elaboração da tese.

Aos colegas do LEZO, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos de longa jornada, Cheila Lehnen, Ines Andretta e Marcos Kipper pela inestimável ajuda, paciência e amizade.

As amigas Alessandra Monteiro, Geruza Machado e Patrícia Ebling por todo o apoio, ajuda na tese, amizade, parceria - vocês são aquelas inexplicáveis surpresas que a vida nos reserva.

Aos amigos e colegas da pós-graduação e a todos que de uma ou outra forma contribuíram para o desenvolvimento desta tese.

EFICIÊNCIA MARGINAL DA LISINA DIGESTÍVEL DAS DIETAS PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO: UM ESTUDO META-ANALÍTICO¹

Autora: MSc. Raquel Melchior

Orientador: Prof. Dr. Alexandre de Mello Kessler

RESUMO

Inúmeros trabalhos avaliando as exigências de lisina podem ser encontrados na literatura, mas seus resultados são heterogêneos. Revisões sistemáticas e a meta-análise permitem integrar diferentes variáveis, gerar novos resultados e obter respostas ajustadas a uma maior diversidade experimental. Objetivou-se explorar as relações da lisina digestível com as variáveis de desempenho, estabelecer a exigência e avaliar a eficiência marginal da lisina segundo a lei de rendimentos decrescentes para suínos em crescimento e terminação. Para os estudos I e II, foram compilados 36 artigos publicados entre 2002 e 2013 avaliando 2.399 suínos pesando entre 15-120 kg. Para o estudo III, foram utilizados 26 artigos que avaliaram 1.820 suínos pesando entre 20-120 kg. No estudo I, o consumo diário de lisina apresentou correlações maiores com a ingestão de energia metabolizável e proteína bruta e com as deposições de proteína e lipídios. O consumo diário de lisina apresentou melhor ajuste nas equações de variância-covariância do que o nível percentual de lisina. No estudo II, o aumento no consumo diário de lisina melhorou o ganho de peso e a deposição de proteína na fase de 70-120 kg. Nas fases de 15-30; 30-70 e 70-120 kg os níveis de lisina digestível determinados para obter as melhores respostas de ganho corresponderam ao consumo diário de 14,8; 20,2 e 18,3 g lisina/dia. Os níveis de lisina digestível determinados para obter as melhores respostas de deposição de proteína corresponderam ao consumo diário de 16,3 e 24,1 g lisina/dia nas fases 15-30 e 30-70 kg. No estudo III, observamos que a medida que o animal se aproxima ou atinge o ponto de máximo desempenho, a eficiência de uso da lisina digestível diminui segundo a lei de rendimentos decrescentes. Dietas formuladas para atender 95% da máxima resposta de ganho de peso permitem uma melhora na eficiência marginal de uso da lisina da ordem de 2,4; 2,5 e 1,5 g de ganho de peso para cada g de lisina ingerida nas faixas de peso vivo 20-50; 50-70 e 70-120 kg. Sugerimos a inclusão de variáveis como a eficiência alimentar e o ganho de peso nas análises de determinação de exigências de lisina, também a escolha de metodologias analíticas adequadas e a inclusão da lei de rendimentos decrescentes da eficiência marginal de uso da lisina nos atuais modelos de determinação de exigência para evitar a superestimação observada nas tabelas de recomendação nutricional.

Palavras-chave: desempenho, dose-resposta, lisina digestível, meta-análise, rendimentos decrescentes, suínos

¹ Tese de Doutorado em Zootecnia - Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (101 p.). Março, 2016.

MARGINAL EFFICIENCY OF DIGESTIBLE LYSINE DIETS FOR GROWING-FINISHING PIGS: A META-ANALYTICAL STUDY²

Author: MSc. Raquel Melchior

Advisor: Prof. Dr. Alexandre de Mello Kessler

ABSTRACT

Several studies evaluating the lysine requirements are available in the literature, but its results are heterogeneous. Systematic reviews and meta-analysis allows integrating different variables, generating new results and producing answers adjusted to experimental diversity. This objective of this study was to explore the relationship among dietary lysine and the performance variables, establishing the requirement and assessing the marginal efficiency of dietary lysine according to the law of diminishing returns for growing-finishing pigs. For studies I and II, 36 articles published from 2002 to 2013 evaluating 2399 pigs weighing between 15-120 kg were compiled. And for the study III 26 articles evaluating 1820 pigs weighing between 20-120 kg were used. In the study I, daily intake of lysine showed higher correlations with the metabolizable energy intake and crude protein, with the protein deposition and lipid deposition. The daily intake of lysine showed better adjustment in the variance-covariance equations than the dietary level of lysine. In Study II, increasing the daily intake of lysine improved the weight gain and protein deposition in the 70-120 kg phase. In 15-30; 30-70 and 70-120 kg phase the levels digestible lysine that maximized weight gain reponse corresponded to the daily intake of 14.8; 20.2 and 18.3 g lysine/day. Lysine levels that maximized protein deposition reponse corresponded to daily intake of 16.3 and 24.1 g lysine/day in the phases 15-30 and 30-70 kg. In the study III, it was observed that, as the animal approaches or reaches the maximum performance the efficiency of lysine use decreases according to the law of diminishing returns. Diets formulated to meet 95% of the maximal weight gain response permit a marginal improvement in efficiency of use of the lysine the order of 2.4; 2.5 and 1.5 grams of weight gain for each lysine grams ingested in live weight phases 20-50; 50-70 and 70-120 kg respectively. It suggest the inclusion of variables feed efficiency and weight gain in analysis for the determination of lysine requirements, also the choice of appropriate analytical methods and the inclusion of diminishing returns law of marginal efficiency the dietary lysine in current models for the determination of requirements to avoid the overestimation observed in nutritional recommendation tables.

Keywords: digestible lysine, diminishing returns, dose-response, meta-analysis, performance, pigs

² Doctoral thesis in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (101 p.). March, 2016.

Sumário

	Página
Capítulo I	
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Panorama da suinocultura mundial	14
2.1.1 Panorama da suinocultura Brasileira.....	14
2.2 Determinação de exigências nutricionais para suínos em crescimento e terminação	15
2.3 Fatores que afetam o consumo de alimentos.....	16
2.3.1 Regulação do consumo voluntário.....	16
2.3.2 Ambiente térmico.....	18
2.4 Avaliação de lisina na produção de suínos.....	19
2.4.1 Eficiência marginal de utilização da lisina.....	20
2.5 Lei de rendimentos decrescentes.....	21
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	23
 Capítulo II	
ARTIGO: Estudo exploratório das relações da lisina digestível com o desempenho de suínos de 15-120 kg.....	25
Resumo.....	25
Abstract	26
Introdução	26
Material e Métodos	28
Resultados e Discussão	30
Conclusões	35
Referências	35
 Capítulo III	
ARTIGO: Exigência de lisina digestível para suínos dos 15 aos 120 kg estimadas através de um estudo meta-analítico.....	51
Resumo	51
Introdução	52
Material e Métodos	53
Resultados.....	57
Discussão.....	60
Conclusões	63
Referências	63
 Capítulo IV	
ARTIGO: Rendimentos decrescentes da eficiência marginal da lisina digestível para suínos em crescimento e terminação.....	68
Resumo	68
Introdução	69
Material e Métodos	71
Resultados.....	74
Discussão.....	80

Conclusões	84
Referências.....	85
Capítulo V	
CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
APÊNDICES.....	97
VITA	101

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
Capítulo II	
TABELA 01: Descrição dos artigos utilizados na base.....	40
TABELA 02: Composição nutricional média calculada das dietas para suínos em diferentes faixas de peso.....	41
TABELA 03: Correlações e equações entre ingestão de nutrientes com nível e consumo de lisina digestível e relação lisina/energia metabolizável (EM) por suínos dos 15 aos 120 kg de PV.....	42
TABELA 04: Correlações e equações entre o desempenho de suínos dos 15 aos 120 kg de PV com nível e consumo de lisina digestível e a relação lisina/energia metabolizável (EM).....	43
Capítulo III	
TABELA 01: Agrupamento dos animais em função do consumo de lisina digestível por kg de peso metabólico.....	55
TABELA 02: Desempenho de suínos em crescimento e terminação (15-120 kg) consumindo baixo, médio ou alto nível de lisina digestível nas dietas.....	59
TABELA 03: Parâmetros das equações utilizadas para estimar as exigências de lisina digestível para suínos em crescimento e terminação.....	60
Capítulo IV	
TABELA 01: Composição média calculada das dietas utilizadas na base de dados.....	72

RELAÇÃO DE FIGURAS

Capítulo I

- FIGURA 01: A: rendimentos decrescentes no ganho de peso (kg/dia) de suínos alimentados com concentrações graduadas de lisina. B: eficiência marginal do ganho de peso em relação ao consumo de lisina, sendo eficiência marginal definida como o incremento na resposta de ganho para cada incremento de uma unidade na ingestão. (Gahl et al., 1994)..... 22

Capítulo II

- FIGURA 01: Ganhos de peso observados e estimados por equações de regressão em função do consumo diário de lisina digestível..... 44
- FIGURA 02: Deposições de proteína observadas e estimadas por equações de regressão em função do consumo diário de lisina digestível..... 45

Capítulo IV

- FIGURA 01: Ganho de peso e eficiência marginal de uso da lisina dietética em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos com pesos entre 20-50 kg..... 75
- FIGURA 02: Ganho de peso e eficiência marginal de uso da lisina dietética em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos pesando entre 50-70 kg..... 76
- FIGURA 03: Ganho de peso e eficiência marginal de uso da lisina dietética em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos na fase de terminação (70-120 kg)..... 77
- FIGURA 04: Deposição de proteína e eficiência de uso da lisina para deposição de proteína em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos com pesos entre 20-70 kg..... 79
- FIGURA 05: Deposição de lisina e eficiência marginal de uso da lisina em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos com pesos entre 20-70 kg..... 80

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AAd	Aminoácidos digestíveis
cLis	Consumo de lisina
DL	Deposição de lipídios
DP	Deposição de proteína
EA	Eficiência alimentar
EM	Energia metabolizável
GMD	Ganho médio diário
HCl	Ácido clorídrico
K	Eficiência em modelos fatoriais
Lis%	Nível percentual de lisina
NRC	National Research Council
PD_{máx}	Máxima deposição de proteína
ppm	Partes por milhão
PV	Peso vivo

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

As fases de crescimento e terminação representam aproximadamente 70% do rebanho total de uma unidade produtiva e a alimentação é o item mais oneroso da indústria suinícola. Portanto, qualquer redução de custos com a nutrição para estas fases representa um importante impacto na cadeia. Além dos objetivos econômicos, nas últimas décadas estão sendo valorizados outros critérios na produção animal, como as exigências do consumidor pela qualidade da carne, bem-estar animal e preservação do meio ambiente (Dourmad & Jondreville, 2007).

As atuais pesquisas na área de nutrição animal têm buscado integrar três aspectos: potencial nutritivo dos ingredientes, exigências nutricionais e a resposta do animal em termos de retenção e excreção de nutrientes (Whittemore et al., 2001). Muito já se avançou nas técnicas de avaliação da composição nutricional dos alimentos, mas ajustes mais precisos na determinação das exigências dos suínos ainda são necessários. Atualmente as exigências são determinadas considerando que para um dado peso/ idade/ grupo genético existe um limite para a máxima deposição proteica (PDmax), o que segue a lógica da biologia animal. As exigências podem ser estabelecidas via modelo empírico, geralmente com superestimação ou via método fatorial onde há geralmente subestimação das exigências (Hauschild et al., 2010). Alguns modelos não consideram um conceito biológico que precede o estabelecimento assintótico da PDmax, que são os rendimentos decrescentes da eficiência do uso de aminoácidos digestíveis da dieta a medida que seu consumo é aumentado. Isto tem grande impacto econômico na produção, já que menores incrementos nas respostas são observados para cada incremento do nutriente na dieta.

A lisina é o primeiro aminoácido limitante para os suínos devido a sua constância na proteína corporal e sua destinação metabólica preferencial para deposição de tecido muscular (NRC, 1998), sendo o aminoácido mais estudado e utilizado como referência na proteína ideal. Muitos trabalhos avaliando as exigências de lisina para suínos podem ser consultados na literatura, mas seus resultados são heterogêneos e representam condições experimentais específicas. Diante disso, a utilização da meta-análise permite combinar resultados já publicados e obter respostas sistêmicas e ajustadas a uma maior diversidade experimental. Desta forma, o objetivo deste trabalho é explorar as relações da lisina digestível da dieta com o desempenho, definir exigências e estabelecer as relações de eficiência marginal da lisina considerando a lei de rendimentos decrescentes para suínos em crescimento e terminação criados no Brasil, utilizando ferramentas meta-analíticas.

Este documento é estruturado em cinco capítulos constituídos por: (1) Introdução e Revisão bibliográfica; (2, 3 e 4) Artigos científicos e; (5) Considerações finais, Referências bibliográficas e Apêndices.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Panorama da suinocultura mundial

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne suína, com uma estimativa de produção de 3,5 milhões de toneladas em 2015 (ABPA, 2015). Com uma população de cerca de 7,3 bilhões de pessoas e com a previsão de que provavelmente alcançará o patamar de 9,4 bilhões de habitantes em 2050, nosso planeta demanda uma grande quantidade de alimentos e está ávido por proteína de origem animal. Estima-se que na metade desse século, a humanidade demandará mais de 200 milhões de toneladas de carne de aves, aproximadamente 140 milhões de toneladas de carne suína, e algo em torno de 100 milhões de toneladas de carne bovina (Zani & Zani, 2015), produção que deve ser realizada de forma eficaz e sem comprometer o meio ambiente.

Com o crescimento exponencial da população, a carne suína adquire cada vez mais importância como alimento para a população mundial. O fornecimento anual por habitante de carne suína que era de 8 kg em 1961, passou para 15,8 kg de carne em 2009, o que significa dizer que a suinocultura fornece diariamente cerca de 120 kcal por habitante do planeta (Faostat, 2013). Para atender tal demanda, observou-se nos últimos 17 anos um crescimento de 42% na produção mundial de carne suína, aumentando de 78,2 milhões de toneladas em 1995 para 111,7 milhões de toneladas em 2012. Esse aumento foi baseado na melhora da produtividade e no aumento do peso de abate já que o rebanho cresceu apenas 7% neste mesmo período, passando de 900 para 964 milhões de cabeças (Roppa, 2014). Dentre os principais aspectos que garantiram o aumento da produtividade com menor aumento no rebanho está a tecnificação das produções e a capacidade de produzir maior quantidade de carne por matriz alojada (valor obtido pela divisão da produção de carne do país pelo número de matrizes alojadas). Dentre os maiores produtores mundiais de carne suína, o país mais eficiente nesse parâmetro é a Alemanha que obtém 2435 kg de carne por matriz alojada (Roppa, 2014).

Mas, o continente asiático segue como o responsável pela maior produção de carne suína no mundo - 61,64 milhões de toneladas (55% do total mundial), seguido pela Europa com 27,6 milhões de toneladas (25% do total) e Américas com 20,4 milhões de toneladas (18% do total mundial). Dentre os dez maiores produtores de carne suína, o Brasil é o único país da América do Sul e vem ganhando destaque ano a ano (Roppa, 2014).

2.1.1 Panorama da suinocultura Brasileira

O Brasil ocupa o terceiro lugar em número de cabeças de suínos e possui 4,2% do rebanho mundial, o que corresponde a mais de 39 milhões de suínos e é responsável atualmente pela produção de 3,5 milhões de toneladas de carne suína por ano (Faostat, 2013). Dentro do país, a região Sul sempre ocupou lugar de destaque na produção de suínos, o que pode ser atrelado à colonização europeia nesta região. No entanto, a partir da década de 70 a fronteira agrícola evoluiu na região Centro-Oeste, distribuindo a produção de suínos pelo território nacional. A região Centro-Oeste possui grande produção de grãos, o que diminui os custos com a alimentação dos animais. Além disso,

possui abundância de água, clima favorável e topografia que favorece a distribuição dos dejetos.

Com o desenvolvimento da suinocultura intensiva e o crescente aumento na escala, há também aumento na produção de efluentes. Esses dejetos, além de grande potencial poluidor, podem saturar o solo quando em grandes quantidades, necessitando de mais cuidados e elevando os custos de produção. Dentro do conceito de sistemas sustentáveis e em um cenário onde as legislações ambientais estão cada vez mais rígidas, é preciso encontrar soluções que melhorem a eficiência de utilização dos nutrientes da dieta pelos animais, diminuindo as excreções.

Estima-se que a suinocultura brasileira seja responsável pela excreção anual de 20 kg/hectare de nitrogênio e de 5 kg/hectare de fósforo para o ambiente (Lovatto et al., 2010). Nas últimas décadas, o setor tem buscado tecnologias mais limpas visando a redução no impacto ambiental. Neste contexto, estudos recentes mostram que novas técnicas de alimentação podem tornar a atividade ainda mais sustentável (Pomar et al., 2010). Da mesma forma, o ajuste mais preciso no fornecimento de nutrientes nas dietas às exigências dos animais pode contribuir para a redução da excreção de nutrientes. Além disso, a suinocultura é baseada na utilização de grãos como alimento para os animais, fazendo com que este seja o item mais oneroso da produção (70%). Neste contexto, aumentar a eficiência com que os suínos utilizam os nutrientes das dietas pode representar uma importante vantagem para a sustentabilidade econômica e também ambiental dos sistemas de produção (Andretta, 2014). Sistema sustentável, neste caso, representa aquele onde há o máximo retorno econômico sem esquecer o uso racional de recursos naturais como a água.

Com a expectativa do crescimento demográfico calcula-se que a demanda por alimento duplique até o ano de 2050 (Tilman et al., 2002). Estima-se que a produção de 70% deste adicional de alimento vai depender de tecnologias emergentes ou de sistemas inovadores (Simmons, 2011). Sendo assim, devemos buscar novas técnicas e tecnologias que permitam o aumento da produção sem comprometer os recursos naturais e que sejam economicamente viáveis. Neste contexto a utilização do conceito de rendimentos decrescentes pode ser utilizado para encontrar um equilíbrio entre custos e benefícios econômicos e ambientais.

2.2. Determinação de exigências nutricionais para suínos em crescimento e terminação

As exigências de um nutriente podem ser definidas como a quantidade necessária para atingir objetivos específicos de produção, como maximizar o ganho e a deposição proteica, melhorar a conversão alimentar e outros (Fuller, 2004). A lisina, em especial, é considerada referência na avaliação nutricional de aminoácidos, pois é estritamente essencial, não sintetizada pelos suínos, sendo o primeiro aminoácido limitante em rações formuladas com base em milho e farelo de soja (NRC, 1998). Isto se deve à sua constância na proteína corporal e sua destinação metabólica preferencial para a deposição de tecido muscular (NRC, 1998).

Parte-se do pressuposto que cada tipo de animal tenha uma curva de crescimento com um potencial inerente que é observado em um ambiente ideal ou apenas não limitante ao crescimento. Sendo assim, a construção desta curva de crescimento é o primeiro passo para a determinação das exigências de nutrientes dos diferentes genótipos. Além disso, o melhoramento genético, aliado às pesquisas nutricionais, pode alterar o comportamento biológico desses animais (Freitas, 2005).

Historicamente, as exigências de aminoácidos digestíveis (AAd) para suínos foram definidas de forma empírica através de experimentos de desempenho ou também chamados experimentos “dose-resposta”. Este método estima a exigência nutricional de determinado nutriente pela avaliação de uma resposta pré-definida como o ganho de peso, através do oferecimento de níveis crescentes do nutriente na dieta (Rostagno et al., 2007). Este método gera estimativas muito próximas ao ganho máximo, mesmo quando a eficiência de uso dos AAd ingeridos é baixa. Embora as exigências nutricionais possam ser superestimadas, este é o método adotado para compor as exigências nutricionais publicadas pela maioria das tabelas clássicas de exigência (Whittemore et al., 2001). Estas tabelas utilizam métodos estatísticos para estimar valores médios de exigências a partir de um compilado de trabalhos (artigos, resumos, livros) que representam uma condição produtiva média de um determinado espaço temporal e geográfico (Hauschild et al., 2010).

Buscando corrigir essa discrepância entre a real exigência do animal e o que é determinado experimentalmente, passou-se a utilizar o método fatorial. Neste método, as exigências são estimadas a partir da soma da exigência de manutenção com a exigência para produção. A exigência é determinada para cada nutriente e considera a eficiência com que ele é utilizado para cada função metabólica (Van Milgen & Noblet, 2003). Este método considera o estado metabólico do animal e aspectos biológicos da utilização dos nutrientes, mas continua sendo um método estático, pois estima as exigências para um único indivíduo em um determinado ponto (idade ou peso vivo) (Hauschild et al., 2010). Para a construção de um modelo mais ajustado para determinar as exigências dos suínos, é preciso que este modelo considere os fatores que afetam as exigências, como o potencial de crescimento do animal, a regulação do consumo voluntário e a temperatura ambiental. Conhecer e introduzir conceitos como o de rendimentos decrescentes aos atuais modelos de determinação de exigências também pode contribuir para o desenvolvimento de modelos de produção mais sustentáveis.

2.3. Fatores que afetam o consumo de alimentos

2.3.1. Regulação do consumo voluntário

Os aminoácidos são considerados nutrientes essenciais aos suínos e a sua quantidade mínima exigida é influenciada por fatores inerentes ao animal (potencial genético, idade, peso, sexo, etc.), ao alimento (composição de ingredientes, digestibilidade, fatores antinutricionais, etc.) e ao ambiente (temperatura, espaçamento, etc.) (Noblet & Quiniou, 1999). A capacidade de ingestão de nutrientes pelo suíno é essencial para a produtividade nos sistemas de produção comercial de carne suína. Como o nível de ingestão de

nutrientes está diretamente relacionado com o consumo voluntário, estudar os fatores envolvidos no complexo de regulação do consumo é essencial quando trabalhamos com exigências nutricionais e "nutrição de precisão".

Um dos fatores mais conhecidos e estudados que impactam no consumo voluntário dos suínos é o ambiente térmico. Temperaturas fora da zona de termoneutralidade, umidade relativa do ar e a taxa de ventilação têm tal importância para a determinação das exigências nutricionais dos suínos que serão estudadas de maneira separada no próximo item.

A densidade de alojamento também apresenta grande importância na determinação do consumo voluntário dos suínos. Suínos alojados em locais com espaçamento restrito apresentam reduções significativas no consumo de ração e no ganho de peso quando comparados aos animais alojados com espaçamento adequado (Edmonds et al., 1998; Gonyou & Stricklin, 1998). No entanto, a magnitude dessa redução varia entre os estudos encontrados na literatura e parece relacionada com outros fatores, como genética, peso vivo e tipo de alimentação (Nyachoti, et al., 2004). As características construtivas, referentes a altura, tipo de material e disposição das instalações, igualmente impactam na temperatura efetiva e têm efeitos diretos sobre o consumo dos animais (Whittemore & Ilias, 2006).

