

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL E
DA VARIAÇÃO NO POTENCIAL DE DEPOSIÇÃO DE
PROTEÍNAS NO DESEMPENHO, COMPOSIÇÃO
CORPORAL E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DA LISINA EM
SUÍNOS EM CRESCIMENTO**

Cleslei Alisson Silva

Zootecnista

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL E
DA VARIAÇÃO NO POTENCIAL DE DEPOSIÇÃO DE
PROTEÍNAS NO DESEMPENHO, COMPOSIÇÃO
CORPORAL E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DA LISINA EM
SUÍNOS EM CRESCIMENTO**

Discente: Cleslei Alisson Silva

Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild

Coorientador: Dr. Danilo Alves Marçal

Coorientador: Prof. Dr. Luan Sousa dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Henrique R. F. Campos

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

S586e	Silva, Cleslei Alisson Efeito de Diferentes Níveis de Lisina Digestível e da Variação no Potencial de Deposição de Proteínas no Desempenho, Composição Corporal e Eficiência de Utilização da lisina em Suínos em Crescimento / Cleslei Alisson Silva. -- Jaboticabal, 2021 40 p. : tabs. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Luciano Hauschild Coorientador: Danilo Alves Marçal 1. Suinocultura. 2. Nutrição animal. 3. Deposição de proteína. 4. Eficiência de utilização. 5. Lisina. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL E DA VARIAÇÃO NO POTENCIAL DE DEPOSIÇÃO DE PROTEÍNAS NO DESEMPENHO, COMPOSIÇÃO CORPORAL E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DA LISINA EM SUÍNOS EM CRESCIMENTO

AUTOR: CLESLEI ALISSON SILVA

ORIENTADOR: LUCIANO HAUSCHILD

COORIENTADOR: PAULO HENRIQUE REIS FURTADO CAMPOS

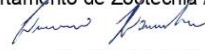
COORIENTADOR: LUAN SOUSA DOS SANTOS

COORIENTADOR: DANILO ALVES MARÇAL

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



Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. CHEILA ROBERTA LEHNEN (Participação Virtual)
Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG / Ponta Grossa/PR



Prof. Dr. EDNEY PEREIRA DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 28 de julho de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Cleslei Alisson Silva nascido em Uberlândia – MG, no dia 21 de novembro de 1994, graduou-se em Zootecnia na Universidade Federal de Uberlândia – UFU em 2017. Durante a graduação foi membro por três anos do Programa de Educação Tutorial – PET do curso de Zootecnia da UFU sob orientação da Profa. Dra. Natascha Almeida Marques da Silva. No ano de 2019 iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-graduação em Zootecnia e realizou o projeto intitulado **“Efeito de Diferentes Níveis de Lisina Digestível e da Variação no Potencial de Deposição de Proteínas no Desempenho, Composição Corporal e Eficiência de Utilização da lisina em Suínos em Crescimento”**.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela benção da vida.

À minha família, por me apoiar em todos os momentos e todas as minhas escolhas.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nos momentos de felicidade e de luta.

Aos meus professores da graduação, pelos ensinamentos profissionais e pessoais a mim transmitidos.

À UNESP – FCAV, pelo programa de pós-graduação e todo o suporte prestado a mim como estudante.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de mestrado (nº 135572/2019-3).

À Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio à pesquisa JP – FAPESP (nº 18/15559-7).

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

Às empresas Agrocere PIC, Seara Alimentos e Evonik Industries, pelo financiamento, cooperação e doação de insumos.

Ao meu orientador de mestrado Prof. Dr. Luciano Hauschild pela confiança, incentivo, ensinamentos, ajuda e parceria em cada desafio.

Aos meus co-orientadores Dr. Danilo Alves Marçal, Prof. Dr. Paulo H. R. F. Campos e Prof. Dr. Luan Sousa dos Santos pela colaboração na minha caminhada para se tornar mestre.

Aos meus amigos de pós-graduação, estagiários e funcionários envolvidos na realização desse trabalho. Deixo registrada a minha eterna gratidão.

Aos professores membros da banca de qualificação e de defesa, pela colaboração e melhorias do trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal até aqui. Muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....	6
1.1 Introdução	6
1.2 Revisão de literatura	7
1.2.1 Potencial para deposição de proteínas	7
1.2.2 Exigências de lisina para suínos em crescimento	9
1.2.3 Eficiência de utilização da lisina	11
1.2.4 Problemática do tema pesquisado	12
1.2.5 Perspectiva e Hipótese.....	12
1.2.6 Estruturação da dissertação.....	12
1.2.7 Objetivo	13
1.3 Referências	14
CAPÍTULO 2 - Effect of standardized ileal digestible lysine and protein deposition potential on performance, body composition and efficiency of lysine utilization of growing pigs	17
INTRODUCTION	20
MATERIALS AND METHODS.....	21
RESULTS.....	25
DISCUSSION	27
CONCLUSION	31
LITERATURE CITED	32



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **“Estimativa de exigência para manutenção, eficiência de utilização e nível ideal de lisina para suínos com alto potencial genético”**, protocolo nº 14150/19, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Luciano Hauschild, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 14 de novembro de 2019.

Vigência do Projeto	19/11/2019 a 20/02/2020
Espécie / Linhagem	Suína
Nº de animais	63
Peso / Idade	Média 50 kg
Sexo	Machos
Origem	Granja Paraíso

Jaboticabal, 14 de novembro de 2019.