Fatores relacionados ao peso vivo, idade e estado de saúde do animal também têm importante efeito sobre o consumo de ração. Fatores estressantes ao animal como o reagrupamento e a mudança de ambiente, podem provocar redução no consumo de ração por algumas horas ou mesmo por dias, como nas situações pós-desmame (Kyriazakis & Emmans, 1999). Da mesma forma, animais acometidos por doenças gastrointestinais podem apresentar mudanças drásticas e súbitas no consumo de ração tentando compensar os nutrientes perdidos em quadros de diarreia. Por outro lado, em quadros de doenças respiratórias e muitas outras, o animal pode apresentar febre e apatia reduzindo drasticamente sua ingestão de alimentos, apesar de uma maior demanda nutricional para as atividades do sistema imune (Nyachoti, et al., 2004).

Outro aspecto de grande relevância quando estudamos o consumo voluntário diz respeito ao potencial genético do animal. Durante muitos anos o melhoramento genético dos suínos foi baseado na velocidade de ganho de peso e, com isso, eram selecionados animais com maior capacidade de consumo de alimento. No entanto, a mudança para uma seleção genética baseada no potencial para deposição de carne magra e na eficiência alimentar acabou selecionando animais com menor capacidade de consumo de alimento (Gu et al., 1991). Logo, se trabalhamos com animais com menor capacidade física de ingestão de alimentos e com demandas diferenciadas para suportar sua alta taxa de deposição de tecido magro, precisamos considerar todos estes aspectos durante a definição dos programas de alimentação.

Muitos destes fatores anteriormente descritos têm impactos sobre o controle hormonal dos suínos, e os hormônios por sua vez, controlam o comportamento alimentar. No que tange aos hormônios envolvidos na regulação podemos separá-los em dois grupos: a) hormônios com efeitos de estímulo do apetite (grelina, orexina e o neuropeptídeo Y) e b) hormônios com efeitos supressores do apetite (leptina e urocortina) (Nyachoti, et al., 2004).

Estes hormônios supracitados, normalmente estão envolvidos em diversos complexos fisiológicos no organismo do animal dificultando a definição exata da função de cada um.

Densidade de alojamento, capacidade de ingestão de alimentos, potencial genético e regulação hormonal impactam a regulação do consumo voluntário dos suínos, e, portanto, devem ser considerados nos programas alimentares. Uma alternativa simples e eficaz de considerar estes fatores na determinação das exigências dos suínos é trabalhar com a exigência expressa em gramas de consumo diário, ao invés de trabalhar com o percentual do nutriente da dieta.

2.3.2. Ambiente térmico

Durante muitas décadas se estudou o efeito das temperaturas sobre o comportamento alimentar e o desempenho geral dos suínos. No entanto, hoje se sabe que é fundamental estudar o ambiente térmico como um todo. O termo "ambiente térmico" se refere à temperatura ambiente efetiva que é aquela realmente sentida pelo suíno e que é o resultado da interação de vários fatores ambientais, incluindo temperatura e velocidade do ar, tipo de piso e outras características construtivas, taxa de ventilação, umidade relativa e de características de refletância das superfícies circundantes (Nyachoti, et al., 2004). O ambiente térmico impacta igualmente na capacidade do suíno em modificar seu ambiente térmico (seleção de microambientes na baia, amontoamento, e mesmo a umidificação da superfície corporal) e em regular o isolamento da pele, aumentando a vasoconstrição periférica ou aumentando o fluxo de sangue para os tecidos periféricos (Collin et al., 2001a).

A zona de temperatura considerada como termoneutra situa-se entre 18 e 21 °C para suínos em crescimento (Holmes & Close, 1977). Temperaturas abaixo (estresse por frio) ou acima dessa faixa (estresse por calor) têm influência no consumo voluntário e no desempenho dos suínos. A zona de termoneutralidade é definida como o intervalo de temperatura efetiva, na qual o calor da manutenção normal e das funções produtivas do animal compensa a perda de calor para o ambiente sem a necessidade de um aumento da taxa de produção de calor metabólico (NRC, 1998).

No Brasil, as temperaturas são elevadas na maior parte das regiões produtoras durante boa parte do ano, e mesmo quando frias, as temperaturas registradas não causam grandes problemas aos suínos em crescimento e terminação. De qualquer forma é importante salientar que em condições de temperaturas efetivas extremamente baixas, o consumo de ração pode aumentar substancialmente, embora haja piora na conversão alimentar e redução no ganho médio diário (Maenz et al., 1994). As elevadas temperaturas observadas na maior parte do ano na maioria das regiões do Brasil provocam inúmeras alterações no comportamento e no desempenho dos suínos. Quando as temperaturas ambientais aumentam, os suínos começam a ter reações comportamentais, como mudar frequentemente de postura, reduzir o contato com outros suínos, procuram maneiras de molhar a pele, bem como aumentam a vasodilatação (Giles et al., 1998). Os animais modificam seu comportamento alimentar diminuindo o tamanho das refeições, procuram se alimentar nas horas mais frescas do dia (início da manhã e a noite) e isso reduz o consumo

de alimentos (Collin et al., 2001b; Renaudeau, et al., 2011). Como efeito direto da redução do consumo de ração Renaudeau et al. (2001) observaram uma redução de 18 g/dia no ganho de peso para cada °C acima da temperatura crítica superior. Medidas como a redução do teor de proteína da dieta com a suplementação dos aminoácidos essenciais podem atenuar os efeitos do estresse por calor (Le Bellego et al., 2002).

Como dito anteriormente, a temperatura efetiva é o resultado das interações entre os fatores que compõem o ambiente térmico. A umidade relativa do ar pode ter efeitos sobre o consumo de ração e o ganho de peso, mas depende de fatores como a temperatura e a velocidade do ar. Os efeitos da alta umidade são mais pronunciados quando as temperaturas do ar estão elevadas comparadas a baixas temperaturas. A alta umidade do ar minimiza severamente a capacidade dos suínos em estresse por calor de dissipar o calor extra do corpo através de evaporação (Nyachoti, et al., 2004). Já, quando a taxa de ventilação está baixa, ocorre aumento dos níveis de dióxido de carbono e proliferação microbiana, que por sua vez impacta negativamente no consumo de ração e no ganho de peso (Massabie et al., 1997). Do mesmo modo, baixas ou insuficientes taxas de ventilação podem levar ao acúmulo de gases tóxicos, que também podem ter impacto negativo sobre o desempenho dos suínos (Whittemore, 1998).

Embora muito se conheça sobre os efeitos isolados dos fatores aqui discutidos sobre a regulação do consumo voluntário, pouco ou quase nada se sabe de suas interações e menos ainda há quantificações de seus impactos sobre o consumo e a demanda de nutrientes pelos suínos. Desta forma, trabalhar com dados obtidos em situações de produção semelhantes e mesmo caracterizar e analisar o padrão genético do animal, ambiente e os alimentos utilizados, parece ser a maneira mais coerente para prever as respostas de desempenho na suinocultura. Apesar de empregar o método empírico para determinar as exigências, as Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos publicadas por Rostagno et al. (2011) foram elaboradas a partir de experimentos realizados exclusivamente no Brasil e, portanto, conseguem ao menos em parte, representar os fatores supracitados.

2.4. Avaliação de lisina na produção de suínos

A lisina é considerada um aminoácido fisiologicamente essencial para manutenção, crescimento e produção de suínos e tem como principal função a síntese de proteína muscular. Ela é considerada essencial e deve ser obtida pela ingestão de proteína intacta do alimento ou de fontes sintéticas como a L-lisina HCl (NRC, 1998). Dada a sua importância na nutrição de suínos, um grande número de trabalhos avaliando as suas exigências podem ser encontrados na literatura. No entanto, os resultados obtidos e publicados por estes estudos apresentam grande variabilidade, o que dificulta a interpretação e o uso prático pelos nutricionistas.

Para diminuir a variabilidade nos resultados de exigências de lisina obtidos por meio de experimentos práticos, o NRC (2012) sugeriu que os seguintes critérios sejam adotados: a) utilização de uma dieta basal deficiente em lisina; b) dieta basal com níveis adequados dos demais nutrientes; c) uso de pelo menos quatro níveis crescentes de lisina; d) adequar a duração do

experimento aos critérios de resposta avaliados e; e) escolher um modelo estatístico adequado para descrever a resposta do animal ao fornecimento de lisina e determinar sua exigência. Convencionalmente, os modelos estatísticos mais utilizados para determinar exigências dos suínos frente ao aumento de concentração de um nutriente na dieta são os modelos linear-platô e curvilíneo-platô. No entanto, estes dois modelos apresentam diferenças conceituais que resultam em respostas de exigências maiores para o modelo curvilíneo-platô (Van Milgen & Dourmad, 2015).

Revisões sistemáticas que utilizam ferramentas meta-analíticas e princípios de modelagem para reunir resultados de exigências de lisina da literatura, em geral, conseguem obter respostas com maior aplicabilidade prática (Van Milgen & Dourmad, 2015). Neste tipo de trabalho é possível considerar uma gama maior de aspectos específicos de cada experimento que impactam na determinação das exigências e, portanto, as respostas obtidas podem ser aplicadas a todos os cenários produtivos com aspectos semelhantes aos considerados. Com base nos aspectos supracitados é que nesta tese foram obtidos dados de exigências de lisina a partir da literatura, considerando apenas trabalhos realizados no Brasil e empregando ferramentas meta-analíticas. Desta forma, espera-se obter respostas com maior aplicabilidade prática no cenário produtivo brasileiro.

2.4.1. Eficiência marginal de utilização da lisina

Um aspecto bastante relevante, sobretudo em tempos onde há maior preocupação com a preservação ambiental e menor margem de rentabilidade na produção, é a eficiência com que os nutrientes da dieta são utilizados pelo suíno para ganho (de peso ou proteína). A eficiência com que a lisina da dieta é utilizada para o ganho de peso ou deposição de proteína é calculada considerando a quantidade de lisina consumida via dieta e a concentração de lisina depositada na proteína ou que compõem o ganho de peso. Os valores calculados para a eficiência da lisina encontrados na literatura são bastante variados. Como exemplos dessa variabilidade, pode-se citar o trabalho de Batista et al. (2011) que encontraram eficiência da lisina de 42% para suínos em crescimento com pesos entre 30 e 60 kg. Para esta mesma faixa de peso, a eficiência de uso da lisina determinada pelo NRC (1998) foi de 55%. A nova versão do NRC (2012) indica que a eficiência de uso da lisina é maior e que ela varia com o peso dos suínos, sendo estimada em 68% para suínos com 20 kg de peso vivo e de 57% para animais de 120 kg.

A discrepância observada entre estes resultados pode ser explicada pela lei de rendimentos decrescentes. Quando níveis subótimos de lisina são fornecidos na dieta, a eficiência marginal com que ela é utilizada para a deposição de proteína é muito alta. No entanto, a partir da PD_{max} a eficiência marginal de uso da lisina passará a ser zero seguindo a lei de rendimentos decrescentes. A eficiência marginal é definida como o incremento na resposta de ganho para cada incremento de uma unidade na ingestão de lisina (Gahl et al., 1994).

Desta forma, quando as exigências de lisina são determinadas via experimento dose-resposta e o nível de exigência é considerado como aquele no qual se obtém a melhor resposta, as eficiências marginais de uso ficam

muito reduzidas. Enquanto a maioria dos modelos de determinação de exigências considera a eficiência marginal da lisina como fixa, o modelo de Gahl et al. (1994) mostra que na PDmax esta eficiência se aproxima de zero. Ou seja, a PDmax só é atingida com perdas importantes de AAd dietéticos. Estudos mostram que a oxidação de aminoácidos ocorre de forma crescente com o aumento na ingestão destes. A lisina, por exemplo, apresenta um aumento significativo na sua oxidação à medida que sua ingestão aumenta, contrastando alguns modelos que sugerem que quando o consumo de aminoácidos está abaixo da exigência sua oxidação é mínima e constante (Mnilk et al., 1996; Moehn et al., 2004). Esta queda da eficiência marginal de uso da lisina pode ser explicada em parte porque quando há maior ingestão diária de lisina, o animal tem uma ligeira queda na eficiência digestiva com que utiliza o aminoácido, porque os processos anabólicos são menos eficientes do que os catabólicos (Kuhi et al., 2009; 2011) e ainda porque pode estar havendo superalimentação,

2.5. Lei de rendimentos decrescentes

Os modelos convencionais de determinação de exigências preveem que em um dado peso/ idade/ grupo genético existe um limite máximo à deposição proteica, o que segue a lógica da biologia animal (Hauschild et al., 2010). Porém, é necessário considerar a lei de rendimentos decrescentes da eficiência do uso de AAd da dieta a medida que seu consumo aumenta. A resposta de rendimentos decrescentes pode ser definida conceitualmente como a redução no incremento de ganho quando incrementos iguais de nutrientes são adicionados à dieta perto do ponto de ganho máximo (Parks, 1970, 1982). Assim, modelos criados pelo método fatorial que consideram a PDmax, usualmente seguem uma resposta linear-platô em relação ao consumo de AAd, com a eficiência (inclinação da reta) obtida na parte linear do modelo imputada ao nível da PDmax (Hauschild et al., 2012). Assim, o máximo ganho com o máximo de eficiência é estimado, o que pode levar à subestimação da exigência dietética de AAd. Por outro lado, exigências de AAd obtidas a partir de experimentos dose-resposta, especialmente aqueles obtidos por modelos quadráticos, valorizam a PDmax em ponto já avançado no platô assintótico, onde a eficiência de conversão do AAd ingerido é baixa, o que pode levar à superestimação da exigência dietética de AAd (Pesti et al., 2009). Os modelos de crescimento de Gous et al. (1999) e de Green & Whittemore (2003) tentam definir a exigência de manutenção e a taxa de deposição proteica (DP), utilizados para estimar a exigência de aminoácidos digestíveis a partir da eficiência (k) de uso para as referidas funções, seguindo, portanto, a lógica do método fatorial acima descrito.

Gahl et al. (1994) criticaram o conceito sobre os ganhos nas respostas face ao aumento na ingestão de nutrientes serem constantes (parte linear do modelo linear-platô), e sugeriram que os retornos ao aumento na ingestão de nutrientes seriam decrescentes à medida que a resposta máxima se aproxima. Rendimentos decrescentes em resposta ao aumento na ingestão de nutrientes têm um evidente impacto econômico, uma vez que um decréscimo no ganho é observado para cada incremento no consumo, e este incremento passa a ser zero a partir do ponto de ganho máximo (Gahl et al.,

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 (Figura 1). Da mesma forma, o aumento de lisina na dieta reduz a eficiência de deposição de tecido proteico em suínos (Van Lunen & Cole, 1996; Moehn et al., 2000; De Lange et al., 2001).

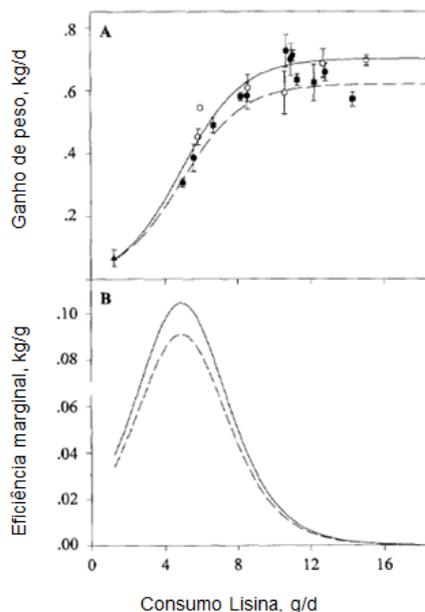


Figura 1. A: rendimentos decrescentes no ganho de peso (kg/dia) de suínos alimentados com concentrações graduadas de lisina. B: eficiência marginal do ganho de peso em relação ao consumo de lisina, sendo eficiência marginal definida como o incremento na resposta de ganho para cada incremento de uma unidade na ingestão. **Fonte:** adaptado de Gahl, et al. (1994).

Não há evidências, no entanto, de que um único indivíduo responda ao consumo de aminoácidos em uma forma linear-platô, e esta resposta pode se aproximar mais de curvas assintóticas, como a de cinética de saturação (Gahl et al., 1994). 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 et al., 1994). Nesta tese buscou-se explorar as relações da lisina digestível da dieta com o desempenho, estabelecer as exigências de lisina e demonstrar a existência e aplicabilidade da lei de rendimentos decrescentes da eficiência marginal de uso da lisina para suínos em crescimento e terminação avaliados em experimentos dose-resposta realizados no Brasil, utilizando ferramentas meta-analíticas.

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

Hipóteses

1. O consumo de lisina digestível é mais adequado que o percentual de lisina na dieta para estudar as respostas de suínos em crescimento e terminação.
2. Exigências estabelecidas via estudo meta-analítico representam uma maior diversidade experimental que respostas obtidas em um único experimento.
3. A eficiência marginal de utilização da lisina por suínos em crescimento e terminação varia de acordo com seu consumo.
4. À medida que o animal se aproxima ou atinge seu ponto máximo de desempenho, a eficiência com que responde ao acréscimo dietético de lisina diminui, o que pode ser observado através da lei de rendimentos decrescentes.

Objetivos

1. Explorar as relações do consumo de lisina digestível com o desempenho de suínos.
2. Estabelecer as exigências de lisina digestível para suínos em crescimento e terminação utilizando ferramentas meta-analíticas.
3. Demonstrar a variação nas relações de eficiência marginal da lisina para suínos em crescimento e terminação.
4. Obter curvas de rendimentos decrescentes, associando o acréscimo no consumo de lisina digestível com o acréscimo na resposta de ganho.

CAPÍTULO II³

³ Artigo a ser submetido à revista Pesquisa Agropecuária Brasileira

Estudo exploratório das relações da lisina digestível com o desempenho de suínos de 15-120 kg

Resumo- Este trabalho foi realizado para estudar e explorar, através de uma meta-análise, a relação entre a lisina digestível na dieta e o desempenho de suínos dos 15 aos 120 kg de peso vivo. Foram compilados 36 artigos publicados entre 2002 e 2013 que contemplaram 2399 suínos criados no Brasil, os quais foram agrupados por faixas de peso vivo inicial (15-30; 30-50; 50-70; 70-120 kg). A meta-análise foi realizada por análise gráfica, de correlação e de variância-covariância. O consumo diário de lisina digestível apresentou correlações em média 19 e 58% maiores com a ingestão de energia metabolizável e proteína bruta e 54 e 85% maiores com a deposição de proteína (DP) e a deposição de lipídios (DL), do que o nível percentual de lisina na dieta. O melhor ajuste nas equações de variância-covariância foi observado considerando o consumo diário de lisina e a eficiência alimentar dos suínos que impacta em 3% sobre esta resposta. O aumento em uma unidade na relação lisina/EM aumentou em 4,66 g/dia o ganho médio diário, 3,52 g/dia a DP e 7,10 g/dia a DL para suínos pesando entre 15 e 30 kg, por outro lado, a correlação foi negativa com a DL na fase de 70-120 kg. O consumo diário de lisina digestível mostra-se mais adequado do que o percentual de lisina para estudar as respostas dos suínos pesando entre 15 e 120 kg. Equações de predição da deposição de proteína devem considerar a eficiência alimentar dos suínos.

Termos para indexação: aminoácidos, deposição de proteína, meta-análise, *Sus scrofa*

Exploratory study the relationship between digestible and pig performance from 15 to 120 kg

Abstract- This paper was conducted to study, through meta-analysis, the relations between dietary lysine and performance of pigs from 15 to 120 kg live weight. Thirty-six articles published from 2002 to 2013 were compiled in which 2399 pigs were used. Data were grouped by initial body weight ranges (15-30, 30-50, 50-70, 70-120 kg). The meta-analysis was performed by graphical, correlation, and variance-covariance analysis. The daily intake of digestible lysine showed correlations on average 19 and 58% higher with metabolizable energy intake and crude protein and 54 and 85% higher with the protein deposition (PD) and the lipid deposition (LD), with the percentage level of lysine in the diet. The variance-covariance equations using the daily intake of lysine and feed efficiency of pigs which affects 3% on this answer, showed the best fit. Increasing one unit in the lysine/ME ratio led to increases of 4.66 g/day in the average daily gain, 3.52 g/day in PD, and 7.10 g/day in LD for pigs from 15 to 30 kg body weight, on the other hand, the correlation was negative with the LD from 70 to 120 kg. The daily intake of digestible lysine was more appropriate than the lysine percentage to study the responses of pigs from 15 to 120 kg. Prediction equations of protein deposition should consider the feed efficiency of pigs.

Index terms: amino acids, meta-analysis, protein deposition, *Sus scrofa*

Introdução

Qualquer redução de custos de ordem nutricional nas fases de crescimento e terminação representa um impacto importante na cadeia suinícola, pois cerca de 70% do rebanho de uma unidade produtiva está nessas fases. Além dos objetivos econômicos,

estão sendo valorizados outros critérios na produção animal como as exigências do consumidor pela qualidade da carne, bem-estar animal e preservação do meio ambiente (Dourmad & Jondreville, 2007). Em consequência, os programas de alimentação estão cada vez mais direcionados para uma “nutrição de precisão” que reduza custos e excreção de elementos poluidores, mantenha ou melhore as respostas zootécnicas e garanta a qualidade do produto final. Neste contexto, a correta determinação das exigências nutricionais para cada fase do crescimento dos suínos é essencial.

A lisina é considerada referência na avaliação nutricional de aminoácidos, pois é estritamente essencial, não sintetizada pelos suínos, sendo o primeiro aminoácido limitante em rações convencionais à base de milho e farelo de soja para esta espécie (NRC, 1998). Além disso, a lisina é determinante na deposição de carne magra na carcaça de suínos em crescimento devido à sua constância na proteína corporal e sua destinação metabólica preferencial para a deposição de tecido muscular (NRC, 1998).

As exigências nutricionais de lisina para suínos em condições brasileiras devem associar padrões genéticos, ambientais e alimentares, diferentes dos sistemas de produção mundialmente conhecidos. Assim, torna-se necessário compilar e explorar sistematicamente as informações sobre níveis de lisina publicadas com base em estudos dose-resposta realizados no Brasil. Nesse contexto, o uso da meta-análise permite explorar e integrar diferentes variáveis de artigos anteriormente publicados, gerar novos resultados e estabelecer respostas sistêmicas e ajustadas à diversidade experimental. Este trabalho foi realizado, portanto, com o objetivo de estudar e explorar, através de uma meta-análise, a relação entre a lisina digestível na dieta e o desempenho de suínos dos 15 aos 120 kg criados em condições brasileiras de produção.

Material e Métodos

A meta-análise foi desenvolvida no Laboratório de Ensino Zootécnico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em Porto Alegre, Brasil. Foram compilados 36 artigos publicados entre 2002 e 2013. Os critérios utilizados para a inclusão dos trabalhos na base foram: utilização de suínos machos castrados de alto potencial para deposição de carne magra, animais em crescimento e terminação (15-120 kg) e avaliação de níveis de lisina digestível em experimentos empíricos de dose-resposta realizados no Brasil.

Para a busca dos artigos que compõem o banco de dados utilizou-se as seguintes palavras-chave escritas em português, inglês, espanhol e francês em bases eletrônicas: lisina digestível, suínos em crescimento e terminação, experimentos empíricos e Brasil. Os artigos encontrados foram criteriosamente avaliados e somente aqueles que apresentaram todos os requisitos estabelecidos foram compilados. Foram incluídos apenas artigos indexados considerando o aceite para publicação como critério subjetivo de qualidade. Os artigos utilizados encontram-se publicados nos seguintes periódicos: *Acta Scientiarum Animal Sciences* (2); *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia* (2); *Brazilian Archives of Biology and Technology* (2); *Ciência Rural* (2); *Ciência Agrotécnica* (2); *Revista Brasileira de Zootecnia* (24) e; *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* (2), e podem ser observados na Tabela 1.

As informações foram coletadas nas seções do material e métodos e dos resultados de cada artigo e tabuladas em uma base elaborada em planilha de dados. As variáveis analisadas foram relativas às características experimentais (período experimental, inclusão da lisina nas dietas, e peso vivo inicial e final), à composição nutricional das dietas, ao consumo de nutrientes (proteína bruta, lisina digestível e

energia metabolizável) e ao desempenho (consumo de ração, ganho de peso (GMD), eficiência alimentar (EA), e deposições proteica (DP) e lipídica(DL)).

A base de dados contemplou 2399 suínos, agrupados em função de seu peso vivo inicial: 15 a 30 kg (1122 suínos); 30 a 50 kg (342 suínos); 50 a 70 kg (288 suínos) e; 70 a 120 kg (647 suínos). Na Tabela 2 encontra-se a composição nutricional média calculada das dietas utilizadas para cada faixa de peso vivo avaliado. As dietas foram baseadas em milho/farelo de soja com níveis nutricionais baseados nas recomendações de Rostagno et al. (1992; 2000; 2005 e 2011), NRC (1998) e Baker (1996).

Codificações foram utilizadas como variáveis moderadoras nas análises, com o objetivo de considerar a variabilidade dos estudos compilados (efeito do estudo, efeitos inter e intraestudos). A codificação geral do artigo (efeito do estudo) consistiu em um número sequencial específico atribuído para cada trabalho inserido na base. A codificação inter foi formada pela união da codificação geral e de números sequenciais, de maneira a atribuir um código específico para cada tratamento da base e a codificação intra, semelhante à utilizada para análise do efeito anterior, foi atribuída aos grupos com medidas repetidas. A metodologia para a definição das variáveis dependentes e independentes e a codificação dos dados seguiu as proposições descritas na literatura (Lovatto et al., 2007; Sauvant et al., 2008). A meta-análise seguiu três análises sequenciais: gráfica, para observar a distribuição, coerência biológica e heterogeneidade dos dados; correlação, para identificar os fatores relacionados na base de dados e; variância-covariância, para obter as equações de predição. Para as análises de variância-covariância foram usados os fatores com coeficientes de correlação mais elevados e as codificações para os efeitos inter ou intra-estudos (Lovatto et al., 2007). As equações de regressão foram obtidas por meio de análise de variância-covariância pelo procedimento

GLM, sendo que, apenas equações (lineares ou quadráticas) com componentes significativos ($P < 0,05$) são consideradas e apresentadas neste artigo. Todas as análises foram realizadas através do programa Minitab 16 (2010). A relação lisina/energia metabolizável das dietas foi estabelecida considerando a ingestão de lisina (g/dia) e a ingestão de EM (kcal/dia).

Resultados e Discussão

O nível de lisina digestível na dieta (%) apresentou correlação negativa ($P < 0,05$) com a ingestão de energia metabolizável (EM) para animais pesando entre 30 e 50 kg e entre 70 e 120 kg (Tabela 3). Este resultado pode ser explicado por características metodológicas adotadas nos experimentos empíricos de dose-resposta, quando se formula uma dieta padrão com níveis adequados de energia e demais nutrientes e somente os níveis do aminoácido testado é que variam. No entanto, sabe-se que a síntese proteica pode ser limitada por outros aminoácidos essenciais deficientes, mesmo quando os níveis de lisina estão adequados (Le Bellego, et al., 2002), sendo necessário também o ajuste dos demais aminoácidos essenciais nas dietas testes. Em nosso estudo, 71% dos artigos adotaram como metodologia manter adequados os níveis dos principais aminoácidos essenciais (metionina + cistina, treonina e triptofano) e variar apenas o nível de lisina na dieta. Além disso, a correlação entre o nível de lisina e a ingestão de proteína bruta (PB) foi significativa ($P < 0,05$) apenas para suínos pesando entre 50 e 70 kg de peso vivo, indicando que a elevação dos níveis de PB na dieta para satisfazer as exigências dos demais aminoácidos não parece ser a estratégia adotada nos artigos. Em condições produtivas, rações desbalanceadas ou com excesso de aminoácidos representam uma fonte onerosa de energia metabolizável e um problema ambiental,

devido à excessiva excreção de nitrogênio nos dejetos dos suínos (Zangeronimo et al., 2006). Neste estudo, 79% dos experimentos utilizaram L-Lisina-HCl em suas dietas, o que possibilita reduzir os níveis de PB da dieta quando comparadas àquelas em que o nível de lisina foi obtido apenas considerando o conteúdo proveniente dos macroingredientes. No entanto, em boa parte dos estudos que compuseram nossa base (38%), as dietas testadas não foram isoproteicas o que justifica a correlação positiva ($P < 0,05$) entre o nível de lisina da dieta e o consumo de PB para animais entre 50 e 70 kg de peso vivo.

O consumo de lisina digestível (g/dia) apresentou correlações superiores em relação às correlações com os níveis (%) de lisina da dieta, com a EM (19% maior) e com a PB (58% maior) considerando todas as faixas de peso vivo avaliadas. Já a relação lisina/EM não apresentou correlação significativa ($P > 0,05$) com a ingestão de PB em nenhuma das fases avaliadas. Em 59% dos artigos compilados as dietas com maior relação lisina/EM apresentaram menores teores de PB em virtude da inclusão de aminoácidos sintéticos. O ajuste da relação lisina/EM é essencial para que haja energia e aminoácidos disponíveis em quantidades adequadas para que a síntese proteica ocorra. A taxa de crescimento do tecido magro dos suínos é influenciada pelo consumo de energia. De acordo com Schinckel & Einstein (2000), 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 de músculos é atingido, a energia excedente promove a deposição de gordura na carcaça (Gattás et al., 2012). Desse modo, a deposição de tecido magro promovida pelo consumo de energia é obtida de forma eficiente somente se o aporte de aminoácidos permitir a expressão genética do animal e vice-versa.

Foram observadas correlações negativas entre o nível de lisina testado e a deposição de proteína (DP) na carcaça dos suínos com pesos entre 30 e 50 kg ($P < 0,05$) (Tabela 4) e entre o consumo de lisina e a DP dos suínos pesando entre 50 e 70 kg. Apesar de significativas ($P < 0,05$) estas correlações encontradas foram baixas (-0,337 e -0,371, respectivamente) e a relação entre as variáveis não se confirmou nas equações testadas quando o efeito do estudo foi considerado na análise. Também foram observadas correlações negativas entre o nível de lisina testado e a deposição de lipídios (DL) para os suínos pesando entre 30 e 50 kg ($P < 0,05$) e 70 e 120 kg ($P < 0,01$). O aumento nos níveis de lisina na dieta (%) de 0,63 para 1,23 e de 0,42 para 1,14 provocou reduções de 92,8 e 90,6 g/dia na deposição de lipídios nos referidos pesos. Mesmo com pesos elevados os suínos possuem potencial para considerável deposição de proteína, mas suplementação adequada de lisina se faz necessária para que os nutrientes da dieta não sejam destinados para deposição de lipídios (Abreu et al., 2007). Tais resultados são o efeito da seleção de suínos para altas taxas de deposição de carne magra, o que resultou em linhagens modernas com alto potencial de deposição proteica mesmo a pesos elevados (Arouca et al., 2007; Santos et al., 2011).

O consumo diário de lisina (g/d) apresentou correlações em média 54 e 85% maiores com a DP e a DL, respectivamente, do que os níveis (%) de lisina. Segundo Boisen (2003) e NRC (2012), fatores como a taxa de deposição de carne magra e a eficiência com que esta deposição ocorre, o apetite ou potencial de ingestão de alimento inerente a cada animal são determinantes diretos da exigência de lisina por um suíno. Sendo assim, as exigências dos nutrientes deveriam ser expressas na base de gramas ingeridas por dia para otimizar o desempenho e a qualidade de carcaça (Arouca et al., 2007).

O aumento em uma unidade na relação lisina/EM (g/kcal) provocou aumentos de 4,66 g/dia no GMD ($P<0,05$), 3,52 g/dia na DP ($P<0,001$) e 7,10 g/dia na DL ($P<0,05$) para suínos na fase entre 15 e 30 kg de peso vivo. Nesta fase inicial do crescimento, onde o animal tem menor capacidade física de ingestão de alimento, o excesso de energia metabolizável em detrimento dos níveis de lisina pode dificultar o consumo de quantidades adequadas de lisina para a síntese proteica (Gonçalves et al., 2015). Já na fase de terminação (70-120 kg), houve correlação negativa ($P<0,01$) entre a relação lisina/EM e a deposição de lipídios. Isto demonstra o potencial para deposição de proteína dos suínos de linhagens comerciais, mesmo a pesos elevados, em detrimento da deposição de lipídios, se lhes for assegurada quantidade adequada de lisina em relação à EM ingerida (Arouca et al., 2007; Gandra, 2012). A fim de alcançar o máximo de crescimento de tecido magro e o mínimo de deposição de gordura, as dietas devem ser formuladas com adequada quantidade de proteína bruta e aminoácidos e apropriada relação destes nutrientes com a energia da dieta (Zhang et al., 2011).

As equações que melhor explicaram as respostas de GMD e DP dos suínos com pesos entre 15 e 120 kg foram aquelas que consideraram o consumo diário de lisina (cLis) e não o percentual de lisina na dieta (Figuras 1 e 2). Estes resultados já eram esperados uma vez que as maiores correlações observadas foram entre as variáveis de desempenho e cLis. Este efeito está relacionado às características inerentes ao animal como o apetite e ao potencial de ingestão de alimento de cada suíno (Boisen, 2003). Fatores como a composição das dietas, a genética dos animais, os sistemas de alojamento e as temperaturas ambientais podem impactar no comportamento alimentar dos suínos (Nyachoti et al., 2004; Renaudeau et al., 2011), que por sua vez terão reflexos sobre as exigências do animal (Arouca et al., 2007). Diante de tal constatação,

determinar equações ajustadas à realidade produtiva brasileira e capazes de prever o desempenho dos suínos, é essencial para os avanços necessários na cadeia suinícola. De forma prática, na fase inicial do crescimento (15-30 kg) as equações foram lineares indicando que com maiores níveis de consumo de lisina, do que aqueles estudados em nossa base de dados, melhores respostas de GMD e DP poderiam ser observadas.

Em fases mais avançadas do crescimento (50-70 kg), a DP foi influenciada não só pela ingestão diária de lisina, mas pela covariável eficiência alimentar (EA). Na fase entre 50 e 70 kg, a EA foi responsável por 3% da DP. A EA está relacionada ao potencial de crescimento dos suínos que, mesmo em grupos genéticos homogêneos, apresentam respostas de desempenho distintas. Estas variações na EA resultam em diferenças nas exigências nutricionais dos suínos, os quais podem ser agrupados em desempenho regular, médio e superior (Rostagno et al., 2011) e receber diferentes níveis nutricionais para atender suas exigências e otimizar suas respostas. Em nosso estudo, a equação que estima a DP dos 50 aos 70 kg foi quadrática e está de acordo com o descrito por Ellis (1998), indicando que o crescimento de tecido magro segue o modelo curvilíneo do ganho de peso dos suínos. Independentemente da EA, o nível de máxima DP foi estimado para o consumo de 23,6 g/dia de lisina. Em termos absolutos, 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 (Schinckel & Einstein, 2000). Por outro lado, dos 70 aos 120 kg de peso vivo, o GMD foi maximizado no consumo de 28 g/dia de lisina.

A exigência de lisina para suínos em crescimento e terminação é dependente de fatores intrínsecos ao animal, sobretudo características genéticas, mas também é influenciada por componentes da dieta e pelas condições de alojamento. Ao utilizar

recomendações nutricionais disponíveis em tabelas internacionais, tais fatores poderiam estar sendo negligenciados. Em nosso estudo, a realização de uma meta-análise composta apenas por trabalhos realizados no Brasil, com a maioria (64%) baseada em tabelas de recomendações nacionais, permite melhor estudar e explorar os dados e obter respostas sistêmicas e adequadas as nossas reais condições produtivas.

Conclusões

1. O consumo diário de lisina mostra-se mais adequado do que os níveis percentuais de lisina na dieta para estudar as respostas de suínos com pesos entre 15 e 120 kg.
2. Adequar a relação lisina/EM, em dietas práticas para suínos de diferentes pesos vivos, é essencial para as respostas de deposição de proteína.
3. Equações para prever a deposição de proteína na carcaça devem considerar além da lisina, medidas representativas do potencial genético do animal como a eficiência alimentar.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil), e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes, Brasil).

Referências

ABREU, M.L.T., DONZELE, J.L., OLIVEIRA, R.F.M., OLIVEIRA, A.L.S., SANTOS, F.A., PEREIRA, A.A. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-

se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 60 aos 95 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 54-61, 2007.

AROUCA, C.L., FONTES, D.O., BAIÃO, N.C., SILVA, M.A., SILVA, F.C.O. Níveis de lisina para suínos machos castrados selecionados geneticamente para deposição de carne magra na carcaça, dos 95 aos 122 kg. **Ciência Agrotécnica**, v. 31, p. 531-539, 2007.

BAKER, D.H. Advances in amino acid nutrition and metabolism of swine and poultry. In: KORNEGAY, E.T. (Ed.) **Nutrient management of food animals to enhance and protect the environment**. Boca Raton: CRC – Lewis, 41-53. 1996.

BOISEN, S. Ideal dietary amino acid profiles for pigs In: D'MELLO, J.P.F. (Ed.) **Amino acids in animal nutrition**. 2.ed. Edinburgh: CABI Publishing, 2003. p. 157-168.

DOURMAD, J.Y., JONDREVILLE, C. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. **Livestock Science**, v.112, p.192-198, 2007.

ELLIS, M. Efeitos do melhoramento genético, sexo, regime alimentar e peso de abate sobre o rendimento de carne magra na carcaça. In: SIMPÓSIO SOBRE RENDIMENTO E QUALIDADE DA CARNE MAGRA SUÍNA, 1., 1998, Concórdia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 52-79, 1998.

GANDRA, E.R.S. **Relação lisina digestível: energia metabolizável em dietas para suínos dos 50 aos 100 kg de peso corporal**. 2012. 74f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Campus de Botucatu.

- GATTÁS, G., SILVA, F.C.O., BARBOSA, F.F., DONZELE, J.L., FERREIRA, A.S., OLIVEIRA, R.F.M. Níveis de lisina digestível em dietas para suínos machos castrados dos 60 aos 100 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 91-97, 2012.
- GONÇALVES, L.M.P., KIEFER, C., SOUZA, K.M.R., MARÇAL, D.A., ABREU, R.C., SILVA, A.M.P.S., ALENCAR, S.A.S. Níveis de energia líquida para suínos machos castrados em terminação. **Ciência Rural**, v. 45, p. 464-469, 2015.
- LE BELLEGO, L., VAN MILGEN, J., NOBLET, J. Effect of high temperature and low-protein diets on performance of growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 80, p. 691-701, 2002.
- LOVATTO, P.A., LEHNEN, C.R., ANDRETTA, I., CARVALHO, A.D., HAUSCHILD, L. Meta-análise em pesquisas científicas - enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 285-294, 2007.
- MINITAB. **User's guide meet Minitab 16**. 2010. Stat College. 2010.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. 10 ed. Washington: National academy. 1998, 189p.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. 11 ed. Washington: National academy. 2012, 424p.
- NYACHOTI, C.M., ZIJLSTRA, R.T., DE LANGE, C.F.M., PATIENCE, J.F. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. **Canadian Journal Animal Science**, v. 84, p. 549-566, 2004.

- RENAUDEAU, D.; GOURDINE, J.L.; ST-PIERRE, N.R. 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 89, p. 2220-2230, 2011.
- ROSTAGNO, H.S., SILVA, D.J., COSTA, P.M.A., FONSECA, J.B., SOARES, P.R., PEREIRA, J.A.A., SILVA, M.A. **Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos: tabelas brasileiras**. Viçosa: UFV, 1992. 50p.
- ROSTAGNO H.S., ALBINO L.F.T., DONZELE J.L., GOMES P.C., FERREIRA A.S., OLIVEIRA R.F., LOPES D.C. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. Viçosa, 1º Ed., 2000. 141 p.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., OLIVEIRA, R.F., LOPES, D.C., FERREIRA, A.S., BARRETO, S.L.T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. Viçosa, 2º Ed., 2005. 186p.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., OLIVEIRA, R.F., LOPES, D.C., FERREIRA, A.S., BARRETO, S.L.T., EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. Viçosa, 3º Ed., 2011. 186p.
- SANTOS, F.A., DONZELE, J.L., SILVA, F.C.O., OLIVEIRA, R.F.M., ABREU, M.L.T., SARAIVA, A., HAESE, D., LIMA, A.L. Níveis de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético dos 95 aos 125 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1038-1044, 2011.
- SAUVANT, D., SCHMIDELY, P., DAUDIN, J.J., ST-PIERRE, N.R. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. **Animal**, v. 8, p. 1203-1214, 2008.
- SCHINCKEL, A.P.; EINSTEIN, M.E., 2000. **Concepts of pig growth and composition**. Disponível em:

<<http://www.ansc.purdue.edu/swine/porkpage/growth/pubs/aps95-5.htm>> Acesso em: 10/06/2015.

ZANGERONIMO, M.G., FIALHO, E.T., LIMA, J.A.F., RODRIGUES, P.B., MURGAS, L.D.S. Redução do nível de proteína bruta da ração com suplementação de aminoácidos sintéticos para leitões na fase inicial. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 849-856, 2006.

ZHANG, G.J., YI, X.W., CHU, L.C., LU, N., HTOO, J., QUIAO, S.Y. Effects of dietary net energy density and standardized ileal digestible lysine: net energy ratio on the performance and carcass characteristic of growing-finishing pigs fed low crude protein supplemented with crystalline amino acids diets. **Agricultural Sciences in China**, v. 10, p. 602 - 610, 2011.

Tabela 1. Descrição dos artigos utilizados na base.

Autores ¹	n suínos	Peso médio, kg	Lisina, % ²
1	40	22,52	0,90-1,20
2	40	44,41	0,80-1,10
3	40	76,84	0,70-1,00
4	25	103,98	0,68-1,08
5	40	107,48	0,44-0,79
6	50	107,29	0,44-0,79
7	50	107,65	0,44-0,79
8	140	44,76	0,83-1,23
9	36	92,63	0,69-0,86
10	36	91,70	0,69-0,86
11	64	22,58	0,70-1,23
12	60	22,11	0,85
13	50	44,48	0,79
14	60	22,23	0,85
15	32	32,19	0,66-1,06
16	300	43,11	0,65-1,05
17	60	21,39	0,67-0,83
18	36	21,41	0,93
19	36	44,94	0,83
20	60	108,15	0,88
21	20	108,13	0,67-0,87
22	32	65,70	0,53-0,92
23	32	59,08	0,53-1,06
24	50	22,69	0,75-1,10
25	48	117,11	0,42-0,82
26	60	102,08	0,42-0,82
27	44	23,48	0,96-1,02
28	50	22,05	0,80-1,20
29	50	44,96	0,70-1,10
30	40	77,48	0,75-0,84
31	80	109,11	0,54-0,95
32	60	23,23	0,67-0,83
33	35	103,73	0,66-1,14
34	48	63,05	0,80-0,90
35	40	35,28	0,70-1,30
36	32	35,63	1,03-1,39

¹ Referências completas em material suplementar. ² Níveis (%) de lisina digestível mínimos e máximos testados nas dietas.

Tabela 2. Composição nutricional média calculada das dietas para suínos em diferentes faixas de peso.

	15-30kg	DP	30-50kg	DP	50-70kg	DP	70-120kg	DP
<i>n</i>	83		47		36		69	
Energia digestível, kcal/kg	3.429	49,9	3.376	34,4	3.365	24,7	3.370	17,5
Energia metabolizável, kcal/kg	3.264	63,4	3.213	28,4	3.212	64,0	3.217	34,8
Proteína bruta, g/kg	170,35	27,6	151,65	24,2	132,20	27,1	145,98	16,8
Lisina digestível, g/kg	9,22	1,73	8,98	1,51	7,56	1,36	7,40	1,64
Lis/EM ¹	2,92	0,58	2,74	0,43	2,60	0,57	2,31	0,53
Metionina+Cistina digestível, g/kg	5,27	1,09	5,52	0,96	4,87	0,96	4,50	1,23
Treonina digestível, g/kg	6,18	0,86	6,01	1,02	5,33	0,91	4,97	1,30
Cálcio, %	0,74	0,08	0,73	0,08	0,73	0,05	0,64	0,10
Fósforo disponível, %	0,37	0,06	0,34	0,01	0,31	0,01	0,29	0,03

¹ Lis/EM: consumo de lisina/consumo de energia metabolizável; DP: desvio padrão.

Tabela 3. Correlações e equações entre ingestão de nutrientes com nível e consumo de lisina digestível e relação lisina/energia metabolizável (EM) por suínos dos 15 aos 120 kg de PV.

	Consumo de EM, kcal/kg		Consumo de Proteína bruta, g/dia	
	Correlação	Equação	Correlação	Equação
15-30kg				
Lis, %	-0,052 ^{ns}	-	0,036 ^{ns}	-
cLis, g/d	0,750 ^{***}	-	0,592 ^{**}	Y=152,4+7,0x; R ² =84,5
Lis/EM	-	-	0,070 ^{ns}	-
30-50kg				
Lis, %	-0,415 [*]	-	0,247 ^{ns}	-
cLis, g/d	0,267 ^{ns}	-	0,345 [*]	Y=272,1+3,5x; R ² =38,3
Lis/EM	-	-	0,102 ^{ns}	-
50-70kg				
Lis, %	0,160 ^{ns}	-	0,345 [*]	Y=379,9+70,3x; R ² =83,7
cLis, g/d	0,535 ^{***}	Y=7489,9+90,6x; R ² =27,0	0,499 ^{**}	-
Lis/EM	-	-	0,019 ^{ns}	-
70-120kg				
Lis, %	-0,441 ^{***}	Y=11367,1-1275,6x; R ² =76,8	0,103 ^{ns}	-
cLis, g/d	0,080 ^{ns}	-	0,449 ^{***}	-
Lis/EM	-	-	0,150 ^{ns}	-

^{ns} não significativo; *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001; R²: coeficiente de determinação.

Tabela 4. Correlações e equações entre o desempenho de suínos dos 15 aos 120 kg de PV com nível e consumo de lisina digestível e relação lisina/energia metabolizável (EM).