Prof.ª Dr.ª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 - Jaboticabal/ SP - Brasil
tel 16 3209 7100 www.fcav.unesp.br

EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL E DA VARIAÇÃO NO POTENCIAL DE DEPOSIÇÃO DE PROTEÍNAS NO DESEMPENHO, COMPOSIÇÃO CORPORAL E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DA LISINA EM SUÍNOS EM CRESCIMENTO

RESUMO – O avanço no melhoramento genético tem permitido melhoras no potencial de deposição de proteína com consequente influência não somente na exigência de lisina como também na eficiência de utilização. Desta forma, foi conduzido este estudo com o objetivo de avaliar a influência do potencial de deposição proteica e de diferentes níveis de lisina da dieta no desempenho, composição corporal e a eficiência de utilização da lisina por suínos machos inteiros em crescimento. Um total de 64 suínos machos inteiros geneticamente similares foram alocados em oito tratamentos (oito animais por tratamento) em um arranjo fatorial 2×4 com dois grupos de DP (DP baixa e DP alta) e quatro níveis de lisina digestível (55, 68, 82 e 95% das recomendações do NRC). A deposição de proteína foi mesurada durante um período de 23 dias (dia 0 a 23) e, no dia 24 ($39,2 \pm 5,7$ kg de PV), cada um dos grupos de DP foi distribuído aleatoriamente a um dos quatro níveis de lisina digestível na dieta por um período de 28 dias. Não houve interações ($P > 0,05$) entre os grupos de DP e os níveis de lisina digestível para todas as variáveis avaliadas neste estudo. o GPD, CRD, CA, ganho de proteína, ganho de lipídio, PV final, proteína corporal e lipídios corporais aumentaram em função do aumento dos níveis de lisina digestível na dieta ($P < 0,05$). O PV inicial, proteína corporal inicial, lipídio corporal inicial, GPD, CRD, ganho proteico, ganho lipídico, PV final, proteína corporal final e lipídio corporal final foram maiores ($P < 0,05$) para o grupo de DP alta, enquanto a CA foi semelhante entre os grupos de DP ($P > 0,05$). A ingestão de Lisina digestível e retenção de Lisina aumentaram e a eficiência de utilização diminuiu em função do aumento da lisina na dieta ($P < 0,05$). Não houve diferença na eficiência de utilização da lisina entre os grupos de DP ($P > 0,05$). A ingestão de energia líquida e a ingestão de PB foram diferentes entre os grupos de DP e os níveis de lisina digestível ($P < 0,05$). Não houve diferença na excreção de nitrogênio (N) entre os níveis de lisina na dieta e eficiência na retenção de N entre os grupos de DP ($P > 0,05$). Os resultados indicam que não houve interação entre o potencial de deposição de proteína e os níveis de lisina na dieta. O potencial de deposição de proteína e aumento dos níveis de lisina na dieta

melhora o desempenho e composição corporal. Contudo, o potencial de deposição de proteína não influencia na eficiência de utilização da lisina.

Palavras-chave: deposição de proteína, eficiência de utilização, lisina.

EFFECT OF STANDARDIZED ILEAL DIGESTIBLE LYSINE AND PROTEIN DEPOSITION POTENTIAL ON PERFORMANCE, BODY COMPOSITION AND EFFICIENCY OF LYSINE UTILIZATION OF GROWING PIGS

ABSTRACT - Genetic improvements has produced pigs with higher protein deposition potential in the carcass and this increase may influence not only the lysine requirement, but also the efficiency of its utilization. In this way, this study was conducted to evaluate the influence of protein deposition potential and dietary lysine levels on performance, body composition and lysine efficiency utilization of growing entire male pigs. A total of 64 genetically similar entire male were allotted in one of eight treatments (eight animals per treatment) in 2×4 factorial arrangement with two PD groups (low PD and high PD) and four SID Lys levels (55, 68, 82 e 95% of NRC recommendations). Protein deposition were measured over a 23-day period (day 0 to 23) and, on day 24 (39.2 ± 5.7 kg of BW), each one of the PD groups were randomly assigned to one of the four dietary SID Lys for a period of 28 days. There were no interactions ($P > 0.05$) between PD groups and SID Lys levels for any of the variables evaluated in this study. ADG, ADFI, F:G, protein gain, lipid gain, final BW, final body protein and final body lipid were improved by the dietary SID Lys levels ($P < 0.05$). Initial BW, initial body protein, initial body lipid, ADG, ADFI, protein gain, lipid gain final BW, final body protein and final body lipid were higher ($P < 0.05$) for the high PD group, while F:G ratio was similar between PD groups ($P > 0.05$). SID Lys intake and Lys retention increased with increasing dietary lysine while utilization efficiency decreased ($P < 0.05$). There was no difference in lysine utilization between PD groups ($P > 0.05$). Net energy intake and CP intake were different between PD groups and SID Lys levels ($P < 0.05$). There were no differences in nitrogen (N) excretion between SID Lys levels and N efficiency retention between PD groups ($P > 0.05$). The results indicate that there was no interaction between protein deposition potential and dietary Lys levels, but isolated, higher Lys levels may improve performance, body composition and Lys utilization efficiency while different protein deposition potential groups do not influence Lys utilization efficiency.

Keywords: protein deposition, efficiency utilization, lysine.