	Ganho médio diário, g/dia		Deposição Proteica, g/dia		Deposição Lipídica, g/dia	
	Correlação	Equação	Correlação	Equação	Correlação	Equação
15-30kg						
Lis, %	0,163 ^{ns}	-	0,138 ^{ns}	-	0,027 ^{ns}	-
cLis, g/d	0,758***	Y=557,1+12,00x; R ² =83,1	0,764***	-	0,745***	Y=120,9+1,4x; R ² =90,9
Lis/EM	0,257*	-	0,378***	Y=86,4+3,5x; R ² =94,5	0,241*	Y=159,7-7,1x; R ² =90,9
30-50kg						
Lis, %	-0,166 ^{ns}	-	-0,337*	-	-0,374*	Y=307,5-92,8x; R ² =79,4
cLis, g/d	0,252 ^{ns}	-	-0,085 ^{ns}	-	0,244 ^{ns}	-
Lis/EM	-0,034 ^{ns}	-	0,050 ^{ns}	-	-0,095 ^{ns}	-
50-70kg						
Lis, %	0,276 ^{ns}	-	-0,271 ^{ns}	-	0,118 ^{ns}	-
cLis, g/d	0,450**	-	-0,371*	-	0,454**	Y=279,7+6,2x; R ² =18,3
Lis/EM	0,192 ^{ns}	-	-0,107 ^{ns}	-	0,081 ^{ns}	-
70-120kg						
Lis, %	0,159 ^{ns}	-	0,211 ^{ns}	-	-0,388**	Y=513,1-90,6x; R ² =74,9
cLis, g/d	0,473***	Y=908,7+6,6x; R ² =84,3	0,089 ^{ns}	-	0,125 ^{ns}	-
Lis/EM	0,203 ^{ns}	-	0,210 ^{ns}	-	-0,345**	-

^{ns}não significativo; *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001 ; R²: coeficiente de determinação.

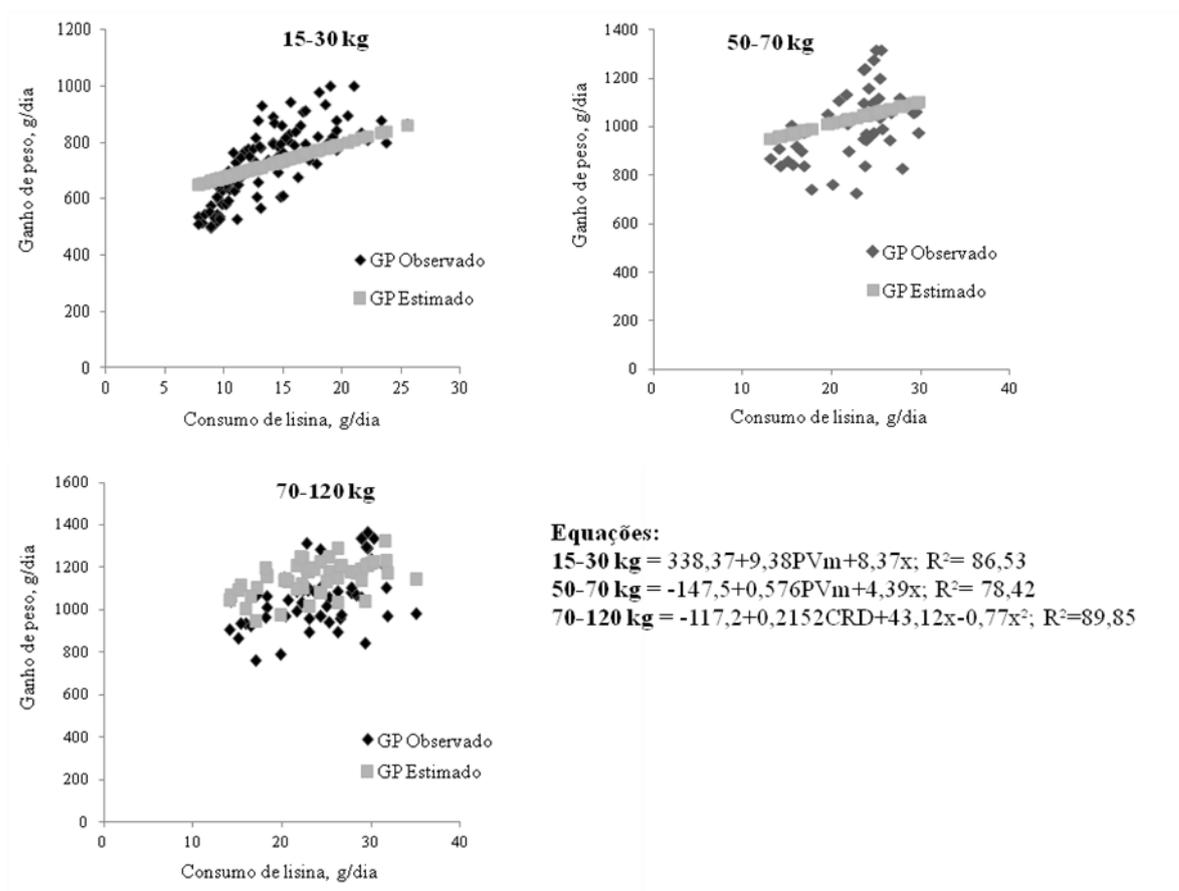
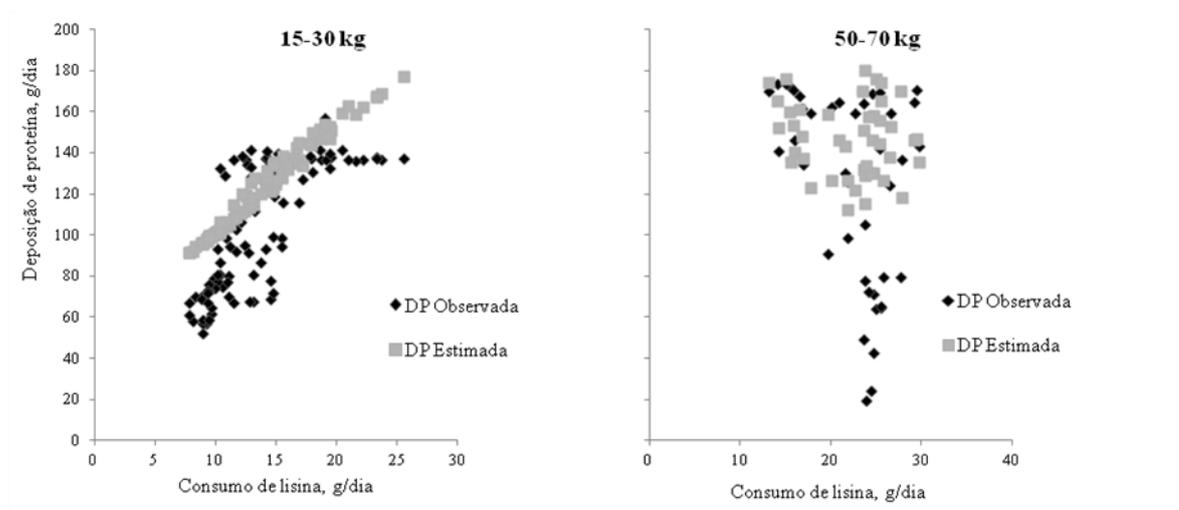


Figura 1. Ganhos de peso observados e estimados por equações de regressão em função do consumo diário de lisina digestível.

CRD: consumo diário de ração; GP: ganho de peso médio diário; PVM: peso vivo médio; R^2 : coeficiente de determinação.

**Equações:**

$$15-30 \text{ kg} = 44,50 + 0,576\text{PVM} + 4,39x; R^2=95,19$$

$$50-70 \text{ kg} = 144,91 + 10,10\text{EA} - 0,33x + 0,007x^2; R^2=86,92$$

Figura 2. Deposições de proteína observadas e estimadas por equações de regressão em função do consumo diário de lisina digestível.

DP: deposição de proteína; EA: eficiência alimentar; PVM: peso vivo médio; R²: coeficiente de determinação.

Material suplementar: Lista de referências utilizadas para compor a base de dados do estudo meta-analítico

- 1- Abreu, M.L.T., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Oliveira, A.L.S., Silva, F.C.O., Moita, A.M.S., 2006. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético dos 15 aos 30 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 35, 1039-1046.
- 2- Abreu, M.L.T., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Oliveira, A.L.S., Haese, D., Pereira, A.A., 2007a. 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**, 36, 62-67.
- 3- Abreu, M.L.T., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Oliveira, A.L.S., Santos, F.A., Pereira, A.A., 2007b. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 60 aos 95 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36, 54-61.
- 4- Almeida, E.C., Fialho, E.T., Rodrigues, P.B., Zangeronimo, M.G., Lima, J.A.F., Fontes, D.O., 2010. Ractopamine and lysine levels on performance and carcass characteristics of finishing pigs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 39, 1961-1968.
- 5- Arouca, C.L.C., Fontes, D.O., Ferreira, W.M., Silva, M.A., Pereira, F.A., 2004. Exigências de lisina, com base no conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados, de 95 a 122 kg, selecionados para deposição de carne magra. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 56, 773-781.
- 6- Arouca, C.L.C., Fontes, D.O., Veloso, J.A.F., Moreira, H.F.V., Marinho, P.C., 2005. Exigências de lisina, com base no conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados dos 96 aos 120 kg, selecionados para eficiência de crescimento. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 57, 104-111.
- 7- Arouca, C.L., Fontes, D.O., Baião, N.C., Silva, M.A., Silva, F.C.O., 2007. Níveis de lisina para suínos machos castrados selecionados Geneticamente para deposição de carne magra Na carcaça, dos 95 aos 122 kg. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, 31, 531-539.
- 8- Batista, R.M., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Oliveira, W.P., Lima, A.L., Abreu, M.T.L., 2011. Lisina digestível para suínos machos castrados de alta deposição de carne submetidos a estresse por calor dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 40, 1925-1932.
- 9- Cantarelli, V.S., Fialho, E.T., Almeida, E.C., Zangeronimo, M.G., Rodrigues, P.B., Rilke reitas, T.F., 2009a. Ractopamine for finishing barrows fed restricted or ad libitum diets: performance and nitrogen balance. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 38, 2375-2382.
- 10- Cantarelli, V.S., Fialho, E.T., Almeida, E.C., Zangeronimo, M.G., Amaral, N.O., Lima, J.A.F., 2009b. Características da carcaça e viabilidade econômica do uso de cloridrato de ractopamina para suínos em terminação com alimentação à vontade ou restrita. **Ciência Rural**, Santa Maria, 39, 844-851.
- 11- Fraga, A.L., Moreira, I., Furlan, A.C., Bastos, A.O., Oliveira, R.P., Murakami, A.E., 2008. Lysine Requirement of Starting Barrows from Two Genetic Groups Fed

- on Low Crude Protein Diets. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 51, 49-56.
- 12- Ferreira, R.A., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Lopes, D.C., Orlando, U.A.D., Resende, W.O., Vaz, R.G.M.V., 2003. Redução da Proteína Bruta da Ração para Suínos Machos Castrados dos 15 aos 30 kg Mantidos em Termoneutralidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 32, 1639-1646.
 - 13- Ferreira, R.A., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Araújo, C.V., Silva, F.C.O., Fontes, D.O., Saraiva, E.P., 2005. Redução do Nível de Proteína Bruta e Suplementação de Aminoácidos em Rações para Suínos Machos Castrados Mantidos em Ambiente Termoneutro dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 34, 548-556.
 - 14- Ferreira, R.A., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Araújo, C.V., Silva, F.C.O., Vaz, R.G.M.V., Rezende, W.O., 2006. Redução da proteína bruta da ração e suplementação de aminoácidos para suínos machos castrados dos 15 aos 30 kg mantidos em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 35, 1056-1062.
 - 15- Gasparotto, L.F., Moreira, I., Furlan, A.C., Martins, E.N., Júnior, M.M., 2001. Exigência de Lisina, com Base no Conceito de Proteína Ideal, para Suínos Machos Castrados de Dois Grupos Genéticos, na Fase de Crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 30, 1742-1749.
 - 16- Gattás, G., Silva, F.C.O., Barbosa, F.F., Donzele, J.L., Ferreira, A.S., Oliveira, R.F.M., 2012. Níveis de lisina digestível em dietas para suínos machos castrados dos 60 aos 100 dias de idade **Revista Brasileira de Zootecnia**, 41, 91-97.
 - 17- Hannas, M.I., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Ferreira, A.S., Lopes, D.C., Soares, J.L., Moretti, A.M., 2000. Proteína Bruta para Suínos Machos Castrados Mantidos em Ambiente de Conforto Térmico dos 15 aos 30 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 29, 476-484.
 - 18- Manno, M.C., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Ferreira, A.S., Oliveira, W.P., Lima, K.R.S., Vaz, R.G.M.V., 2005. Efeito da Temperatura Ambiente sobre o Desempenho de Suínos dos 15 aos 30 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 34, 1963-1970.
 - 19- Manno, M.C., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Oliveira, W.P., Vaz, R.G.M.V., Silva, B.A.N., Saraiva, E.P., Lima, K.R.S., 2006. Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 35, 471-477.
 - 20- Marinho, P.C., Fontes, D.O., Silva, F.C.O., Silva, M.A., Pereira, F.A., Arouca, C.L.C., 2007a. Efeito da ractopamina e de métodos de formulação de dietas sobre o desempenho e as características de carcaça de suínos machos castrados em terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36, 1061-1068.
 - 21- Marinho, P.C., Fontes, D.O., Silva, F.C.O., Silva, M.A., Pereira, F.A., Arouca, C.L.C., 2007b. Efeito dos níveis de lisina digestível e da ractopamina sobre o desempenho e as características de carcaça de suínos machos castrados em terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36, 1791-1798.
 - 22- Moreira, I., Gasparotto, L.F., Furlan, A.C., Patrício, V.M.I., Oliveira, G.C., 2002. Exigência de Lisina para Machos Castrados de Dois Grupos Genéticos de Suínos na Fase de Terminação, com Base no Conceito de Proteína Ideal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 31, 96-103.

- 23- Moreira, I., Kutschenko, M., Furlan, A.C., Murakami, A.E., Martins, E.N., Scapinello, C., 2004. Exigência de lisina para suínos em crescimento e terminação, alimentados com rações de baixo teor de proteína, formuladas de acordo com o conceito de proteína ideal. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, 26, 537-542.
- 24- Moretto, V., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Fontes, D.O., 2000. Níveis Dietéticos de Lisina para Suínos da Raça Landrace dos 15 aos 30 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 29, 803-809.
- 25- Oliveira, A.L.S., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Ferreira, A.S., Moita, A.M.S., Generoso, R.A.R., 2003a. Lisina em Rações para Suínos Machos Castrados Selecionados para Deposição de Carne Magra na Carcaça dos 110 aos 125 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 32, 150-155.
- 26- Oliveira, A.L.S., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Lopes, D.C., Moita, A.M.S., Silva, F.C.O., Freitas, L.S., 2003b. Lisina em Rações para Suínos Machos Castrados Selecionados para Deposição de Carne Magra na Carcaça dos 95 aos 110 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 32, 337-343.
- 27- Oliveira, G.C., Moreira, I., Fraga, A.L., Kutschenko, M., Sartori, I.M., 2005. Metabolizable Energy Requirement for Starting Barrow Pigs (15 to 30 kg) Fed on the Ideal Protein Concept Based Diets. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 48, 729-737.
- 28- Oliveira, A.L.S., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Abreu, M.L.T., Ferreira, A.S., Silva, F.C.O., Haese, D., 2006. Exigência de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 15 aos 30 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 35, 2338-2343.
- 29- Oliveira, A.L.S., Donzele, J.L., Abreu, M.L.T., Silva, F.C.O., Oliveira, R.F.M., Ferreira, A.S., Santos, F.A., 2009. Exigência de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 10, 106-114.
- 30- Rezende, W.O., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Abreu, M.L.T., Ferreira, A.S., Silva, F.C.O., Apolônio, L.R., 2006. Níveis de energia metabolizável mantendo a relação lisina digestível:caloria em rações para suínos machos castrados em terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 35, 1101-1106.
- 31- Santos, F.A., Donzele, J.L., Silva, F.C.O., Oliveira, R.F.M., Abreu, M.L.T., Saraiva, A., Haese, D., Lima, A.L., 2011. Níveis de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético dos 95 aos 125 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 40, 1038-1044.
- 32- Saraiva, E.P., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Ferreira, A.S., Ferreira, R.A., Rezende, W.O., Orlando, U.A.D., Vaz, R.G.M.V., 2003. Níveis de Proteína Bruta em Rações para Suínos Machos Castrados em Fase Inicial de Crescimento, Mantidos em Ambiente de Baixa Temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 32, 1690-1696.
- 33- Sobrinho, D.C.S., Oliveira Junior, G.M., Roner, M.N.B.; Ferreira, A.S., Oliveira, A.G., Santos, W.G., Gomide, A.P.C., 2013. Morais, J.A.S. Lisina digestível para suínos machos castrados submetidos a estresse por calor dos 95 aos 115 kg. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, 14, 546-557.

- 34- Trindade Neto, M.A., Moreira, J.A., Berto, D.A., Miguel, W.C., Schammas, E.A., 2008. Níveis de proteína bruta em dietas comerciais para suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 37, 103-108.
- 35- Zangeronimo, M.G., Fialho, E.T., Lima, J.A.F., Girão, L.V.C., Amaral, N.O., Silveira, H., 2009. Desempenho e características de carcaça de suínos dos 20 aos 50 kg recebendo rações com reduzido teor de proteína bruta e diferentes níveis de lisina digestível verdadeira. **Ciência Rural**, 39, 1507-1513.
- 36- Zangeronimo, M.G., Cantarelli, V.S., Fialho, E.T., Amaral, N.O., Silveira, H., Lima, J.A.F., 2009. Performance and carcass characteristics of swine at 50 kg fed diets with different energy levels and reduced Levels of crude protein. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, 33, 903-910.

CAPÍTULO III⁴

⁴ Artigo a ser submetido à revista *Livestock Science*

Exigência de lisina digestível para suínos dos 15 aos 120 kg estimadas através de estudo meta-analítico

Resumo

Este trabalho propõe estabelecer as exigências de lisina digestível para suínos machos castrados dos 15 aos 120 kg de peso vivo utilizando dados de experimentos brasileiros com a utilização de ferramentas meta-analíticas. Foram compilados 36 artigos publicados entre 2002 e 2013, que testaram diferentes níveis de lisina digestível nas dietas de suínos machos castrados, em experimentos empíricos realizados no Brasil. As variáveis analisadas foram características experimentais, composição nutricional das dietas, consumo de nutrientes e desempenho dos suínos. Foram avaliados 2399 suínos agrupados por faixa de peso vivo (15-30; 30-50; 50-70 e 70-120 kg ou 15-30; 30-70 e 70-120 kg). Os animais também foram agrupados em baixo, médio e alto consumo diário de lisina por peso metabólico ($\text{g/kg PV}^{0,75}$). A meta-análise foi realizada por análise de variância-covariância. As exigências de lisina foram determinadas pelo modelo linear-platô (LRP). Na fase inicial do crescimento (15-30 kg) o aumento no consumo de lisina melhorou em 15 e 26% o ganho médio diário (GMD) e a deposição de lipídios (DL), respectivamente. O aumento na ingestão de lisina por suínos dos 50-70 kg melhorou em 13,2% o GMD, em 11% a deposição de proteína (DP) e em 14% a DL. Na fase de terminação (70-120 kg) o aumento na ingestão de lisina melhorou em 21% o GMD e em 7% a DP. Os níveis de lisina digestível determinados para maximizar as respostas de GMD correspondem ao consumo diário de 14,8; 20,2 e 18,3 g lisina/dia nas fases 15-30, 30-70 e 70-120 kg, respectivamente. Para a DP, o consumo diário de lisina determinado foi de 16,3 e 24,1 g/dia nas fases 15-30 e 30-70 kg. O aumento no

consumo diário de lisina melhorou o ganho de peso, a deposição de proteína e a deposição de lipídios nas fases 15-30, 50-70 e 70-120 kg. Nossos resultados sugerem que as atuais tabelas de recomendação nutricional disponíveis superestimam as exigências dos suínos.

Palavras-chave: aminoácidos, deposição de proteína, suinocultura, crescimento e terminação, meta-análise

Introdução

As pesquisas na área de nutrição animal têm buscado integrar três aspectos: potencial nutritivo dos ingredientes, exigências nutricionais e a resposta do animal em termos de retenção e excreção de nutrientes (Whittemore et al., 2001). Tradicionalmente as exigências dos animais são determinadas pelo método empírico via experimentos dose-resposta. Assim, a necessidade do animal tende a ficar próxima ao nível para deposição máxima de proteína. Nessa situação a eficiência de uso dos aminoácidos ingeridos é baixa, o que leva a uma superestimação das exigências (Hauschild et al., 2012). A formulação com excesso de aminoácidos na dieta aumenta o custo de produção, além de aumentar o potencial poluidor da suinocultura via excreção de compostos nitrogenados (Dourmad and Jondreville, 2007). Logo, dietas balanceadas apresentam menor custo metabólico, têm menor taxa de excreção de nitrogênio e são mais eficientes na promoção do crescimento dos suínos (NRC, 2012).

A lisina é considerada referência na avaliação nutricional de aminoácidos, pois é estritamente essencial, não sintetizada pelos suínos e é o primeiro aminoácido limitante em rações à base de milho e farelo de soja (NRC, 1998). É também diretamente

responsável pela deposição de tecido muscular (NRC, 2012). Níveis de lisina têm sido amplamente estudados ao longo dos anos, mas os resultados encontrados na literatura são diversos. A variabilidade nos resultados de exigências de lisina para suínos é resultado de vários fatores, incluindo a metodologia experimental, a genética dos animais, as condições ambientais e de alojamento, o parâmetro de resposta adotado, o modelo estatístico, o tipo de dieta e mesmo a tabela de recomendação nutricional utilizada como referência (Van Milgen and Dourmad, 2015).

Existe uma grande quantidade de trabalhos publicados avaliando as exigências de lisina e a diversidade de seus resultados pode dificultar a sua interpretação. A meta-análise pode ser utilizada para combinar os resultados da literatura e extrair novas conclusões (Lovatto et al., 2007). Um estudo meta-analítico pode integrar diferentes variáveis de artigos anteriormente publicados e estabelecer respostas sistêmicas e ajustadas à diversidade experimental. Este trabalho propõe estabelecer a exigência de lisina digestível para suínos machos castrados dos 15 aos 120 kg de peso vivo criados em condições brasileiras de produção com a utilização de ferramentas meta-analíticas.

Material e Métodos

Este estudo foi realizado no Laboratório de Ensino Zootécnico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em Porto Alegre, Brasil. Foram compilados 36 artigos publicados entre 2002 e 2013. Os critérios para a seleção dos trabalhos e das variáveis analisadas em cada artigo foram: (1) utilização de suínos machos castrados com pesos entre 15 e 120 kg; (2) estudo de níveis de lisina digestível em experimentos empíricos de dose-resposta realizados no Brasil; e (3) resultados de desempenho e deposição de

proteína e lipídio na carcaça. Os artigos utilizados encontram-se publicados em periódicos indexados.

Dados de 2399 suínos com peso vivo médio de 58,36 kg foram avaliados. A maioria das dietas utilizadas foram compostas por milho/farelo de soja com níveis nutricionais baseados nas recomendações das diferentes versões das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos publicadas por Rostagno et al. (1992; 2000; 2005 e 2011), nas recomendações propostas pelo NRC (1998) ou Baker (1996).

Um estudo exploratório preliminar a estimação de exigências foi realizado. Baseado nas informações coletadas neste estudo preliminar, os animais foram agrupados por faixas de peso vivo para estudar as variáveis de desempenho (15-30, 30-50, 50-70 e 70-120 kg para análises de variância-covariância ou 15-30, 30-70 e 70-120 kg para análises pelo modelo linear-platô) dadas às diferenças nas dietas e o comportamento das variáveis respostas. Os animais também foram agrupados em baixo, médio ou alto consumo de lisina através do cálculo do consumo médio de lisina (g) por kg de peso metabólico ($PV^{0,75}$) em cada faixa de peso. Essa classificação foi estabelecida considerando um intervalo que consistiu na média \pm o desvio padrão. Sendo que, a ingestão menor que o intervalo médio foi classificado como baixo consumo de lisina e a ingestão maior que o intervalo médio foi classificado como alto consumo de lisina (Tabela 1).

Tabela 1. Agrupamento dos animais em função do consumo de lisina digestível por kg de peso metabólico.

Peso vivo, kg	% lis dieta ¹	Consumo médio de lisina, g/dia	Consumo médio de lisina, g/kg ^{0,75}	Intervalo ²	Consumo Lis
15-30	0,65-1,39	13,54	1,09	≤0,87	Baixo
				0,87-1,31	Médio
				≥1,31	Alto
30-50	0,66-1,23	19,06	1,08	≤0,93	Baixo
				0,93-1,24	Médio
				≥1,24	Alto
50-70	0,53-1,00	22,12	0,92	≤0,73	Baixo
				0,73-1,11	Médio
				≥1,11	Alto
70-120	0,42-1,14	24,07	0,74	≤0,58	Baixo
				0,58-0,90	Médio
				≥0,90	Alto

¹ %Lis dieta: níveis (%) mínimo e máximo de lisina na dieta; ² Intervalo: média ± desvio padrão calculado para o consumo de lisina por peso metabólico (g/kg^{0,75}).

Codificações foram utilizadas como variáveis moderadoras nas análises, com o objetivo de considerar a variabilidade dos estudos compilados (efeito do estudo, efeitos inter-estudos) (Lovatto et al., 2007). A codificação do estudo consistiu em um número sequencial específico atribuído para cada trabalho inserido na base. A codificação inter foi formada pela união da codificação do estudo e de números sequenciais, de maneira a atribuir um código específico para cada tratamento da base. A metodologia para a definição das variáveis dependentes e independentes e a codificação dos dados seguiu as proposições descritas na literatura (Lovatto et al., 2007; Sauvant et al., 2008). A meta-análise foi realizada por análise de variância-covariância para comparar os grupos. Quando houveram diferenças significativas entre as variáveis, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Todas as análises foram realizadas através do programa Minitab 16 (2010).

A determinação da exigência de lisina para maximizar ganho de peso e deposição de proteína dos suínos foi realizada utilizando dados relativizados para reduzir a variação entre eles. Neste procedimento, o maior ganho de peso e/ou deposição de proteína observado em cada artigo foi estipulado como 100% de resposta e as demais observações do estudo foram expressos em valor percentual, relativos a ele. Procedimento semelhante foi utilizado e descrito por Van Milgen et al. (2012). Posteriormente, esses dados transformados foram utilizados para estimar a exigência de lisina digestível para o ganho de peso e a deposição de proteína através do modelo linear-platô (LRP).

$$Y = p + l(r - x); \text{ onde } (r - x) = 0 \text{ para } x > r.$$

Onde: p é o platô; l é a inclinação da reta ascendente; r é o nível de lisina correspondente ao ponto de quebra na resposta e; x é o nível de lisina na dieta.

Duas metodologias foram utilizadas. Na primeira metodologia, os dados de cada artigo foram ajustados utilizando o procedimento NLIN do SAS (Statistical Analysis Package, 9.3). O modelo LRP descreveu a resposta de ganho de peso (GMDr) e/ou deposição de proteína (DPr) em relação aos níveis de lisina (%).

A segunda metodologia analítica utilizada foi a de modelos mistos utilizando o procedimento NLMIXED do SAS (Statistical Analysis Package, 9.3). Esta etapa foi realizada para combinar os modelos gerados para cada estudo dose-resposta e obter assim um modelo que considere a variabilidade entre os estudos. Nesta fase, as equações foram criadas através de análises sequenciais. Primeiramente, os modelos LRP foram ajustados para cada artigo da base, de maneira a indicar os parâmetros iniciais a serem utilizados nas análises seguintes. O primeiro modelo considerou o conjunto total dos artigos da base com efeitos fixos. Em seguida as variâncias dos

parâmetros r , l e p (U_r , U_l e U_p , respectivamente) e suas respectivas covariâncias foram incluídas no modelo com fatores aleatórios. O procedimento foi realizado para considerar a variação entre os artigos para cada parâmetro. Os efeitos aleatórios U_r , U_l e U_p foram adicionados progressivamente nos modelos de tal forma que: o segundo modelo considerou o efeito de U_r ; o terceiro modelo considerou os efeitos de U_r e U_l bem como a covariância entre os dois; e o quarto modelo considerou os efeitos de U_r , U_l e U_p e as covariâncias entre todos os parâmetros. A inclusão de um fator aleatório de cada vez foi preconizada para facilitar a conversão do modelo final. Quando foram considerados os efeitos aleatórios na análise utilizou-se o método FIRO e considerou-se o artigo como fator de ajuste na opção SUBJECT. O modelo mais ajustado foi aquele que apresentou o menor AIC, sendo então o utilizado para identificar as respostas. Para a fase dos 70 aos 120 kg, apenas a exigência para ganho de peso foi determinada, pois não haviam dados suficientes de deposição de proteína nessa fase para estimar a exigência dos suínos.

Resultados

De cada artigo selecionado foram retiradas informações das seções do material e métodos e dos resultados que foram tabuladas em uma base elaborada em planilha de dados, de forma que cada linha correspondeu a um tratamento e cada coluna a uma variável exploratória. Foram analisadas variáveis relativas às características experimentais (período experimental, inclusão da lisina nas dietas, e peso vivo inicial e final), à composição nutricional das dietas e ao desempenho (consumo de ração, ganho de peso, e deposição de proteína e lipídio na carcaça). Os níveis mínimos de lisina digestível testados foram em média 35 e 37% menores que as recomendações propostas

por Rostagno (2011) e NRC (2012), enquanto que os níveis máximos foram 37 e 34% maiores que as recomendações das referências supracitadas para animais da mesma fase. Os níveis de PB nas dietas com inclusão de L-Lisina HCl foram em média 15,8% menores que dietas que não incluíram L-Lisina HCl em sua composição. A concentração energética das dietas foi de 3.264, 3.213, 3.212 e 3.217 kcal/kg de EM para as faixas de peso 15-30, 30-50, 50-70 e 70-120 kg proporcionando uma relação média lisina/EM (%/Mcal/kg) de 0,27; 0,26; 0,23 e 0,20, respectivamente.

Na faixa de 15-30 kg os consumos médios diários de lisina corresponderam a 0,81; 1,06 e 1,50 g de Lis/kg^{0,75} para os grupos baixo, médio e alto consumo de lisina, respectivamente (Tabela 2). Houve um aumento ($P<0,001$) de 15% no ganho médio diário (GMD) e um aumento ($P<0,05$) de 26% na deposição de lipídios (DL) entre os grupos baixo e alto consumo de lisina nesta faixa de peso (15-30 kg). Para suínos com pesos entre 50-70 kg o consumo médio diário de lisina correspondeu a 0,67; 0,94 e 1,22 g de Lis/kg^{0,75} para os grupos baixo, médio e alto consumo de lisina, respectivamente. Para esta faixa de peso houve um aumento ($P<0,05$) de 13,2% no GMD e um aumento ($P<0,01$) de 14% na DL entre os grupos baixo e alto consumo de lisina. Já para a deposição de proteína (DP) nesta mesma faixa de peso (50-70 kg) houve um aumento de 11% quando o consumo diário de lisina passou de 0,94 (médio) para 1,22 g de Lis/kg^{0,75} (alto consumo). Na fase de terminação (70-120 kg) os consumos médios diários de lisina corresponderam a 0,50; 0,76 e 0,96 g de Lis/kg^{0,75} para os grupos baixo, médio e alto consumo, respectivamente. Para esta fase (70-120 kg) houve um aumento ($P<0,001$) de 21% no GMD entre os grupos baixo e alto consumo de lisina e um aumento ($P<0,01$) de 7% na DP entre os grupos médio e alto consumo de lisina.

Tabela 2. Desempenho de suínos em crescimento e terminação (15-120 kg) consumindo baixo, médio ou alto nível de lisina digestível nas dietas.

Variável	Consumo de lisina ¹			DP ²	P	R ²
	Baixo	Médio	Alto			
15-30 kg						
GMD/PV ^{0.75}	52,33 ^c	59,96 ^b	61,73 ^a	4,06	***	71,43
DP/PV ^{0.75}	7,33	8,21	9,33	0,79	ns	79,85
DL/PV ^{0.75}	39,36 ^b	40,35 ^{ab}	53,48 ^a	3,96	*	93,13
30-50 kg						
GMD/PV ^{0.75}	49,71	50,75	52,58	3,42	ns	65,84
DP/PV ^{0.75}	7,45	7,56	7,39	0,42	ns	62,99
DL/PV ^{0.75}	58,86	58,05	57,76	7,83	ns	78,17
50-70 kg						
GMD/PV ^{0.75}	39,57 ^b	41,65 ^{ab}	45,56 ^a	4,32	*	54,11
DP/PV ^{0.75}	6,33 ^{ab}	5,75 ^b	6,47 ^a	0,34	*	57,20
DL/PV ^{0.75}	83,50 ^b	93,45 ^{ab}	97,56 ^a	10,19	*	56,18
70-120 kg						
GMD/PV ^{0.75}	29,47 ^c	32,80 ^b	37,50 ^a	2,13	***	80,00
DP/PV ^{0.75}	3,75 ^{ab}	3,95 ^b	4,25 ^a	0,28	**	59,64
DL/PV ^{0.75}	97,03	95,07	103,50	5,99	ns	73,21

¹ Agrupamento pelo consumo médio de lisina por peso metabólico (g de Lis/kg^{0.75}) conforme a tabela 1.

² DP: desvio padrão; R²: coeficiente de determinação; ns não significativo; *P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001.

^{a, b, c} Diferentes letras na mesma linha diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. GMD: ganho médio diário, g/dia; DP: deposição de proteína, g/dia; DL: deposição de lipídio, g/dia; PV^{0.75}: peso vivo médio metabólico.

O ponto de quebra (parâmetro *r*) do modelo linear-platô pode ser interpretado como a exigência mínima de lisina para promover o máximo desempenho possível da população estudada (Pesti et al., 2009). Para o ganho de peso, as exigências de lisina digestível determinadas pelo modelo linear-platô para os suínos foram 0,999; 0,779 e 0,566% para animais nas fases 15-30, 30-70 e 70-120 kg, respectivamente (Tabela 3). Estes níveis de lisina correspondem ao consumo diário de 14,8; 20,2 e 18,3 g de lisina para as fases estudadas, respectivamente, considerando o consumo médio diário de ração observado nos artigos tabulados. Já para a deposição de proteína, os níveis de

lisina digestível determinados pelo modelo linear-platô foram 1,099 e 0,930%, o que corresponde ao consumo de 16,3 e 24,1 g de lisina por dia para as fases 15-30 e 30-70 kg, respectivamente.

Tabela 3. Parâmetros das equações utilizadas para estimar as exigências de lisina digestível para suínos em crescimento e terminação.

Fase	Modelos ¹	Ponto de inflexão ² , %	Inclinação, %	Platô, %	CIA ³
Modelos para ganho de peso					
Inicial, 15-30 kg	1	1,000	-15,172	95,301	214,200
	2	1,000	-26,506	95,596	205,700
	3	0,999	-13,955	95,969	205,000
	4	0,996	-13,955	95,970	210,100
Crescimento, 30-70 kg	1	0,769	-56,456	94,282	126,200
	2	0,779	-56,378	94,282	122,100
	3	0,779	-56,378	94,282	126,000
	4	0,779	-56,378	94,282	131,800
Terminação, 70-120 kg	1	0,566	-76,733	94,530	218,600
	2	0,567	-75,037	94,530	220,600
	3	0,567	-75,037	94,530	224,500
	4	0,540	-75,085	94,513	220,200
Modelos para deposição de proteína					
Inicial, 15-30 kg	1	0,880	-13,656	91,732	260,800
	2	1,100	-13,627	91,969	254,800
	3	1,099	-26,990	95,184	244,500
	4	1,012	-28,210	97,396	254,000
Crescimento, 30-70 kg	1	0,930	-101,000	92,711	58,300
	2	0,930	-101,000	92,711	65,100
	3	0,930	-101,000	92,711	77,100
	4	0,803	-100,980	92,421	74,700

¹ Modelos considerando os efeitos fixos (modelo 1) ou parâmetros aleatórios para U_r (modelo 2), $U_r + U_l$ (modelo 3), e $U_r + U_l + U_p$ (modelo 4). ² Ponto de inflexão: corresponde a exigência percentual de lisina para ganho de peso e/ou deposição de proteína. ³ CIA: critério de informação Akaike.

Discussão

Para os suínos com pesos entre 15-30 e 50-70 kg o aumento no consumo de lisina melhorou o GMD e a DP na carcaça. Estes resultados demonstram que suínos

com alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça respondem aos níveis crescentes de lisina até o ponto determinado pelo potencial genético (Abreu et al., 2006). Segundo o NRC (2012) a média diária de DP na carcaça é de 134,5 g/dia. Os suínos avaliados neste estudo apresentaram DP média diária na carcaça de 133 g/dia. Este alto potencial genético para deposição de carne magra justifica a resposta observada frente aos níveis crescentes de lisina na dieta.

O aumento no consumo de lisina foi acompanhado por um aumento na DL em todas as faixas de peso observadas, embora tenha havido diferença significativa apenas nas faixas de peso 15-30 e 50-70 kg. Segundo a literatura, genótipos atuais de suínos possuem maior potencial de DP na carcaça em detrimento da DL (Zhang et al., 2011; NRC, 2012). Mas quando ingerem excesso de energia, ou dietas com composição aminoacídica desequilibrada, pode haver aumento na DL na carcaça (Zhang et al., 2008; Zhang et al., 2011). Além disso, em nosso estudo as dietas com maiores níveis de lisina obtidos pela inclusão de L-Lisina HCl apresentaram os menores teores de proteína bruta que conduzem a uma menor excreção de nitrogênio. A redução no gasto energético para a excreção do nitrogênio aumenta a energia disponível para a DL (Zhang et al., 2011; Tous, et al., 2014).

Os níveis de lisina estimados para maximizar o GMD e a DP dos suínos com pesos de 15-120 kg foram em média 3; 17 e 27% menores que os níveis de lisina recomendados pelas Tabelas Brasileiras publicadas por Rostagno et al. (2011). Da mesma forma, as exigências de lisina estimadas em nosso estudo para maximizar o GMD e a DP de suínos dos 15-120 kg foram 10,5; 13,5 e 20,3% menores que os níveis de lisina digestível recomendados pelo NRC (2012). Estes resultados sugerem que a metodologia empregada nos experimentos que deram origem as recomendações destas

tabelas podem estar superestimando as exigências nutricionais dos suínos ou não consideram outros fatores importantes como a relação lis/EM das dietas. Entretanto, parte desta diferença entre os resultados encontrados em nosso estudo e os publicados por Rostagno et al. (2011) e NRC (2012) podem estar atreladas ao modelo analítico empregado. Quando as exigências são determinadas pelo modelo linear-platô, uma redução de 5% nos valores determinados é esperada (Barea et al., 2009). Outras fontes de variação nos resultados encontrados podem estar em etapas preliminares, como a determinação da composição aminoacídica do alimento (NRC, 2012), o padrão genético dos animais utilizados, os sistemas de alojamento e as condições ambientais e climáticas do local de realização do experimento (Nyachoti et al., 2004; Renaudeau et al., 2011). Além disso, fatores como a duração do experimento, o consumo de ração, as deposições de músculo e gordura, o status sanitário dos animais envolvidos no experimento e a variável resposta escolhida para definir a exigência, igualmente impactam nas respostas encontradas (De Lange et al., 2012; NRC, 2012).

Neste cenário, a determinação de exigências nutricionais para suínos via meta-análise fornece respostas ajustadas a uma maior diversidade experimental. Esta metodologia é importante e pode ser aplicada em outros trabalhos, sobretudo aqueles que avaliam uma grande diversidade de dados de populações. O Brasil possui características climáticas, sistemas de alojamento e ingredientes utilizados nas dietas, distintos das condições empregadas em países da Europa ou da América do Norte. Logo, quando utilizamos tabelas estrangeiras de determinação de exigências desconsideramos o impacto destes fatores sobre a exigência do animal. Contudo, é sabido que estes fatores supracitados (sobretudo altas temperaturas ambientais, comuns no Brasil) podem impactar no comportamento alimentar dos suínos (Renaudeau et al.,

2011), o que tem reflexos diretos na determinação da exigência. Em nosso estudo, a utilização apenas de trabalhos realizados no Brasil, permitiu a obtenção de respostas sistêmicas e adequadas as nossas reais condições produtivas.

Conclusões

Grupos com maior ingestão diária de lisina apresentaram maiores ganho de peso e deposições proteica e lipídica nas fases 15-30, 50-70 e 70-120 kg. Os níveis de lisina determinados para obter o melhor ganho de peso corresponderam ao consumo diário de lisina de 14,8; 20,2 e 18,3 g/dia para as fases 15-30, 30-70 e 70-120 kg, respectivamente. Para obter a melhor deposição de proteína, as exigências de lisina determinadas corresponderam ao consumo diário de 16,3 e 24,1 g/dia de lisina para as fases 15-30 e 30-70 kg. Para o grupo e as condições estudadas, é possível inferir que as atuais tabelas de recomendação nutricional disponíveis superestimam as exigências dos suínos.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil), e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes, Brasil).

Referências

Abreu, M.L.T., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Oliveira, A.L.S., Silva, F.C.O., Moita, A.M.S., 2006. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-se o conceito de

proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético dos 15 aos 30 kg. **R. Bras. Zootec.**, v. 35, p. 1039-1046.

Baker, D.H., 1996. Advances in amino acid nutrition and metabolism of swine and poultry. In: KORNEGAY, E.T. (Ed.) **Nutrient management of food animals to enhance and protect the environment**. Boca Raton: CRC – Lewis, p 41-53.

Barea, R., Brossard, L., Floc'h, L., Primot, Y., Melchior, D., Van Milgen, J., 2009. The standardized ileal digestible valine-to-lysine requirement ratio is at least seventy percent in postweaned piglets. **J. Anim. Sci.**, v. 87, p 935-947.

De Lange, C.F.M., Levesque, C.L., Kerr, B.J., 2012. Amino acid nutrition and feed efficiency. In: **Feed efficiency in swine**, Patience, J.F. 1º Ed. The Netherlands, 2012, 164p.

Dourmad, J.Y., Jondreville, C., 2007. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. **Livest. Sci.**, v. 112, p. 192-198.

Hauschild, L., Lovatto, P.A., Pomar, J., Pomar, C., 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. **J. Anim. Sci.**, v. 90, p. 2255-2263.

Lovatto, P.A., Lehnen, C.R., Andretta, I., Carvalho, A.D., Hauschild, L., 2007. Meta-análise em pesquisas científicas - enfoque em metodologias **R. Bras. Zootec.**, v. 36, p. 285-294.

Minitab. **User's guide meet minitab** 16. 2010. Stat College.

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

- NRC. **Nutrient requirements of swine**. 11 ed. Washington: National academy. 2012, 424p.
- Nyachoti, C.M., Zijlstra, R.T., De Lange, C.F.M., Patience, J.F., 2004. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. **Can. J. Anim. Sci.**, v. 84, p. 549-566.
- Pesti, G.M., Vedenov, D., Cason, J.A., Billard, L., 2009. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **Brit. Poult. Sci.** v. 50, p. 16-32.
- Renaudeau, D., Gourdine, J.L., St-Pierre, N.R., 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. **J. Anim. Sci.**, v. 89, p. 2220-2230.
- Rostagno, H.S., Silva, D.J., Costa, P.M.A., Fonseca, J.B., Soares, P.R., Pereira, J.A.A., Silva, M.A., 1992. **Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos**: tabelas brasileiras. Viçosa: UFV, 50p.
- Rostagno H.S., Albino L.F.T., Donzele J.L., Gomes P.C., Ferreira A.S., Oliveira R.F., Lopes D.C., 2000. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. Viçosa, 1º Ed., 141 p.
- Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Donzele, J.L., Gomes, P.C., Oliveira, R.F., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Barreto, S.L.T., 2005. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. Viçosa, 2º Ed., 186p.
- Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Donzele, J.L., Gomes, P.C., Oliveira, R.F., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Barreto, S.L.T., Euclides, R.F., 2011. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. Viçosa, 3º Ed., 186p.

- SAS. **Statistical Analysis Package**, 9.3. User guide for personal computers. 6 ed. North Carolina: SAS Institute Inc., 2001. 960p.
- Sauvant, D., Schmidely, P., Daudin, J.J., St-Pierre, N.R., 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. **Animal** v. 8, p. 1203-1214.
- Tous, N., Lizardo, R.; Vilà, B.; Gispert, M., Font-i-Furnols, M., Esteve-Garcia, E., 2014. Effect of reducing dietary protein and lysine on growth performance, carcass characteristics, intramuscular fat, and fatty acid profile of finishing barrows. **J. Anim. Sci.**, v. 92, p. 129-140.
- Van Milgen, J., Gloaguen, M., Le Floc'h, N., Brossard, L., Primot, Y., Corrent, E., 2012. Meta-analysis of the response of growing pigs to the isoleucine concentration in the diet. **Animal**, v. 10, p. 1601-1608.
- Van Milgen, J. Dourmad, J. Y. Concept and application of ideal protein for pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 6. n.1, p. 1-11, 2015.
- Whittemore, C.T., 2001. Impact of technological innovation in animal nutrition. **Livest. Prod. Sci.**, v. 72, p. 37-42.
- Zhang, J., Yin, J., Zhou, X., Li, F., Ni, J., Dong, D., 2008. Effects of lower dietary lysine and energy content on carcass characteristics and meat quality in growing-finishing pigs. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.**, v. 21, p. 1785-1793.
- Zhang, G.J., Yi, X.W., Chu, L.C., Lu, N., Htoo, J., Quiao, S.Y., 2011. Effects of dietary net energy density and standardized ileal digestible lysine: net energy ratio on the performance and carcass characteristic of growing-finishing pigs fed low crude protein supplemented with crystalline amino acids diets. **Agr Sci China.**, v. 10, p. 602-610.