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1.1 Introdução

A atividade suinícola vem apresentando mudanças positivas ao longo de seu registro na história. Com cada vez mais tecnificação empregada e maior conhecimento implementado no ramo, é notório o reflexo nos crescimentos anuais que a atividade registra. De acordo com o relatório anual de 2021 publicado pela Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), em 2020 houve um crescimento próximo de 11,37% na produção brasileira de carne suína quando comparada com o ano anterior, enquanto a produção mundial reduziu sua produção em 4,14% no mesmo período.

Devido a sua distribuição intercontinental, alguns pilares para uma adequada condução da suinocultura industrial são constantemente colocados em foco. A necessidade de uma produção efetivamente sustentável, que siga as diretrizes internacionais propostas em relação ao bem-estar animal e que ainda assim traga retorno do capital investido, é indispensável para uma produção competitiva intrínseca a um mercado consumidor exigente.

O atendimento das demandas da suinocultura moderna envolve a compreensão da produção dentro de uma perspectiva sistemática. O produto fornecido ao mercado consumidor ao fim da linha de produção é dependente da ciência empregada nas fases anteriores do sistema. Nesse contexto, uma nutrição adequada mostra-se como um fator que norteia para métodos de produção mais eficazes, uma vez que corresponde por cerca de três quartos dos custos. Nesse sentido, a utilização de técnicas de nutrição de precisão pode tornar o sistema de produção viável, econômico e sustentável, devido a acurácia na utilização de recursos.

Níveis adequados de aminoácidos nas dietas podem reduzir custos e impactos ambientais na produção de suínos. A lisina é considerada o aminoácido de referência porque sua análise em rações é relativamente simples e há vários estudos sobre seu uso em dietas para animais não ruminantes. Para suínos alimentados com milho e farelo de soja, a lisina é o primeiro aminoácido limitante (Baker e Han, 1994; Boisen, 2003). Além disso, foi observado que o aumento da ingestão de lisina digestível proporciona melhorias no desempenho (Aymerich et al., 2020).

A taxa de deposição de proteína é diretamente afetada pela ingestão de lisina digestível. Quanto maior for a ingestão de lisina, a taxa de deposição diária deste aminoácido aumenta até atingir o potencial máximo (Colina et al., 2016; Hewitt et al., 2020). Uma ingestão menor de lisina tem sido proporcionalmente associada a uma maior eficiência na utilização da lisina (Heger et al., 2008). Além disso, populações de suínos com a mesma composição genética mostram uma variabilidade na deposição de proteína entre os indivíduos. Suínos com maior potencial de deposição tem menor perda de lisina por vias catabólicas em comparação aos suínos que depositam menos proteína (Moehn et al., 2004). Entretanto, as necessidades nutricionais são calculadas utilizando equações fatoriais baseadas no desempenho médio de crescimento populacional (Hauschild et al., 2010). Assim, surgem dúvidas sobre o uso desses modelos para calcular diferentes necessidades de nutrientes para suínos dentro da mesma população.

O uso do método fatorial para estimar as necessidades nutricionais contabiliza separadamente as necessidades de lisina para manutenção e para a síntese e deposição de proteínas, considerando a eficiência da utilização deste aminoácido. Assim, devido à baixa disponibilidade de estudos que investigaram a influência da variabilidade intra-genótipo do potencial de deposição de proteína na eficiência da utilização da lisina pelos suínos, uma determinação mais precisa da influência da ingestão de lisina e do potencial de deposição de proteína na eficiência da utilização da lisina pode ser uma ferramenta importante para calibrar os modelos de estimativa das necessidades de lisina digestível atualmente adotados (van Milgen et al., 2008; NRC, 2012; Rostagno et al., 2017; Muniz et al., 2019).

1.2 Revisão de literatura

1.2.1 Potencial para deposição de proteínas

O limite para uma deposição proteica máxima diária de suínos em crescimento pode ser influenciado pela composição genética, nutrição e sexo (Whittemore et al., 1988; Chiba et al., 2002). Suínos melhorados geneticamente são produzidos para alcançar alto desempenho e maiores taxas de deposição de carne magra na carcaça. Depositar mais proteína corporal reflete em um maior ganho de peso. Schinckel et al. (2008) constataram que suínos em crescimento com maior

potencial genético para deposição de massa magra apresentaram ganho de peso médio superior em comparação a genética com menor ganho em massa magra. O fator sexo também influencia diretamente na deposição de proteína, pois machos inteiros tendem a depositar mais proteínas se comparado com fêmeas.

A variação nas taxas de deposição de proteína em suínos de mesma genética pode ser em função das estimativas nas taxas de retenção de proteína (Whittemore et al., 1988). Moughan et al. (2006) mostraram que a deposição máxima diária de proteína para suínos machos inteiros na faixa de peso de 25 a 85 kg foi constante (linear) dentro da mesma genética, e aumentava para essa faixa de peso ao analisar o modelo quadrático o qual espera-se que atinja o máximo potencial de deposição (Figura 1).