CAPÍTULO IV⁵

⁵ Artigo a ser submetido à revista Livestock Science

Rendimentos decrescentes da eficiência marginal da lisina digestível para suínos em crescimento e terminação

Resumo

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência marginal da lisina digestível segundo a lei de rendimentos decrescentes, para suínos em crescimento e terminação. Os dados foram obtidos através de meta-análise, a partir da compilação de 26 estudos desenvolvidos no Brasil e publicados entre 2002 e 2013 que avaliaram exigências de lisina digestível para suínos. A base de dados foi composta por 1820 suínos de 20-120 kg que foram agrupados por faixas de peso vivo (20-50; 50-70 e 70-120 kg). As curvas de rendimentos decrescentes do uso da lisina digestível das dietas para ganho de peso e deposição de lisina foram estabelecidas considerando a equação de Gompertz e sua primeira derivada para cada faixa de peso avaliada. Já a eficiência de uso da lisina para deposição de proteína foi estabelecida utilizando modelo quadrático. Na primeira faixa de peso vivo (20-50 kg), a maior eficiência de uso da lisina (35,4 g) foi observada no início da curva de ganho de peso (700 g/dia) a um consumo de lisina de 10,3 g/dia, enquanto que o maior ganho de peso diário (922 g/dia) foi alcançado com consumo de lisina de 20,8 g/dia e a uma eficiência marginal de uso de apenas 5,6 g. O mesmo comportamento foi observado na faixa de 50-70 kg, onde a maior eficiência do uso da lisina (28,6 g) foi observada no início da curva de ganho de peso (868 g/dia com consumo de 13,1 g/dia de lisina) e diminuiu à medida que aumentou o consumo de lisina e o ganho de peso. Da mesma forma, na faixa de 70-120 kg a maior eficiência de uso da lisina (21,4 g) foi observada no início da curva e diminuiu para 9,5 g no ponto de maior ganho de peso (1287 g/dia). Respostas calculadas para alcançar 95% do máximo

ganho de peso demonstraram um aumento de 2,4; 2,5 e 1,5 g no ganho de peso para cada g de lisina ingerida. A eficiência marginal de uso da lisina digestível para ganho de peso e deposição de lisina e a eficiência de uso da lisina para a deposição de proteína diminuem à medida que seu consumo aumenta seguindo a lei de rendimentos decrescentes. Dietas formuladas para atingir 95% do máximo ganho de peso permitem melhor explorar os efeitos da eficiência marginal de uso da lisina digestível das dietas.

Palavras-chave: aminoácidos, deposição de proteína, suinocultura, meta-análise, nutrição de suínos

Introdução

Os modelos convencionais de determinação de exigências nutricionais para suínos preveem que existe um limite máximo à deposição proteica (PDmax) em um dado peso/ idade/ grupo genético, o que segue a lógica da biologia animal. No entanto, estes modelos falham ao não considerar a lei de rendimentos decrescentes da eficiência marginal do uso de aminoácidos digestíveis AAd da dieta a medida que seu consumo aumenta. A resposta de rendimentos decrescentes pode ser definida conceitualmente como a redução no incremento de ganho quando incrementos iguais de nutrientes são adicionados à dieta, próximo do ponto de ganho máximo (Parks, 1970; 1982). Assim, modelos fatoriais que consideram a PDmax usualmente seguem uma resposta linear-platô em relação ao consumo de AAd, com a eficiência (inclinação da reta) obtida na parte linear do modelo imputada ao nível da PDmax (Hauschild et al., 2012). Desta forma, o máximo ganho é estimado com o máximo de eficiência, o que pode levar à subestimação da exigência dietética de AAd. Por outro lado, exigências de AAd obtidas

a partir de experimentos dose-resposta, especialmente aqueles obtidos por modelos quadráticos, valorizam a PDmax em ponto já avançado no platô assintótico, onde a eficiência de conversão do AAd ingerido é baixa, o que pode levar à superestimação da exigência de AAd (Van Milgen & Dourmad, 2015).

Gahl et al. (1994) criticaram a afirmação de que os ganhos nas respostas face ao aumento na ingestão de nutrientes são constantes (parte linear do modelo linear-platô), e sugeriram que os retornos ao aumento na ingestão de nutrientes são decrescentes à medida que a resposta máxima se aproxima. Rendimentos decrescentes em resposta ao aumento na ingestão de nutrientes têm um evidente impacto econômico, uma vez que um incremento decrescente no ganho é observado para cada incremento no consumo, e este incremento passa a ser zero a partir do ponto de ganho máximo (Gahl et al., 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, outros autores afirmam que o aumento de lisina na dieta reduz a eficiência de deposição de tecido proteico em suínos (Van Lunen & Cole, 1996; Moehn et al., 2000; De Lange et al., 2001).

Diversos estudos dose-resposta, avaliando exigências de lisina para suínos em crescimento e terminação, podem ser consultados na literatura, mas seus resultados são heterogêneos. Esta variabilidade é consequência de diversos fatores, como a duração do experimento, a genética dos animais, a composição das dietas e mesmo o critério de resposta ou abordagem estatística adotada (De Lange et al., 2012). A compilação destes dados via meta-análise permite combinar os resultados da literatura e extrair novas conclusões, integrando diferentes variáveis de artigos publicados e estabelecendo

respostas sistêmicas e ajustadas à diversidade experimental (Lovatto et al., 2007). Este trabalho foi realizado para avaliar a eficiência marginal da lisina digestível das dietas, segundo a lei de rendimentos decrescentes, para suínos em crescimento e terminação.

Material e Métodos

Este estudo foi realizado no Laboratório de Ensino Zootécnico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em Porto Alegre, Brasil. Dados de exigências de lisina digestível para suínos criados no Brasil foram compilados de 26 artigos publicados entre 2002 e 2013. As palavras-chave: suínos, lisina digestível, experimentos empíricos e Brasil foram escritas em português, inglês, espanhol e francês em bases eletrônicas para selecionar artigos sobre o tema. Os artigos encontrados foram criteriosamente selecionados e somente aqueles que apresentaram todos os critérios estabelecidos foram considerados. Para compor este estudo os critérios observados e tabulados em cada artigo foram: (1) características metodológicas dos experimentos (delineamento experimental e método analítico); (2) suínos em crescimento e terminação (20-120 kg); (3) níveis e consumo de lisina digestível; (4) composição das dietas e; (5) resultados de desempenho (consumo de ração, consumo de lisina, ganho de peso e deposição de proteína). Na base de dados, cada coluna incluída constituiu uma variável exploratória e cada linha incluída representou um tratamento.

Os artigos selecionados para este estudo foram publicados em periódicos indexados e estão disponíveis para consulta com os autores. A base de dados foi composta por 1820 suínos pesando em média 57,9 kg. A grande maioria das dietas utilizadas foram formuladas com milho/farelo de soja considerando os níveis nutricionais das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos publicadas por Rostagno et al.

(1992; 2000; 2005 e 2011), NRC (1998) ou Baker (1996). A composição nutricional média calculada para as dietas fornecidas nas diferentes faixas de peso encontram-se na Tabela 1. Os níveis de lisina digestível testados nestes estudos foram obtidos com proporções distintas dos ingredientes da dieta (17,8% dos estudos) ou pela adição de L-Lisina HCl (82,2%) com níveis de inclusão que variaram de 0,06 a 0,99%. Codificações foram utilizadas como critérios de agrupamento na base de dados de forma a classificar os animais por faixas de peso vivo (20-50; 50-70 e 70-120 kg) e para considerar as diferenças nos fatores intrínsecos ao desenvolvimento dos animais, nas dietas utilizadas e nas variáveis respostas.

Tabela 1. Composição média calculada das dietas utilizadas na base de dados¹.

	20-50 kg	DP ²	50-70 kg	DP	70-120 kg	DP
<i>n</i>	71		42		61	
Energia digestível, kcal/kg	3,400	46.900	3,363	22.601	3,379	16.403
Energia metabolizável, kcal/kg	3,236	56.606	3,209	59.800	3,221	35.207
Lis/EM ³	2.89	0.551	2.62	0.575	2.31	0.526
Proteína bruta, g/kg	159.2	36.520	129.9	25.690	149.9	13.490
Cálcio, %	0.71	0.081	0.74	0.051	0.65	0.108
Fósforo disponível, %	0.37	0.043	0.34	0.025	0.27	0.172
Arg, g/kg	8.98	2.023	6.63	2.124	8.08	1.438
His, g/kg	3.76	0.639	3.05	0.660	3.61	0.365
Ile, g/kg	5.54	1.188	4.18	1.247	5.25	0.653
Leu, g/kg	12.7	1.681	10.9	1.682	13.6	0.721
Lis, g/kg	9.21	1.844	7.58	1.369	7.42	1.655
Met, g/kg	3.12	0.820	3.08	1.022	2.43	0.490
Met+Cis, g/kg	4.45	0.633	3.79	0.644	4.53	0.217
Fenil, g/kg	6.71	1.279	5.26	1.327	6.63	0.529
Fenil+Tir, g/kg	11.4	2.145	8.98	2.222	11.4	0.829
Treo, g/kg	6.21	0.954	5.72	1.041	5.17	0.798
Trip, g/kg	1.68	0.323	1.48	0.335	1.41	0.290
Val, g/kg	6.35	1.201	5.00	1.223	6.14	0.639

¹ Aminoácidos digestíveis; ² DP: Desvio padrão; ³ Lis/EM: relação consumo de lisina (g/dia) e consumo de energia metabolizável (Mcal/dia).

Uma codificação geral foi estabelecida como variável moderadora atribuindo um número sequencial para cada trabalho da base para considerar a variabilidade dos estudos (Lovatto et al., 2007). A metodologia para a definição das variáveis dependentes e independentes e a codificação dos dados seguiu as proposições descritas na literatura (Lovatto et al., 2007; Sauvant et al., 2008).

Para estabelecer as curvas de rendimentos decrescentes da eficiência marginal de uso da lisina digestível para ganho de peso e deposição de lisina foi utilizada a primeira derivada da equação de Gompertz. Para tal, a equação de Gompertz foi estimada utilizando o programa Statgraphics (Statistical Graphics System, 2001) para definir os parâmetros a , b e c , utilizados para estabelecer a eficiência marginal da lisina através de sua primeira derivada. As curvas de rendimentos decrescentes da eficiência marginal da lisina para o ganho de peso foram calculadas para cada uma das faixas de peso estudadas (20-50, 50-70 e 70-120 kg). As curvas de rendimentos decrescentes da eficiência de marginal de uso da lisina digestível para a deposição de lisina foram estabelecidas para as faixas de peso vivo 20-50 e 50-70 kg, ambas considerando:

Equação de Gompertz: $a * \exp(-\exp(-b * (\text{consumo de lis} - c)))$

1º derivada: $Y = a * b * \exp(-b * (\text{consumo de lis} - c)) - \exp(-b * (\text{consumo de lis} - c))$

Onde: a representa o máximo ganho de peso observado; b representa a taxa de aceleração da curva de resposta e c o ponto de inflexão, ou seja, o consumo de lisina que promove o maior de ganho de peso. A eficiência marginal de uso da lisina foi definida como o incremento no ganho de peso para cada incremento de um g na ingestão de lisina digestível. Após a definição da máxima resposta de ganho de peso foi estabelecida a resposta correspondente a 95% do máximo ganho de peso.

Para estabelecer as curvas de deposição de proteína em função do consumo de lisina e a eficiência total (%) de uso da lisina em função do consumo diário de lisina digestível foi utilizado modelo quadrático utilizando o módulo de variância-covariância do programa estatístico Minitab 16 (2010). Para estimar a eficiência total da deposição da lisina consumida optou-se por estabelecer a eficiência (%) de uso da lisina para a deposição de proteína para as faixas de peso vivo 20-50 e 50-70 kg, sendo a eficiência total de uso da lisina definida como o percentual de lisina digestível ingerida que foi retida na proteína depositada na carcaça. Para tal, foram utilizados os dados apresentados por Mahan & Shields (1998) que indicam a composição em gramas de cada aminoácido em 100 g de proteína depositada para diferentes faixas de peso vivo.

Resultados

O ganho de peso e a eficiência marginal da lisina para o ganho de peso de suínos de 20-50 kg estão apresentados na Figura 1. O maior ganho de peso diário (922 g) foi alcançado por animais que consumiram diariamente 20,8 g de lisina. No entanto, neste nível, os animais apresentaram uma eficiência marginal de uso da lisina de 5,6 g, ou seja, para cada incremento de um grama no consumo de lisina observa-se um aumento de 5,6 g no ganho de peso. Por outro lado, a maior eficiência marginal de uso da lisina digestível foi de 35,4 g a um nível de consumo de lisina de 10,3 g/dia, porém nessa condição o ganho de peso diário foi de 700 g. O ganho de peso e a eficiência marginal da lisina para alcançar 95% da resposta máxima foram 876 g/dia e 8,0 g, respectivamente, para esta fase. A utilização de dietas para alcançar 95% da máxima resposta promove uma redução de 46 g/dia no ganho peso dos suínos, mas com uma melhoria da ordem de 2,4 g de ganho de peso para cada g de lisina consumida quando

comparadas as dietas formuladas para atingir a máxima resposta para esta faixa de peso vivo.

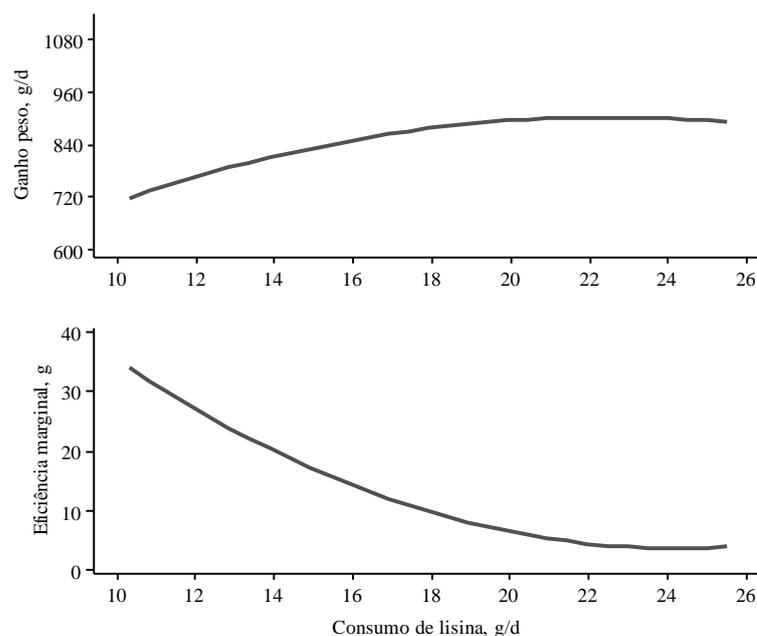


Figura 1. Ganho de peso e eficiência marginal de uso da lisina dietética em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos com pesos entre 20-50 kg.

Equação de Gompertz = $921,714 * \exp(-\exp(-0,196501 * (cLis - 3,29022)))$, $R^2 = 0,20$; 1º Derivada = $921,714 * 0,196501 * \exp(-0,196501 * (cLis - 3,29022)) - \exp(-0,196501 * (cLis - 3,29022))$. Onde cLis é consumo de lisina digestível em g/dia.

Na Figura 2 estão apresentados o ganho de peso e a eficiência marginal de uso da lisina digestível para suínos de 50-70 kg. O maior ganho de peso estimado (1160 g/dia) foi alcançado com um consumo diário de lisina de 24,9 g. No entanto, a este ponto da curva de desempenho a eficiência marginal de uso da lisina dietética foi de 10,9 g, ou seja, para cada incremento de um grama de lisina consumida espera-se um

aumento de 10,9 g no ganho de peso. Por outro lado, a maior eficiência marginal de uso da lisina (28,6 g) foi observada com um consumo diário de lisina digestível de 13,1 g, mas com ganho de peso de 868 g/dia. Nesta faixa, 95% da máxima resposta corresponde a um ganho de peso de 1100 g/dia com uma eficiência marginal de uso da lisina de 13,4 g. O uso de dietas para atingir 95% da máxima resposta reduziu em 60 g/dia o ganho de peso, mas melhorou em 2,5 g o ganho de peso para cada grama de lisina ingerida em comparação a dietas formuladas para a máxima resposta.

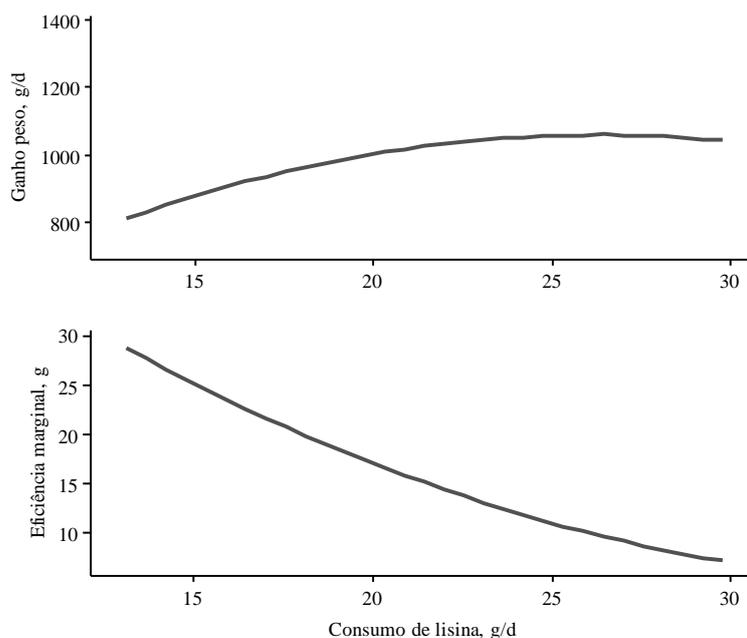


Figura 2. Ganho de peso e eficiência marginal de uso da lisina dietética em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos pesando entre 50-70 kg.

Equação de Gompertz = $1160,92 * \exp(-\exp(-0,101464 * (cLis - 2,50222)))$, $R^2 = 0,24$; 1º Derivada = $1160,92 * 0,101464 * \exp(-0,101464 * (cLis - 2,50222)) - \exp(-0,101464 * (cLis - 2,50222))$. Onde cLis é consumo de lisina digestível em g/dia.

O ganho de peso e a eficiência marginal da lisina dietética para suínos de 70-120 kg podem ser observados na Figura 3. O maior ganho de peso (1287 g/dia) foi alcançado com um consumo diário de lisina de 29,5 g, porém para este consumo e ganho de peso a eficiência marginal de uso da lisina dietética foi de 9,5 g, ou seja, para cada incremento de um grama de lisina consumida espera-se um aumento de 9,5 g no ganho de peso. Por outro lado, a maior eficiência marginal de uso da lisina dietética (21,4 g) nesta faixa de peso vivo foi observada com um consumo de 14 g/dia de lisina e um ganho de peso de 905 g/dia. Já 95% da máxima resposta corresponde a um ganho de peso de 1223 g/dia associado a uma eficiência marginal de uso da lisina dietética de 11,0 g. A adoção de dietas para alcançar 95% da máxima resposta reduziu em 64 g/dia o ganho de peso dos suínos, mas aumentou o ganho de peso em 1,5 g para cada incremento de um grama no consumo de lisina.

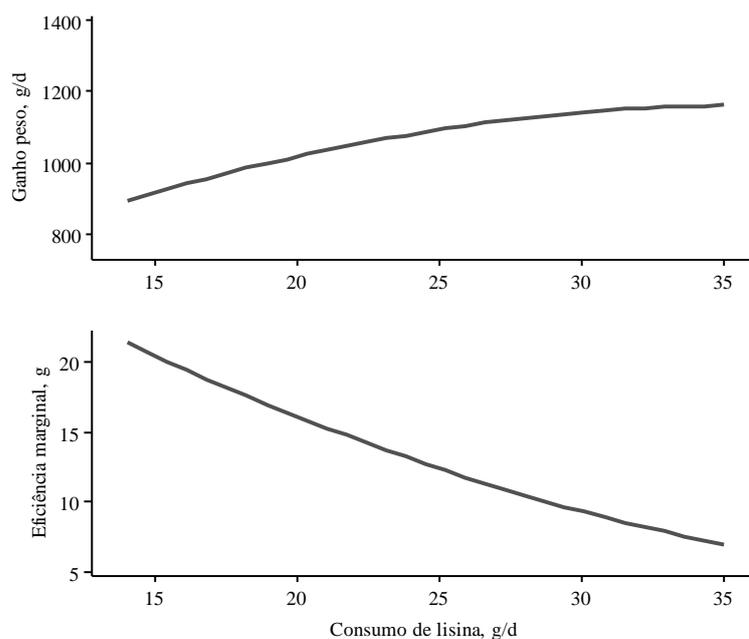


Figura 3. Ganho de peso e eficiência marginal de uso da lisina dietética em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos na fase de terminação (70-120 kg).

Equação de Gompertz = $1286,71 * \exp(-\exp(-0,0668673 * (cLis - (-1,54399))))$, $R^2 = 0,23$; 1º Derivada = $1286,71 * 0,0668673 * \exp(-0,0668673 * (cLis - (-1,54399))) - \exp(-0,0668673 * (cLis - (-1,54399)))$.

Onde cLis é consumo de lisina digestível em g/dia.

A deposição de proteína em função da ingestão diária de lisina digestível mostrou comportamento quadrático nas duas faixas de peso avaliadas (20-50 e 50-70 kg) (Figura 4). O consumo de lisina digestível estimado para alcançar a máxima deposição de proteína foi de 23,2 g/dia para animais pesando entre 20-50 kg e de 31,1 g/dia para animais pesando 50-70 kg. A eficiência de uso da lisina digestível (%) para a deposição de proteína na faixa de 20-50 kg alcançou níveis menores do que os observados na faixa de peso de 50-70 kg. Para o consumo de lisina correspondente a maior deposição de proteína as eficiências de uso da lisina foram de 43% e de 33,4% para animais pesando entre 20-50 kg e entre 50-70 kg, respectivamente. Até o consumo diário de 27 g de lisina digestível a eficiência de uso da lisina para a deposição de proteína é maior para os animais mais pesados (50-70 kg). No entanto, para consumos diários de lisina superiores aos 27 g esta relação tende a se inverter.