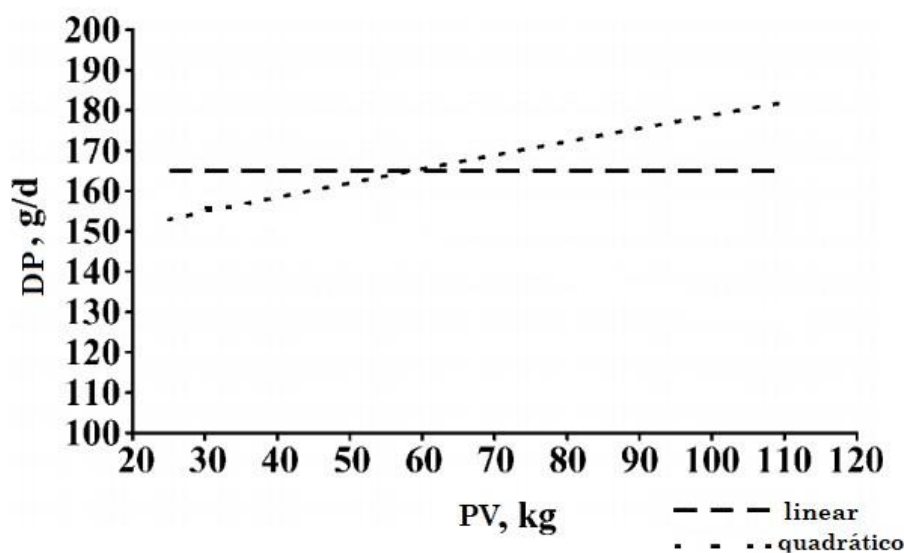


Figura 1. Deposição diária de proteína em suínos machos inteiros em função do peso vivo. Equações de predições (Kg/d) dos modelos são: Linear = 0,165; quadrática = $[1,009 + (2,5 \times 10^{-3} D)] \times 0,151$; onde D é o dia do ensaio cujo peso vivo no dia 0 é igual a 25kg. Adaptado de Moughan et al., 2006

Em relação a nutrição, uma suplementação adequada de aminoácidos influencia diretamente a taxa de deposição máxima de proteína. A lisina é um aminoácido essencial cuja função é quase exclusiva como componente do anabolismo proteico (Pasquetti et al., 2015). Determinar a correta exigência diária de lisina e também a eficiência de como ela é utilizada, evita que o excesso seja excretado na

forma de nitrogênio via urina após o processo de deaminação (Moughan and Verstegen, 1988) e possibilite a máxima expressão para deposição proteica.

1.2.2 Exigências de lisina para suínos em crescimento

A lisina é considerada o primeiro aminoácido limitante para suínos alimentados com dietas a base de milho e farelo de soja e suas funções biológicas são conhecidas. Uma pequena proporção é destinada para perdas endógenas basais e por integumento, cerca de um quarto perde-se pelo catabolismo inevitável e a maior proporção é destinada como conteúdo na deposição de proteína (NRC, 2012). Além disso, a variação da exigência em lisina pode ser em função justamente das diferentes genéticas para ganho de massa magra (Ho et al., 2019).

A concentração de lisina na proteína depositada também é um ponto importante a ser considerado na determinação das exigências. A literatura descreve um intervalo entre 6,8% a 7,2%; conforme sumarizado por Kyriazakis et al. (1993). Valores em torno de 7,1% podem representar a proporção mais aceita e utilizada de lisina na proteína corporal depositada (de Lange et al., 2012; NRC, 2012).

A exigência em gramas por dia de lisina a medida em que o animal cresce também sofre alterações. Muniz et al. (2019) demonstraram que para suínos na faixa de peso entre 30 e 80 quilos há um aumento entre uma fase e outra das exigências diárias de lisina (g/d). Proporcionalmente, a exigência de lisina para manutenção aumenta de forma linear com o aumento do peso corporal dos suínos (Hahn and Baker, 1995; Ringel and Susenbeth, 2009).

Para determinar a exigência diária de lisina alguns métodos, como o dose-resposta e o fatorial são utilizados. O método dose-resposta fundamenta-se em avaliar a resposta dos animais alimentados com dietas com diferentes níveis do nutriente teste (Sakomura e Rostagno, 2016). Fischer et al. (1973) demonstraram que a resposta dos animais em função da ingestão de um aminoácido varia entre indivíduos de uma população. Os suínos da população estudada respondem positivamente ao aumento dos níveis nutricionais até atingirem um platô, ou seja, um nível onde a variável resposta permanecerá constante independentemente da maior ingestão (Figura 2). A exigência nutricional calculada é a média dos indivíduos, havendo então animais que terão suas exigências atendidas e outros não.



Figura 2. Relação entre o aminoácido ingerido e a resposta que o animal apresenta, seja de forma individual representado por um pequeno grupo (linhas azuis) ou populacional (linha verde). Adaptado de Fischer et al. (1973).

De acordo com o método fatorial, as exigências nutricionais de aminoácidos podem ser divididas em dois componentes, as exigências para manutenção e as exigências para crescimento ou retenção de proteína corporal (Yang *et al.*, 1997; NRC 2012). Em suínos em crescimento, a proporção de aminoácidos destinados para a manutenção é relativamente baixa, sendo inferior a 10%, enquanto os processos de crescimento e produção são responsáveis pela proporção restante da exigência (Moughan e Fuller, 2003).

Os processos biológicos responsáveis pelas exigências de aminoácidos para a manutenção são o turnover de proteína corporal, as perdas pela descamação da pele e queda dos pelos, as perdas endógenas do trato gastrintestinal, a síntese de nitrogênio não proteico, e as perdas na urina (Moughan e Fuller, 2003; Sakomura e Rostagno, 2016). A determinação da exigência para crescimento e produção como componente da equação fatorial final que irá ditar a exigência em g/d de lisina é dependente de dois componentes: empírico e mecanicista. Informações de consumo diário, peso vivo e potencial genético são denominados *inputs* inseridos no componente empírico do

modelo. Com os dados obtidos no componente empírico determina-se o componente mecanicista (relação proteína depositada/ganho diário, proporção de lisina na proteína depositada e a eficiência de retenção de lisina), permitindo assim a determinação da exigência diária requerida pelo animal (Hauschild et al., 2012; Remus et al., 2020). A determinação das exigências de uma população utilizando o método fatorial é baseada em um indivíduo médio cuja exigência mais se adequa aos parâmetros dessa população (Hauschild et al., 2010).