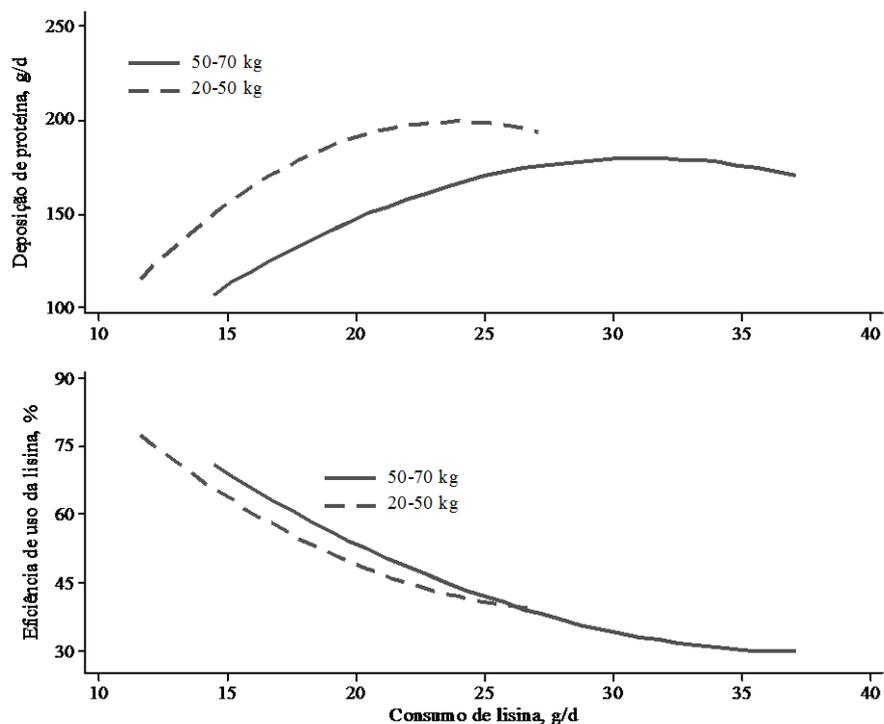


Figura 4. Deposição de proteína e eficiência de uso da lisina para deposição de proteína em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos com pesos entre 20-70 kg.

Equações da deposição de proteína: 20-50 kg = $-120,1 + 26 \text{ cLis} - 0,5597 \text{ cLis}^2$, $R^2 = 0,53$; 50-70 kg = $-73,77 + 16,27 \text{ cLis} - 0,2617 \text{ cLis}^2$, $R^2 = 0,61$. Equações da eficiência de uso da lisina para a deposição de proteína: 20-50 kg = $146,9 - 7,49 \text{ cLis} + 0,1299 \text{ cLis}^2$, $R^2 = 0,84$; 50-70 kg = $138,1 - 5,764 \text{ cLis} + 0,07671 \text{ cLis}^2$, $R^2 = 0,99$. Onde cLis corresponde ao consumo de lisina digestível em g/dia.

Na Figura 5 podemos observar a deposição de lisina e a eficiência marginal de uso da lisina (%) em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos pesando entre 20-70 kg. A eficiência marginal de uso da lisina diminuiu à medida que a ingestão diária de lisina aumentou, sendo que no ponto correspondente a máxima deposição de lisina (consumo de lisina de 23,2 g/dia) foi 16,1% para suínos pesando entre 20-50 kg. Da mesma forma, a eficiência marginal de uso da lisina diminuiu a medida que seu

consumo aumentou para animais pesando entre 50-70 kg e foi de 12,8% no ponto correspondente a maior deposição de lisina (consumo de lisina de 26,1 g/dia).

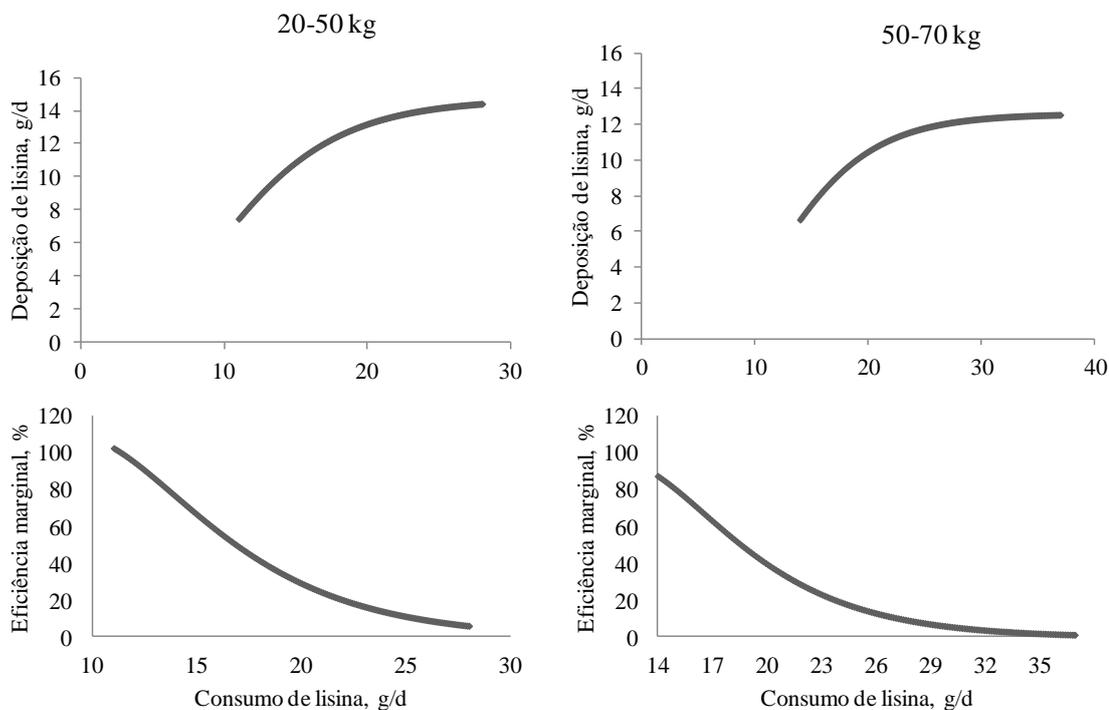


Figura 5. Deposição de lisina e eficiência marginal de uso da lisina em função da ingestão diária de lisina digestível para suínos com pesos entre 20-70 kg.

20-50 kg: Equação de Gompertz = $14,717 * \exp(-\exp(-0,202641 * (cLis - 9,08902)))$, $R^2 = 0,51$; 1°

Derivada = $14,7171 * 0,202641 * \exp(-0,202641 (cLis - 9,08902) - \exp(-0,202641 * (cLis - (-9,08902))))$.

50-70 kg: Equação de Gompertz = $12,6155 * \exp(-\exp(-0,206091 * (cLis - 11,8071)))$, $R^2 = 0,61$; 1°

Derivada = $12,6155 * 0,206091 * \exp(-0,206091 (cLis - 11,8071) - \exp(-0,206091 * (cLis - (-11,8071))))$.

Onde cLis é consumo de lisina digestível em g/dia.

Discussão

A eficiência marginal de uso da lisina dietética para ganho de peso dos suínos nas três faixas de peso avaliadas (20-50, 50-70 e 70-120 kg) está em acordo com a lei de rendimentos decrescentes. Esta lei descreve um menor incremento no ganho de peso

para cada incremento na ingestão do nutriente estudado (Gahl et al., 1994). O mesmo comportamento foi observado para a eficiência de uso da lisina na deposição de proteína na carcaça e na eficiência de uso da lisina para deposição de lisina de suínos de 20-70 kg. A queda na eficiência de uso dos nutrientes da dieta é em parte devido a uma ligeira queda na eficiência digestiva do animal com o aumento do nível de alimentação e, em parte, se deve ao fato de que os processos anabólicos são menos eficientes do que os catabólicos (Kuhi et al., 2009; 2011). Portanto, sucessivos incrementos na ingestão diária de lisina resultam em progressivamente incrementos menores de ganho de peso diário ou de deposição de proteína (Blaxter & Boyne, 1978) seguindo a lei de rendimentos decrescentes.

Estudos que avaliam a eficiência marginal de uso da lisina precisam considerar a variabilidade entre os animais estudados, isto porque a eficiência média de utilização de um nutriente estimada para um grupo de animais é mais baixa que a eficiência estimada para um único animal (Hauschild et al., 2010). Esta diferença está relacionada à variabilidade entre indivíduos e é mais evidente quando a ingestão do nutriente está próxima à máxima deposição de proteína ou máximo ganho de peso (Gahl et al., 1991). Portanto, a resposta curvilínea da eficiência marginal de utilização da lisina, ou resposta de rendimentos decrescentes, tem maior aplicabilidade para a estimativa de exigências de uma população.

Segundo a lei de rendimentos decrescentes, quanto mais próximo do ponto de máximo ganho, menor é a eficiência marginal de uso dos nutrientes adicionados à dieta. Assim, formular dietas para atingir 95% da máxima resposta poderia ser uma alternativa viável. Na primeira faixa de peso vivo avaliada (20-50 kg), 95% da máxima resposta pode ser alcançada com uma economia de 1,9 g de lisina/dia. No entanto, animais com

peso inicial de 20 kg, recebendo dietas para atingir 95% da máxima resposta levariam 1,7 dias a mais para atingir o peso de 50 kg, mas com uma economia de 28 g de lisina/animal/faixa, devido a maior eficiência marginal de uso da lisina dietética. Da mesma forma, na faixa de 50-70 kg a economia de lisina, alcançada pela formulação de dietas para atingir 95% da máxima resposta, corresponde a 2,3 g de lisina/dia ou 27 g de lisina/animal/faixa, mesmo necessitando de 1,4 dias a mais para atingir o peso final de 70 kg. Já na faixa de 70-120 kg uma economia de 2,5 g de lisina/dia ou 25 g de lisina/animal/faixa pode ser conseguida com formulações elaboradas para alcançar 95% da máxima resposta, mesmo que sejam necessários 1,2 dias a mais para alcançar o peso final de 120 kg, do que animais recebendo dietas convencionais formuladas para atingir a máxima resposta. A lei de rendimentos decrescentes segue a lógica do modelo de cinética de saturação típica de sistemas enzimáticos, proposta por Michaelis-Menten, de que as respostas biológicas aos nutrientes reduzem com o aumento da concentração de substratos, em virtude do limite biológico de utilização e/ou da toxidez pelo excesso de substrato (Lana et al., 2005, 2007) o que corrobora as respostas encontradas.

Os atuais modelos de determinação de exigências consideram que a eficiência de uso da lisina é fixa, ou que varia apenas com a idade, desconsiderando a existência dos rendimentos decrescentes nas respostas. A nova versão do NRC (2012), por exemplo, considera que a eficiência de uso da lisina para a deposição de proteína varia apenas com o peso vivo dos suínos e passa de 0,68 a 0,57 para animais pesando 20 e 120 kg, respectivamente. Com base nesses dados do NRC (2012) calcula-se uma eficiência média de uso da lisina de 0,63 para animais de peso médio de 70 kg. Comparativamente, com base nos dados de nosso estudo, os suínos de 70 kg alcançaram esta mesma eficiência média (0,63) a um consumo de lisina de 17 g/dia, valor 30%

inferior ao consumo necessário para alcançar a máxima deposição de proteína observada. Gahl et al. (1994) demonstraram não só que a curva de rendimentos decrescentes existe, mas também que a eficiência marginal de uso da lisina passa a ser zero a partir do ponto de ganho máximo ou de máxima deposição de proteína. Ou seja, a resposta máxima só é atingida com perdas importantes de AA dietéticos consumidos. Estudos mostram que a oxidação de aminoácidos ocorre de forma crescente com o aumento na ingestão destes. A lisina, por exemplo, apresenta um aumento significativo na sua oxidação à medida que sua ingestão aumenta. No entanto, esta afirmação contrasta com alguns modelos que sugerem que quando o consumo de AA está abaixo da exigência sua oxidação é mínima e constante (Mnilk et al., 1996; Moehn et al., 2004). Considerando o importante impacto econômico e ambiental relativo à existência da lei de rendimentos decrescentes é preciso buscar maneiras de melhor estabelecer seus efeitos e incluí-los nos modelos de determinação de exigências.

A ferramenta meta-analítica empregada em nosso estudo permitiu obter respostas sistêmicas e ajustadas a uma maior diversidade experimental, podendo ser utilizada em um maior número de situações práticas. Os dados populacionais compilados e estudados demonstram a existência da lei de rendimentos decrescentes da eficiência marginal de uso da lisina digestível das dietas para ganho de peso e deposição de lisina dos suínos em crescimento e terminação. Também foi possível observar a redução na eficiência total de uso da lisina para a deposição de proteína à medida que o consumo diário de lisina digestível aumentou. No entanto, outros estudos devem ser realizados para confirmar a economia de nutrientes na dieta e a redução da excreção de nutrientes nos dejetos para que se conheça o real impacto econômico e ambiental da

inclusão da lei de rendimentos decrescentes na determinação de exigências de suínos em crescimento e terminação.

O atual cenário da produção de suínos, com margens de lucro cada vez mais estreitas, com maiores exigências no que tange a mitigação dos impactos ambientais da produção e uso racional dos recursos naturais, exige a busca por ajustes mais precisos em todos os aspectos da cadeia produtiva. Referente à nutrição dos animais, muitos avanços já foram feitos em relação à determinação de níveis nutricionais dos ingredientes de maneira rápida e eficaz. Entretanto, no que tange a determinação das exigências dos animais muito ainda precisa ser feito. Neste contexto, a inclusão de novos conceitos como o de rendimentos decrescentes na eficiência marginal de uso dos ingredientes da dieta, pode contribuir na aproximação entre a real exigência do animal aos nutrientes fornecidos na dieta.

Conclusões

A eficiência marginal de uso da lisina digestível para ganho de peso e deposição de lisina e a eficiência total de uso da lisina digestível para a deposição de proteína diminuem à medida que seu consumo aumenta seguindo a lei de rendimentos decrescentes. Assim, dietas formuladas para atender 95% da máxima resposta permitem uma melhora na eficiência marginal de uso da lisina dietética da ordem de 2,4; 2,5 e 1,5 gramas de ganho de peso para cada grama de lisina ingerida nas faixas de peso vivo 20-50; 50-70 e 70-120 kg, respectivamente.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil), e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes, Brasil).

Referências

- Baker, D.H., 1996. Advances in amino acid nutrition and metabolism of swine and poultry. In: KORNEGAY, E.T. (Ed.) **Nutrient management of food animals to enhance and protect the environment**. Boca Raton: CRC – Lewis, p. 41-53.
- Blaxter, K.L., Boyne, A.W., 1978. The estimation of the nutritive value of feeds as energy sources for ruminants and the derivation of feeding systems. **J. Agr. Sci.**, v. 90, p. 47-68.
- De Lange, C.F.M., Marty, B.J., Birkett, S.H., Morel, P., Szkotnicki B., 2001. Application of pig growth models in commercial pork production. **Can. J. Anim. Sci.**, v. 81, p. 1-8.
- De Lange, C.F.M., Levesque, C.L., Kerr, B.J., 2012. Amino acid nutrition and feed efficiency. In: **Feed efficiency in swine**, Patience, J.F. 1º Ed. The Netherlands, 2012, 164p.
- Gahl, M.J., Finke, M.D., Crenshaw, T.D., Benevenga, N.J., 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.**, v. 121, p. 1720-1729.
- Gahl, M.J., Crenshaw, T.D., Benevenga, N.J., 1994. Diminishing returns in weight, nitrogen, and lysine gain of pigs fed 6 levels of lysine from 3 supplemental sources. **J. Anim. Sci.**, v.72, p. 3177-3187.

- Hauschild, L., Pomar, C., Lovatto, P.A., 2010. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, v. 4, p. 714-723.
- Hauschild, L., Lovatto, P.A., Pomar, J., Pomar, C., 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual energy and nutrient requirements in growing-finishing pigs. **J. Anim. Sci.**, v. 90, p. 2255-2263.
- Kuhi, H.D., Kebreab, E., Lopez, S., France, J., 2009. Application of the law of diminishing returns to estimate maintenance requirement for amino acids and their efficiency of utilization for accretion in young chicks. **J. Agr. Sci.**, v. 147, p. 383-390.
- Kuhi, H.D., Rezaee, F., Faridi, A., France, J. Mottaghitalab, M., Kebreab, E., 2011. Application of the law of diminishing returns for partitioning metabolizable energy and crude protein intake between maintenance and growth in growing male and female broiler breeder pullets. **J. Agr. Sci.**, v. 149, p. 385-394.
- Lana, R.P., Goes, R.H.T.B.; Moreira, L.M., Mancio A.B., Fonseca, D.M., Tedeschi, L., 2005. Application of Lineweaver-Burk data transformation to explain animal and plant performance as a function of nutrient supply. **Livest. Prod. Sci.**, v. 98, p. 219-224.
- Lana, R.P.; Abreu, D.C.; Castro, P.F.C. et al. 2007. Kinetics of milk production as a function of energy and protein supplementation. **J. Anim. Sci.**, v. 85, p. 566, suppl. 1.
- Lovatto, P.A., Lehnen, C.R., Andretta, I., Carvalho, A.D., Hauschild, L., 2007. Meta-análise em pesquisas científicas - enfoque em metodologias **R. Bras. Zootec.**, v. 36, p. 285-294.

- Mahan, D.C., Shields, R.G.Jr., 1998. Essential and nonessential amino acid composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight, and comparison to other studies. **J. Anim. Sci.**, v. 76, p. 513-521.
- Minitab. **User's guide meet minitab** 16. 2010. Stat College.
- Mnilk, B., Harris, C.L., Fuller, M.F., 1996. Lysine utilization by growing pigs: Simultaneous measurement of protein accretion and lysine oxidation. **Br. J. Nutr.**, v. 75, p. 57-67.
- Moehn, S., Gillis, A.M., Moughan, P.J., De Lange C.F.M., 2000. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. **J. Anim. Sci.**, v. 78, p. 1510-1519.
- Moehn, S., Ball, R.O., Gillis, A.M., De Lange, C.F., 2004. Growth potential, but not body weight or moderate limitation of lysine intake, affects inevitable lysine catabolism in growing pigs. **J. Nutr.**, v. 134, p. 2287-2292.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. 10 ed. Washington: National academy. 1998, 189p.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. 11 ed. Washington: National academy. 2012, 424p.
- Parks, J.R., 1970. Growth curves and the physiology of growth. III. Effects of dietary protein. **Am. J. Physiol.**, v. 219, p. 840-843.
- Parks, J.R., 1982. **A theory of feeding and growth of animals**. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlim, 322p.
- Rostagno, H.S., Silva, D.J., Costa, P.M.A., Fonseca, J.B., Soares, P.R., Pereira, J.A.A., Silva, M.A., 1992. **Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos: tabelas brasileiras**. Viçosa: UFV, 50p.

- Rostagno H.S., Albino L.F.T., Donzele J.L., Gomes P.C., Ferreira A.S., Oliveira R.F., Lopes D.C., 2000. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos**. Viçosa, 1º Ed., 141 p.
- Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Donzele, J.L., Gomes, P.C., Oliveira, R.F., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Barreto, S.L.T., 2005. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos**. Viçosa, 2º Ed., 186p.
- Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Donzele, J.L., Gomes, P.C., Oliveira, R.F., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Barreto, S.L.T., Euclides, R.F., 2011. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos**. Viçosa, 3º Ed., 186p.
- Sauvant, D., Schmidely, P., Daudin, J.J., St-Pierre, N.R., 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. **Animal**, v. 8, p. 1203-1214.
- Statgraphics. **Statgraphics Plus for Windows v. 5.1**: User manual. Illinois: Manugistics Inc., 2001.
- Van Lunen, T.A., Cole, D.J.A., 1996. The effect of lysine digestible energy ratio on growth performance and nitrogen deposition of hybrid boars, gilts and castrated male pigs. **Anim. Sci.**, v. 63, p. 465-475.
- Van Milgen, J. Dourmad, J.Y., 2015. Concept and application of ideal protein for pigs. **J. Anim. Sci. Biotechnol.**, v. 6. p. 1-11.

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em tempos de escassez de recursos econômicos e preocupações crescentes com o bem-estar dos animais de produção e com o meio ambiente, ajustes cada vez mais precisos da dieta para com as necessidades dos animais e métodos diferenciados de pesquisa são necessários. Os estudos meta-analíticos, em expansão no contexto da produção animal, permitem reunir e explorar de diferentes maneiras um grande conjunto de dados a fim de confirmar ou obter novas respostas. No contexto da suinocultura, avaliações de exigências de lisina para animais de diferentes pesos são numerosas, mas os resultados obtidos e apresentados são diversos. Estudos exploratórios de bancos de dados, como o realizado nessa tese (artigo I), permitem identificar e quantificar os efeitos de variáveis negligenciadas em experimentos tradicionais de dose-resposta como o impacto da eficiência alimentar e do ganho de peso e ainda, obter respostas sistêmicas e ajustadas a uma maior diversidade de condições experimentais. Características metodológicas dos experimentos de determinação de lisina, como a formulação das dietas, a variação apenas no nutriente testado e particularidades no ambiente e no manejo adotado são responsáveis por grande parte da diversidade das respostas encontradas na literatura. Além disso, a taxa de deposição de carne magra e a eficiência com que esta deposição ocorre, o apetite ou potencial de ingestão de alimento inerente a cada animal são determinantes diretos da exigência de lisina por um suíno. Logo, para melhor quantificar exigências de lisina para suínos é preciso trabalhar com respostas baseadas na ingestão diária de lisina ao invés de percentual de lisina na dieta, e ainda, considerar parâmetros representativos do potencial genético do animal como ganho de peso e eficiência alimentar.

A determinação de exigências de lisina para suínos machos castrados pesando entre 15-120 kg de peso vivo e criados em condições brasileiras de produção determinadas com ferramentas meta-analíticas sugere que as atuais tabelas de recomendação nutricional superestimam as exigências (artigo II). Em nosso estudo as exigências de lisina determinadas para maximizar o ganho de peso e a deposição de proteína dos suínos foram, em média, 15,6% menores que as recomendações propostas nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno et al., 2011) e 14,7% menores que as recomendações do NRC (2012). O maior número de dados reunidos via meta-análise e a metodologia analítica empregada (modelo linear-platô) são responsáveis por parte destas diferenças. Mas, etapas preliminares como a determinação de aminoácidos nas dietas e características de cada experimento como genética dos animais, duração do experimento, condições ambientais e período de duração, além da variável resposta escolhida respondem pela maior parte da variação entre os resultados de nosso estudo em relação as tabelas citadas.

Para um ajuste mais preciso entre as reais exigências nutricionais dos animais e as dietas ofertadas, além dos fatores supracitados, outros conceitos pouco utilizados podem ser adotados. É o caso da lei de rendimentos decrescentes que apresenta que a medida que o animal se aproxima ou atinge seu ponto de máximo desempenho a eficiência com que responde ao acréscimo de lisina dietética diminui. Em nosso último artigo (artigo III) a lei de

rendimentos decrescentes da eficiência marginal de uso da lisina dietética para ganho de peso pôde ser claramente observada nas três faixas de peso vivo avaliadas (20-50; 50-70 e 70-120 kg). Este conceito demonstra uma enorme diferença entre a eficiência de uso da lisina no início da curva de ganho de peso em relação ao ponto de maior ganho de peso, local escolhido e definido como ponto de exigência em experimentos empíricos. A diferença observada para a eficiência de uso da lisina entre esses dois pontos da curva foi de 29,8; 17,7 e 11,9 pontos percentuais para as faixas de peso 20-50; 50-70 e 70-120 kg, respectivamente. O conhecimento e a aplicação da lei de rendimentos decrescentes tem um importante impacto econômico e ambiental, uma vez que o maior ganho de peso só é alcançado mediante perdas importantes dos aminoácidos ingeridos. Alternativamente, demonstramos que a opção de trabalhar com dietas formuladas para atender 95% da máxima resposta implica em uma melhoria de 2,4; 2,5 e 1,5 gramas de ganho de peso para cada grama de lisina ingerida. No entanto, novos estudos devem ser realizados para estabelecer o impacto econômico e ambiental da adoção do conceito de rendimentos decrescentes na produção de suínos e validar sua utilização na cadeia produtiva.

Dada a importância da adoção de sistemas de produção sustentáveis com menor excreção de elementos poluidores, que façam uso racional dos recursos naturais e que tenha menor custo de produção, estratégias de ajuste nutricional devem ser adotadas. Uma nutrição mais precisa e ajustada deve considerar um grande número de fatores que impactam as exigências dos animais, deve considerar o perfil de cada animal e também considerar novos conceitos como o de rendimentos decrescentes. Desta forma será possível reestruturar a produção de suínos para que esteja adaptada as exigências dos novos consumidores nos quesitos eficiência alimentar, qualidade de produto e preocupação ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABPA. **Relatório Anual 2015**. Disponível em : < http://abpa-br.com.br/files/RelatorioAnual_UBABEF_2015_DIGITAL.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2015.
- ANDRETTA, I. **Avaliação do impacto produtivo, econômico e ambiental de um sistema de alimentação de precisão para suínos**. 2014. 98f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- BATISTA, R. M. et al. Lisina digestível para suínos machos castrados de alta deposição de carne submetidos a estresse por calor dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 9, p. 1925-1932, 2011.
- COLLIN, A. et al. Effects of exposure to high temperature and feeding level on regional blood flow and oxidative capacity of tissues in piglets. **Experimental Physiology**, Cambridge, v. 86, n. 1, p. 83-91, 2001a.
- COLLIN, A. et al. Effect of high temperature on feeding behavior and heat production in group-housed young pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 86, n. 1, p. 63-70, 2001b.
- COLMERS, W. E.; EL, B. B. Neuropeptide Y and epilepsy. **Epilepsy Currents**, Bethesda, v. 3, n. 2, p. 53-58, 2003.
- CONNOR, M. L. Update on alternative housing for pigs. In: MANITOBA SWINE SEMINAR, 1994, Manitoba. **Anais...** Manitoba, 1998. v. 8, p. 93-96.
- De LANGE, C. F. M. et al. Application of pig growth models in commercial pork production. **Canadian Journal Animal Science**, Ottawa, v. 81, n. 1, p. 1-8, 2001.
- DOURMAD, J. Y.; JONDREVILLE, C. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. **Livestock Science**, Amsterdam, v.112, n. 3, p.192-198, 2007.
- EDMONDS, M. S. et al. Effect of protein levels and space allocations on performance of growing finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, n. 3, p. 814-821, 1998.
- FAOSTAT. FAO Statistical Databases [base de dados]. Roma: FAO, 2013. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 14 dez. 2013.
- FREITAS, A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n. 3, p. 786-795, 2005.
- FULLER, M. F. (Ed.) **The encyclopedia of farm animal production**. Wallingford: CABI Publishing, 2004. 536p.
- 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. **Journal of Nutrition**, Bathesda, v. 121, n. 11, p.1720-1729, 1991.

- GAHL, M. J., et al. Diminishing returns in weight, nitrogen, and lysine gain of pigs fed 6 levels of lysine from 3 supplemental sources. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 12, p. 3177-3187, 1994.
- GILES, L. R. et al. Predicting feed intake in growing pigs. In: WISEMAN, J., VARLEY, M. A., CHADWICK, J. P. (Ed.). **Progress in Pig Science**. Nottingham: Nottingham University, 1998. p. 209-228.
- GONYOU, H. W.; STRICKLIN, W. R. Effects of floor allowance and group size on the productivity of growing/finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, n. 5, p. 1326-1330, 1998.
- GOUS, R. M. et al. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 78, n. 6, p. 812-821, 1999.
- GREEN, D. M.; WHITTEMORE, C. T. Architecture of a harmonized model of the growing pig for the determination of dietary net energy and protein requirements and of excretions into the environment (IMS Pig). **Animal Science**, Cambridge, v. 77, n. 1, p. 113-130, 2003.
- GU, Y. et al. Effects of ractopamine, genotype, and growth phase on finishing performance and carcass value in swine. II. Estimation of lean growth rate and lean feed efficiency. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 69, n. 7, p. 2694-2702, 1991.
- HAUSCHILD, L. et al. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, Cambridge, v. 4, p. 714-723, 2010.
- 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.
- HOLMES, M. A.; CLOSE, W. H. The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in pigs. In: HARESIGN, W., et al. (Ed.). **Nutrition and the climatic environment**. London: Butterworths, 1977. p. 51-74.
- Kuhi, H. D. et al. Application of the law of diminishing returns to estimate maintenance requirement for amino acids and their efficiency of utilization for accretion in young chicks. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 147, n. 1, p. 383-390, 2009.
- Kuhi, H. D. et al. Application of the law of diminishing returns for partitioning metabolizable energy and crude protein intake between maintenance and growth in growing male and female broiler breeder pullets. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. n. 3, 149, p. 385-394, 2011.
- KYRIAZAKIS, I.; EMMANS, G. C. Voluntary food intake and diet selection. In: KYRIAZAKIS, I. (Ed.). **A quantitative biology of the pig**. Scottish: CABI Publishing, 1999, p. 229-249.

- LE BELLEGO, L. et al. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, n. 3, p. 691-701, 2002.
- LOVATTO, P. A. et al. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura gaúcha: interface vegetal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 957-962, 2010.
- MAENZ, D. D. et al. The influence of the mineral level in drinking water and the thermal environment on the performance and intestinal fluid flux of newly-weaned pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 2, p. 300-308, 1994.
- MASSABIE, P. et al. Effects of environmental conditions on the performance of growing-finishing pigs. In: LIVESTOCK Environment V. Saint Joseph, USA : American Society of Agricultural Engineers. 1997. v. 2, p. 1010-1016. (Proc. 5th International Symposium, Bloomington, 1997).
- MNILK, B. et al. Lysine utilization by growing pigs: Simultaneous measurement of protein accretion and lysine oxidation. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 75, n.1, p. 57-67, 1996.
- MOEHN, 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. 1510-1519, 2000.
- MOEHN, S. et al. Growth potential, but not body weight or moderate limitation of lysine intake, affects inevitable lysine catabolism in growing pigs. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 134, n. 9, p. 2287-2292, 2004.
- NOBLET, J.; QUINIOU, N. Principaux facteurs de variation du besoin en acides aminés du porc en croissance. In: TECHNI-PORC, 1999, Barcelona. **Anais...** Barcelona, 1999. v.22, p.9-16
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. 10 ed. Washington: National academy. 1998. 189p.
- NRC. **Nutrient requirements of swine**. 11 ed. Washington, DC, USA: National Academy Press, 2012. 424p.
- NYACHOTI, C. M. et al. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. **Canadian Journal Animal Science**, Ottawa, v. 84, n. 5, p. 549-566, 2004.
- PARKS, J. R. Growth curves and the physiology of growth. III. Effects of dietary protein. **American Journal of Physiology**, St. Louis, v. 219, n.3, p. 840-843, 1970.
- PARKS, J. R. **A theory of feeding and growth of animals**. Berlim: Springer-Verlag, 1982. 322p.
- PESTI, G.M. et al. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, Edinburgh, v. 50, p. 16-32. 2009.

- POMAR, C. et al. Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing animals. In: SAUVANT, D.; MILGEN, J. et al. (Org.). **Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2010. p. 327-334.
- QUINIOU, N.; NOBLET, J. Influence of high ambient temperature on performance of multiparous lactating sows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 8, p. 2124-2134, 1999.
- RENAUDEAU, D. et al. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, n. 7, p. 2220-2230, 2011.
- ROPPA, L. Evolução do mercado mundial de suínos nos últimos 30 anos. In: PRODUÇÃO de suínos: teoria e prática. Brasília: Associação Brasileira de Criadores de Suínos; Coordenação Técnica da Integrall Soluções em Produção Animal, 2014. p. 23-39.
- ROSTAGNO, H. S. et al. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n. suplement. esp., p. 295-304, 2007.
- ROSTAGNO, H.S. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2011. 186p.
- SIMMONS, J. Making safe, affordable and abundant food a global reality. In: TECHNOLOGY'S ROLE IN THE 21ST CENTURY, 2011, Greenfield. **Anais...** Greenfield, 2011. p. 1-12.
- TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, Philadelphia, v. 418, n.1, p. 671-677, 2002.
- VAN LUNEN, T. A.; COLE, D. J. A. The effect of lysine digestible energy ratio on growth performance and nitrogen deposition of hybrid boars, gilts and castrated male pigs. **Animal Science**, Cambridge, v. 63, n.3, p. 465-475, 1996.
- VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Partitioning of energy intake to heat protein and fat in growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. supl. esp., p. 86-93, 2003.
- VAN MILGEN, J.; DOURMAD, J. Y. Concept and application of ideal protein for pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, London, v. 6, n.1, p. 1-11, 2015.
- ZANI, A.; ZANI, G. 2050, uma odisséia na alimentação. **Feed e Food** [on-line], n.96, p. 54-55, abr. 2015. Disponível em: <<http://www.revistafeedfood.com.br/pub/curuca/?numero=96>>. Acesso em: 03 ago. 2015.
- WHITTEMORE, C. T. The science and practice of pig production. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd., 1998.
- WHITTEMORE, C. T. et al. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein. **Animal Science**, Cambridge, v.73, n. 1, p. 363-373, 2001.

WHITTEMORE, C. T.; KYRIAZAKIS, I. **Whittemore's science and practice of pig production**. Oxford: Wiley, 2006.

Apêndice 1 - Lista das Referências Bibliográficas que compõem a base de dados desse estudo meta-analítico

- Abreu, M.L.T., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Oliveira, A.L.S., Silva, F.C.O., Moita, A.M.S., 2006. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético dos 15 aos 30 kg. R. Bras. Zootec., 35, 1039-1046.
- Abreu, M.L.T., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Oliveira, A.L.S., Haese, D., Pereira, A.A., 2007a. 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. R. Bras. Zootec., 36, 62-67.
- Abreu, M.L.T., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Oliveira, A.L.S., Santos, F.A., Pereira, A.A., 2007b. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 60 aos 95 kg. R. Bras. Zootec., 36, 54-61.
- Almeida, E.C., Fialho, E.T., Rodrigues, P.B., Zangeronimo, M.G., Lima, J.A.F., Fontes, D.O., 2010. Ractopamine and lysine levels on performance and carcass characteristics of finishing pigs. R. Bras. Zootec., 39, 1961-1968.
- Arouca, C.L.C., Fontes, D.O., Ferreira, W.M., Silva, M.A., Pereira, F.A., 2004. Exigências de lisina, com base no conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados, de 95 a 122kg, selecionados para deposição de carne magra. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., 56, 773-781.
- Arouca, C.L.C., Fontes, D.O., Veloso, J.A.F., Moreira, H.F.V., Marinho, P.C., 2005. Exigências de lisina, com base no conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados dos 96 aos 120kg, selecionados para eficiência de crescimento. Arq. Bras. Med. vet. Zootec., 57, 104-111.
- Arouca, C.L., Fontes, D.O., Baião, N.C., Silva, M.A., Silva, F.C.O., 2007. Níveis de lisina para suínos machos castrados selecionados Geneticamente para deposição de carne magra Na carcaça, dos 95 aos 122 kg. Ciênc. agrotec., Lavras, 31, 531-539.
- Batista, R.M., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Oliveira, W.P., Lima, A.L., Abreu, M.T.L., 2011. Lisina digestível para suínos machos castrados de alta deposição de carne submetidos a estresse por calor dos 30 aos 60 kg. R. Bras. Zootec., 40, 1925-1932.
- Cantarelli, V.S., Fialho, E.T., Almeida, E.C., Zangeronimo, M.G., Rodrigues, P.B., Rilke reitas, T.F., 2009a. Ractopamine for finishing barrows fed restricted or ad libitum diets: performance and nitrogen balance. R. Bras. Zootec., 38, 2375-2382.
- Cantarellil, V.S., Fialho, E.T., Almeida, E.C., Zangeronimo, M.G., Amaral, N.O., Lima, J.A.F., 2009b. Características da carcaça e viabilidade econômica do uso de cloridrato de ractopamina para suínos em terminação com alimentação à vontade ou restrita. Ciência Rural, Santa Maria, 39, 844-851.
- Fraga, A.L., Moreira, I., Furlan, A.C., Bastos, A.O., Oliveira, R.P., Murakami, A.E., 2008. Lysine Requirement of Starting Barrows from Two Genetic

- Groups Fed on Low Crude Protein Diets. **Brazilian archives of biology and technology**. 51, 49-56.
- Ferreira, R.A., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Lopes, D.C., Orlando, U.A.D., Resende, W.O., Vaz, R.G.M.V., 2003. Redução da Proteína Bruta da Ração para Suínos Machos Castrados dos 15 aos 30 kg Mantidos em Termoneutralidade. *R. Bras. Zootec.*, 32, 1639-1646.
- Ferreira, R.A., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Araújo, C.V., Silva, F.C.O., Fontes, D.O., Saraiva, E.P., 2005. Redução do Nível de Proteína Bruta e Suplementação de Aminoácidos em Rações para Suínos Machos Castrados Mantidos em Ambiente Termoneuro dos 30 aos 60 kg. *R. Bras. Zootec.*, 34, 548-556.
- Ferreira, R.A., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Araújo, C.V., Silva, F.C.O., Vaz, R.G.M.V., Rezende, W.O., 2006. Redução da proteína bruta da ração e suplementação de aminoácidos para suínos machos castrados dos 15 aos 30 kg mantidos em ambiente de alta temperatura. *R. Bras. Zootec.*, 35, 1056-1062.
- Gasparotto, L.F., Moreira, I., Furlan, A.C., Martins, E.N., Júnior, M.M., 2001. Exigência de Lisina, com Base no Conceito de Proteína Ideal, para Suínos Machos Castrados de Dois Grupos Genéticos, na Fase de Crescimento. *Rev. bras. zootec.*, 30, 1742-1749.
- Gattás, G., Silva, F.C.O., Barbosa, F.F., Donzele, J.L., Ferreira, A.S., Oliveira, R.F.M., 2012. Níveis de lisina digestível em dietas para suínos machos castrados dos 60 aos 100 dias de idade. *R. Bras. Zootec.*, 41, 91-97.
- Hannas, M.I., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Ferreira, A.S., Lopes, D.C., Soares, J.L., Moretti, A.M., 2000. Proteína Bruta para Suínos Machos Castrados Mantidos em Ambiente de Conforto Térmico dos 15 aos 30 kg. *Rev. bras. zootec.* 29, 476-484.
- Manno, M.C., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Ferreira, A.S., Oliveira, W.P., Lima, K.R.S., Vaz, R.G.M.V., 2005. Efeito da Temperatura Ambiente sobre o Desempenho de Suínos dos 15 aos 30 kg. *Rev. bras. zootec.* 34, 1963-1970.
- Manno, M.C., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Oliveira, W.P., Vaz, R.G.M.V., Silva, B.A.N., Saraiva, E.P., Lima, K.R.S., 2006. Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. *R. Bras. Zootec.*, 35, 471-477.
- Marinho, P.C., Fontes, D.O., Silva, F.C.O., Silva, M.A., Pereira, F.A., Arouca, C.L.C., 2007a. Efeito da ractopamina e de métodos de formulação de dietas sobre o desempenho e as características de carcaça de suínos machos castrados em terminação. *R. Bras. Zootec.*, 36, 1061-1068.
- Marinho, P.C., Fontes, D.O., Silva, F.C.O., Silva, M.A., Pereira, F.A., Arouca, C.L.C., 2007b. Efeito dos níveis de lisina digestível e da ractopamina sobre o desempenho e as características de carcaça de suínos machos castrados em terminação. *R. Bras. Zootec.*, 36, 1791-1798.
- Moreira, I., Gasparotto, L.F., Furlan, A.C., Patrício, V.M.I., Oliveira, G.C., 2002. Exigência de Lisina para Machos Castrados de Dois Grupos Genéticos de Suínos na Fase de Terminação, com Base no Conceito de Proteína Ideal. *R. Bras. Zootec.*, 31, 96-103.

- Moreira, I., Kutschenko, M., Furlan, A.C., Murakami, A.E., Martins, E.N., Scapinello, C., 2004. Exigência de lisina para suínos em crescimento e terminação, alimentados com rações de baixo teor de proteína, formuladas de acordo com o conceito de proteína ideal. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 26, 537-542.
- Moretto, V., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Fontes, D.O., 2000. Níveis Dietéticos de Lisina para Suínos da Raça Landrace dos 15 aos 30 kg. *Rev. bras. zootec.*, 29, 803-809.
- Oliveira, A.L.S., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Ferreira, A.S., Moita, A.M.S., Generoso, R.A.R., 2003a. Lisina em Rações para Suínos Machos Castrados Seleccionados para Deposição de Carne Magra na Carcaça dos 110 aos 125 kg. *R. Bras. Zootec.*, 32, 150-155.
- Oliveira, A.L.S., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Lopes, D.C., Moita, A.M.S., Silva, F.C.O., Freitas, L.S., 2003b. Lisina em Rações para Suínos Machos Castrados Seleccionados para Deposição de Carne Magra na Carcaça dos 95 aos 110 kg. *R. Bras. Zootec.*, 32, 337-343.
- Oliveira, G.C., Moreira, I., Fraga, A.L., Kutschenko, M., Sartori, I.M., 2005. Metabolizable Energy Requirement for Starting Barrow Pigs (15 to 30 kg) Fed on the Ideal Protein Concept Based Diets. *Brazilian Archives Of Biology And Technology.*, 48, 729-737.
- Oliveira, A.L.S., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Abreu, M.L.T., Ferreira, A.S., Silva, F.C.O., Haese, D., 2006. Exigência de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 15 aos 30 kg. *R. Bras. Zootec.*, 35, 2338-2343.
- Oliveira, A.L.S., Donzele, J.L., Abreu, M.L.T., Silva, F.C.O., Oliveira, R.F.M., Ferreira, A.S., Santos, F.A., 2009. Exigência de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 30 aos 60 kg. *Rev. Bras. Saúde Prod. An.*, 10, 106-114.
- Rezende, W.O., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Abreu, M.L.T., Ferreira, A.S., Silva, F.C.O., Apolônio, L.R., 2006. Níveis de energia metabolizável mantendo a relação lisina digestível:caloria em rações para suínos machos castrados em terminação. *R. Bras. Zootec.*, 35, 1101-1106.
- Santos, F.A., Donzele, J.L., Silva, F.C.O., Oliveira, R.F.M., Abreu, M.L.T., Saraiva, A., Haese, D., Lima, A.L., 2011. Níveis de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético dos 95 aos 125 kg. *R. Bras. Zootec.*, 40, 1038-1044.
- Saraiva, E.P., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Ferreira, A.S., Ferreira, R.A., Rezende, W.O., Orlando, U.A.D., Vaz, R.G.M.V., 2003. Níveis de Proteína Bruta em Rações para Suínos Machos Castrados em Fase Inicial de Crescimento, Mantidos em Ambiente de Baixa Temperatura. *R. Bras. Zootec.*, 32, 1690-1696.
- Sobrinho, D.C.S., Oliveira Junior, G.M., Roner, M.N.B.; Ferreira, A.S., Oliveira, A.G., Santos, W.G., Gomide, A.P.C., 2013. Morais, J.A.S. Lisina digestível para suínos machos castrados submetidos a estresse por calor dos 95 aos 115 kg. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, Salvador, 14, 546-557.

- Trindade Neto, M.A., Moreira, J.A., Berto, D.A., Miguel, W.C., Schammas, E.A., 2008. Níveis de proteína bruta em dietas comerciais para suínos em crescimento e terminação. *R. Bras. Zootec.*, 37, 103-108.
- Zangeronimo, M.G., Fialho, E.T., Lima, J.A.F., Girão, L.V.C., Amaral, N.O., Silveira, H., 2009. Desempenho e características de carcaça de suínos dos 20 aos 50 kg recebendo rações com reduzido teor de proteína bruta e diferentes níveis de lisina digestível verdadeira. *Ciência Rural*, 39, 1507-1513.
- Zangeronimo, M.G., Cantarelli, V.S., Fialho, E.T., Amaral, N.O., Silveira, H., Lima, J.A.F., 2009. Performance and carcass characteristics of swine at 50 kg fed diets with different energy levels and reduced Levels of crude protein. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 33, 903-910.

VITA

Raquel Melchior, filha de Ejair José Melchior e Virginia Helena da Silva Melchior, nasceu no dia 26 de julho de 1987, em Sobradinho, RS. cursou o ensino fundamental na Escola Estadual de Ensino Fundamental José Luchese em Lagoa Bonita do Sul e, o ensino médio, na Escola Estadual de Educação Básica Padre Benjamim Coppeti, em Sobradinho.

Graduou-se em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria, RS, em 2010. Durante a graduação, atuou na área de produção e nutrição de suínos no Setor de Suínos, onde participou de projetos de extensão e pesquisa. Como requisito para conclusão da graduação, realizou o estágio curricular no Centro de Pesquisa da Nutron (CPNA) na cidade de Mogi Mirim em São Paulo.

Em março de 2010, iniciou seu curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na área de concentração "Produção Animal". Vindo a obter o título de Mestre em Zootecnia em fevereiro de 2012, com a defesa da dissertação intitulada "Produtividade e bem-estar de porcas gestantes alojadas em baias coletivas com piso de concreto ou cama sobreposta" com orientação do Prof. Dr. Irineo Zanella e coorientação do Prof. Dr. Paulo Alberto Lovatto. Em 2013, também na UFSM, ingressou no Programa Especial de Graduação de Formação de Professores para Educação Profissional, recebendo o grau equivalente à Licenciatura Plena em janeiro de 2015.

Em abril de 2012, iniciou seu 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 da Prof. Dr. Alexandre de Mello Kessler. No período de novembro de 2013 a abril de 2014 realizou estágio de doutorado no projeto CAPES-COFECUB Biologia Integrativa junto ao Institut National de la Recherche Agronomique - INRA, Saint-Gilles - França sob orientação do Dr. Jaap Van Milgen.

Durante a vida acadêmica, participou de projetos de pesquisa em nutrição de aves e suínos, apresentou trabalhos em congressos nacionais e internacionais, ministrou aulas para a graduação e o ensino técnico, publicou artigos e resumos como autora e coautora.