1.2.3 Eficiência de utilização da lisina

A eficiência de utilização da lisina é representada pela relação entre a quantidade de lisina depositada na forma de proteína corporal e a quantidade de lisina digestível ingerida, descontando-se a quantidade do aminoácido direcionada para manutenção do animal. A representação da eficiência de utilização da lisina se dá pelo coeficiente de angulação da relação entre a ingestão e a retenção de lisina corporal.

A variação entre indivíduos de uma população influencia na determinação das exigências que consideram a eficiência de utilização nos cálculos. Fatores como peso vivo, potencial de deposição de proteína e níveis de lisina na dieta podem afetar a eficiência de utilização da lisina pelos suínos. van Milgen e Dourmad (2015) relataram que o NRC (2012) assume que a máxima eficiência de utilização da lisina varia com o peso vivo, cujo valores para suínos aos 20 kg é maior (68,2%) que para suínos aos 120 kg de peso vivo (56,8%), onde a variação entre indivíduos é levada em consideração. Suínos jovens têm alto desenvolvimento muscular, ósseo e de órgãos, enquanto animais adultos depositam mais gordura na carcaça (Schinckel, 1999). Devido a uma quantidade pouco significativa de lisina ser utilizada para compostos não proteicos, a eficiência marginal de utilização está diretamente ligada a deposição de proteína. É evidenciado menores condições de catabolismo da lisina em animais de maior potencial de deposição de massa magra (Möhn et al., 2003).

Condições menos restritivas no consumo de lisina pelos animais podem indicar uma constância na eficiência de utilização. Moehn et al. (2004) não encontraram diferenças na fração de lisina catabolizada. Em contrapartida, Heger et al. (2008); Ceron et al. (2013) e Hewitt et al. (2020) evidenciaram em seus achados que níveis de lisina abaixo do recomendado indicam uma eficiência de utilização

melhor pelos animais em função da redução do catabolismo em condições mais restritas de fornecimento de lisina da dieta.

Observada essa dependência da deposição de proteína em relação a quantidade de lisina que o animal consome e o que efetivamente é aproveitado, surge questionamentos de uma provável interação e influência do potencial de deposição de proteína e diferentes níveis de lisina digestível na dieta sobre o desempenho e eficiência de utilização da lisina em suínos em crescimento.

1.2.4 Problemática do tema pesquisado

É notório que com o passar dos anos, o estudo da nutrição demonstrou grandes avanços na determinação de forma mais precisa das exigências nutricionais dos animais. Com o avanço do melhoramento genético, o que já se tem estabelecido pode não condizer com as necessidades nutricionais dos suínos. Portanto, determinar a capacidade de deposição de proteína aliada a ingestão adequada de lisina, que possui uma relação direta com a deposição proteica, torna-se fundamental para desempenhos satisfatórios.

1.2.5 Perspectiva e Hipótese

Considerar as diferenças no potencial para deposição de proteína pode levar a uma avaliação mais acurada da real necessidade de ingestão de lisina requerida por suínos em crescimento. Evidenciado isso, a hipótese do presente estudo foi que existe interação entre o potencial de deposição de proteína em suínos de mesma genética com a ingestão de lisina e que essa interação influencia o desempenho e eficiência de utilização da lisina.

1.2.6 Estruturação da dissertação

O ensaio experimental para a elaboração desse trabalho foi realizado no Laboratório de Estudos em Suinocultura da UNESP/FCAV – Jaboticabal (2019 e 2020). O estudo foi conduzido com o auxílio da iniciativa privada (Agroceres PIC e Seara Alimentos) através do fornecimento dos animais e de outros insumos, bem como para análise dos resultados (Evonik). Objetivando responder a problemática do tema estudado, esse trabalho foi conduzido em um ensaio único que foi dividido em duas fases. A primeira fase determinou o potencial de deposição proteica dentro da mesma linhagem genética e se poderia haver diferenças. A segunda fase consistiu na

avaliação dos mesmos animais em fase de crescimento submetidos a diferentes níveis de lisina digestível na dieta. Ambas as fases são detalhadas no capítulo seguinte.

1.2.7 Objetivo

Avaliar o efeito do nível de lisina e deposição de proteína no desempenho, composição corporal e eficiência de utilização da lisina para suínos em crescimento.

1.3 Referências

- Aymerich, P., C. Soldevila, J. Bonet, J. Gasa, J. Coma, and D. Solà-Oriol. 2020. Increasing dietary lysine impacts differently growth performance of growing pigs sorted by body weight. *Animals*. 10:1–17. doi:10.3390/ani10061032.
- Baker, D. H., and Y. Han. 1994. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. *Poult. Sci.* 73:1441–1447. doi:10.3382/ps.0731441. Available from: <http://dx.doi.org/10.3382/ps.0731441>
- Boisen, S. 2003. Ideal dietary amino acid profiles for pigs. In: I. D'Mello, J.P. F, *Amino acids in animal nutrition*. Edinburgh, UK. p. 157- 168.
- Ceron, M. S., V. De Oliveira, P. A. Lovatto, and M. M. Do Vale. 2013. Maintenance requirement and deposition efficiency of lysine in pigs. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 48:1269–1274. doi:10.1590/S0100-204X2013000900011.
- Chiba, L. I., D. L. Kuhlert, L. T. Frobish, S. B. Jungst, E. J. Huff-Lonergan, S. M. Lonergan, and K. A. Cummins. 2002. Effect of dietary restrictions on growth performance and carcass quality of pigs selected for lean growth efficiency. *Livest. Prod. Sci.* 74:93–102. doi:10.1016/S0301-6226(01)00288-3.
- Colina, J. J., P. S. Miller, A. J. Lewis, R. L. Fischer, and R. M. Diedrichsen. 2016. Body composition, tissue deposition, and lysine utilization for protein deposition of barrows and gilts fed crystalline or protein-bound lysine. *J. Anim. Sci.* 94:1972–1981. doi:10.2527/jas.2015-0190.
- De Lange, C. F. M., Levesque, C. L., and Kerr, B. J. 2012. Amino acid nutrition and feed efficiency. In *Feed efficiency in swine* (pp. 81-100). Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- Fisher, C., Morris, T. R., and Jennings, R. C. 1973. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. *British Poultry Science*, 14(5), 469-484.
- Hahn, J. D., and D. H. Baker. 1995. Optimum ratio to lysine of threonine, tryptophan, and sulfur amino acids for finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73:482–489. doi:10.2527/1995.732482x.
- Hauschild, L., P. A. Lovatto, J. Pomar, and C. Pomar. 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating realtime individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:2255–2263. doi:10.2527/jas.2011-4252.
- Hauschild, L., C. Pomar, and P. A. Lovatto. 2010. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal*. 4:714–723. doi:10.1017/S1751731109991546.
- Heger, J., P. Patráš, S. Nítrayová, J. Karcol, and P. Dolešová. 2008. Lysine maintenance requirement and efficiency of its utilisation in young pigs as estimated by comparative slaughter technique. *Arch. Anim. Nutr.* 62:182–192. doi:10.1080/17450390802027510.

- Hewitt, D. J., J. C. M. Dekkers, T. Antonick, A. Gheisari, A. R. Rakhshandeh, and A. Rakhshandeh. 2020. Effects of divergent selection for residual feed intake on nitrogen metabolism and lysine utilization in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 98:1–9. doi:10.1093/JAS/SKAA152.
- Ho, T. T., J. K. K. Htoo, T. B. A. Dao, M. E. Carpena, N. A. T. Le, C. C. Vu, and Q. L. Nguyen. 2019. Estimation of the standardized ileal digestible lysine requirement and optimal sulphur amino acids to lysine ratio for 30–50 kg pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 103:258–268. doi:10.1111/jpn.13029.
- Kyriazakis, I., G. C. Emmans, and R. McDaniel. 1993. Whole body amino acid composition of the growing pig. *J. Sci. Food Agric.* 62:29–33. doi:10.1002/jsfa.2740620104.
- van Milgen, J., and J. Y. Dourmad. 2015. Concept and application of ideal protein for pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:1–11. doi:10.1186/s40104-015-0016-1.
- van Milgen, J., A. Valancogne, S. Dubois, J. Y. Dourmad, B. Sève, and J. Noblet. 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 143:387–405. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.05.020.
- Moehn, S., R. O. Ball, M. F. Fuller, A. M. Gillis, and C. F. M. De Lange. 2004. Growth potential, but not body weight or moderate limitation of lysine intake, affects inevitable lysine catabolism in growing pigs. *J. Nutr.* 134:2287–2292. doi:10.1093/jn/134.9.2287.
- Möhn, S., M. F. Fuller, R. O. Ball, and C. F. M. De Lange. 2003. Feeding Frequency and Type of Isotope Tracer Do Not Affect Direct Estimates of Lysine Oxidation in Growing Pigs. *J. Nutr.* 133:3504–3508. doi:10.1093/jn/133.11.3504.
- Moughan, P. J., L. H. Jacobson, and P. C. H. Morel. 2006. A genetic upper limit to whole-body protein deposition in a strain of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84:3301–3309. doi:10.2527/jas.2005-277.
- Moughan, P. J., and M. W. A. Verstegen. 1988. The modelling of growth in the pig. *Netherlands J. Agric. Sci.* 36:145–166. doi:10.18174/njas.v36i2.16687.
- Moughan, P.J., e M.F. Fuller. 2003. Modelling amino acid metabolism and the estimation of amino acid requirements. In: D'Mello JPF, editor. *Amino acids in animal nutrition*. 2nd ed. Wallingford, UK: CAB International. p. 187–202.
- Muniz, H. da C. M., L. T. da Rocha, J. S. Kunzler, M. S. Ceron, B. N. Fraga, J. Bottan, A. R. B. de Quadros, and V. de Oliveira. 2019. Evaluation of factorial methods to estimate lysine requirements for barrows and immunocastrated pigs. *Livest. Sci.* 227:68–74. doi:10.1016/j.livsci.2019.07.003. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.07.003>
- NRC, N. 2012. *Nutrient requirements of swine*. 11th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Pasquetti, T. J., P. C. Pozza, I. Moreira, T. C. Santos, L. M. Diaz-Huepa, L. D. Castilha, D. Perondi, P. L. O. Carvalho, and S. W. Kim. 2015. Simultaneous determination of standardized ileal digestible tryptophan and lysine for barrows from 15 to 30kg live weight. *Livest. Sci.* 181:114–120. doi:10.1016/j.livsci.2015.09.021. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.021>

Remus, A., L. Hauschild, S. Methot, and C. Pomar. 2020. Precision livestock farming: real-time estimation of daily protein deposition in growing–finishing pigs. *Animal*. 14:s360–s370. doi:10.1017/S1751731120001469. Available from: <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731120001469>

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

Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Hannas, M.I., Donzele, J.L., Sakomura, N.K., Perazzo, F.G., Saraiva, A., de Abreu, M.L.T., Rodrigues, P.B., de Oliveira, R.F., Barreto, S.L.T., Brito, C.O. 2017. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composicao de Alimentos e Exigencias Nutricionais. Universidade Federal de Vicosa impresso, Vicosa-MG.

Sakomura, N. K., e Rostagno, H. S. 2016. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos (p. 262). 2.ed. Jaboticabal: Funep.

SÃO PAULO (Estado). Relatório anual 2021. Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA. São Paulo, 146 p.

Schinckel, A.P. 1999. Describing the pig. Pp. 9-38 in *Quantitative Biology of the Pig*. I. Kyriazakis. Ed. Wallingford. UK: CABI.

Schinckel, A. P., D. C. Mahan, T. G. Wiseman, and M. E. Einstein. 2008. Growth of protein, moisture, lipid, and ash of two genetic lines of barrows and gilts from twenty to one hundred twenty-five kilograms of body weight. *J. Anim. Sci.* 86:460–471. doi:10.2527/jas.2007-0625.

Whittemore, C. T., J. B. Tullis, and G. C. Emmans. 1988. Protein growth in pigs. *Anim. Prod.* 46:437–445. doi:10.1017/S0003356100019048.

Yang, C. J., D. W. Lee, I. B. Chung, Y. M. Cho, I. S. Shin, B. J. Chae, J. H. Kim, and I. K. Han. 1997. Developing Model Equation to Subdivide Lysine Requirements into Requirements for Growth and Maintenance in Pigs. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 10:54–63. doi:10.5713/ajas.1997.54.

CAPÍTULO 2 - Effect of standardized ileal digestible lysine and protein deposition potential on performance, body composition and efficiency of lysine utilization of growing pigs¹

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas da **Revista Journal of Animal Science**.

Effect of standardized ileal digestible lysine and protein deposition potential on performance, body composition and efficiency of lysine utilization of growing pigs

Cleslei A. Silva,* Danilo A. Marçal,* Luciano Hauschild*¹

* School of Agricultural and Veterinarian Sciences, São Paulo State University (Unesp),
14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brazil.

¹Corresponding author: luciano.hauschild@unesp.br

ABSTRACT: This study evaluated the effects of increased dietary standardized ileal digestible lysine (SID Lys) levels and protein deposition (PD) potential on growth performance, body composition and Lys utilization efficiency of growing entire male pigs. A total of 64 genetically similar entire male were allotted in one of eight treatments (eight animals per treatment) in 2×4 factorial arrangement with two PD groups (low PD and high PD) and four SID Lys levels (55, 68, 82 e 95% of NRC recommendations). Protein deposition were measured over a 23-day period (day 0 to 23) and, on day 24 (39.2 ± 5.7 kg of BW), each one of the PD groups were randomly assigned to one of the four dietary SID Lys for a period of 28 days. There were no interactions ($P > 0.05$) between PD groups and SID Lys levels for any of the variables evaluated in this study. ADG, ADFI, G:F, protein gain, lipid gain, final BW, final body protein and final body lipid were improved by the dietary SID Lys levels ($P < 0.05$). Initial BW, initial body protein, initial body lipid, ADG, ADFI, G:F, protein gain, lipid gain final BW, final body protein and final body lipid were higher ($P < 0.05$) for the high PD group. SID Lys intake and Lys retention increased with increasing dietary lysine while utilization efficiency decreased ($P < 0.05$). The average lysine utilization for protein deposition was 0.71 where there was no difference between PD groups ($P > 0.05$). Net energy intake and CP intake were different between PD groups and SID Lys levels ($P < 0.05$). There were no differences in nitrogen (N) excretion between SID Lys levels and N efficiency retention between PD groups ($P > 0.05$). Protein gain and Lys gain were higher as Lys levels increased, according with linear regression analysis. The results indicate that there was no interaction between protein deposition potential and dietary Lys levels, but isolated, higher Lys levels may improve performance, body composition and Lys utilization efficiency while different protein deposition potential groups do not influence Lys utilization efficiency.

Keywords: efficiency utilization, lysine, performance, protein deposition

INTRODUCTION

The adequate amino acid (AA) levels in diets can reduce cost and environmental impacts on pig production. Lysine (Lys) is considered the reference amino acid because its analysis in feedstuffs is relatively simple where there are several studies about its use in diets for non-ruminant animals; and for pigs fed corn-soybean meal-based diets Lys is the first limiting amino acid (Baker and Han, 1994; Boisen, 2003). Moreover, it has been observed that increasing the intake of digestible lysine provides improvements in growth performance (Aymerich et al., 2020).

The recurrent approaches about the lysine intake of pigs have demonstrated its influence not only on protein accretion but also on its efficiency utilization. The protein deposition rate is directly affected by the digestible lysine intake, being observed that the greater the lysine intake is, the daily deposition rate of this amino acid increases until reaches the maximum potential (Colina et al., 2016; Hewitt et al., 2020). Furthermore, lower lysine intake has been proportionally associated with higher lysine efficiency utilization (Heger et al., 2008). Moreover, pig populations with the same genetic composition show a variability in the protein deposition between individuals. Furthermore, pigs with higher potential have lower catabolic lysine losses compared to pigs that deposit less protein (Moehn et al., 2004). However, the nutrient requirements are calculated using factorial equations based on average population growth performance (Hauschild et al, 2010). Thus, queries arise about the use of these models to calculate different nutrient requirement for pigs within the same population.

The use of the factorial method to estimate the nutritional requirements accounts separately the lysine requirements for maintenance and for protein synthesis and deposition, considering the efficiency of utilization of this amino acid. Thus, due to the low availability of studies that investigated the influence of intra-genotype variability of protein deposition potential on the efficiency of lysine utilization by the pigs, a more accurate determination of

the influence of lysine intake and protein deposition potential on the efficiency of lysine utilization may be an important tool to calibrate the models for estimating the requirements of digestible lysine currently adopted (van Milgen et al., 2008; NRC, 2012; Rostagno et al., 2017; Muniz et al., 2019).

The hypothesis of the present study was that there is an interaction between body protein deposition potential of pigs of the same genetic composition with the lysine intake and that this interaction has an influence on the lysine utilization efficiency. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of increased dietary SID lysine levels and protein deposition potential on growth performance, body composition and lysine efficiency utilization of growing entire male pigs.

MATERIALS AND METHODS

The protocol used in the present study was approved by the Ethics Committee of Animal Utilization (CEUA) of the São Paulo State University (Unesp), No. 14150/19.

Animals, housing and experimental design

The study was conducted at the Swine Research Center of the School of Agricultural and Veterinarian Sciences of the São Paulo State University (Unesp), Brazil. Sixty-four entire male pigs with high genetic potential for lean deposition (Agroceres PIC, Rio Claro, SP, Brazil) with initial body weight of 22.3 ± 3.5 kg were used.

Pigs were housed in a single pen with 95m^2 ($1.48\text{ m}^2/\text{animal}$) in an environmentally controlled barn equipped with an evaporative pad cooling system (Big Dutchman, Araraquara, SP, Brazil) with air temperature varying between 21.1 and 23.2 °C, recorded using 2 data loggers (HOBO, Onset Computer Corporation, Bourne, MA) located above an exhaust fan and at the middle of the pen every 30 minutes. Artificial lights were used to maintain a 12-hour photoperiod between 07h00m and 19h00m. Water was provided *ad libitum* using 8 beat ball drinkers distributed all over the pen.

The study was divided into two phases. The first phase was conducted to form two groups based on the pig's potential for protein deposition (PD). In this phase, all pigs were fed the same corn-soybean meal-based diet formulated to provide all nutrients required for entire male pigs from 25 to 50 kg, according to NRC (2012).

At the beginning and the end of this phase (from day 0 to 23), (BW of 22.3 ± 2.8 kg), the body composition was determined by DXA (see session Performance and body composition). Based on the daily protein deposition, pigs were divided into two groups, low PD and high PD, 91 e 123 g/d respectively. In the second phase (from day 24 to 51), at a BW of 39.2 ± 5.7 kg, a dose response trial was conducted. In this phase, pigs were randomly assigned using a complete block design in a 2×4 factorial including two PD groups (low PD and high PD, obtained at phase 1) and four dietary SID Lys levels (55, 68, 82 e 95% of NRC recommendations). Each animal were considered an experimental unit.

Experimental diets and feeding

In the second phase (dose-response), a corn-soybean meal-based diet supplemented with crystalline amino acids, minerals and vitamins, was formulated to provide all nutrients required for entire male growing pigs according to NRC (2012), except for SID Lys, which supplied 95% of the requirement. To achieve the four studied SID Lys levels, crystalline lysine was removed from this diet and an inert ingredient was added (Table1). The ratio of all other essential amino acids to SID Lys meet or exceeded the recommendations of NRC (2012).

The corn and soybean meal used in the experimental diets were previously analyzed by near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS – Tango, Bruker) for total amino acids values, starch, ether extract, crude protein (CP), metabolizable energy (ME) and net energy (NE). Standardized ileal digestible (SID) amino acids content were estimated using the coefficients of digestibility proposed by Rostagno et al. (2017).

The feed was steam pelleted (2.5 mm) and provided *ad libitum* through automatic and intelligent precision feeders[®] [AIPF]; University of Lleida, Lleida, Spain (Pomar et al., 2011). Each AIPF consisted of a single space feeder that delivers volumetric amounts of up to 4 diets stored in independent feed containers located in the top of the feeder. Each animal had a transponder (plastic button tag containing passive transponders of radio frequency identification; Allflex, Joinville, SC, Brazil) attached by an ear tag with a unique identification code which allowed to be identified by the AIPF. The AIPF delivered the assigned experimental diet of each pig when its head was introduced into the feeder enabling any pig to access any of the 4 feeders and still receive the pre-established diet and allowing recording individual feed intake during the trial.

The AIPF programming was carried out to ensure that each serving size (amount of feed delivered) was 20 g. A time lag of 20 seconds was established between each serving in order to guarantee the total intake of the previous amount before requesting a new one. Feed volumes conversion into feed weights were ensured by calibration every 3 days of the feeders.

Growth Performance and Body Composition

Pigs were weighed without fasting at the beginning and end of each experimental phase (0, 23 and 51 d). The total body lean and fat mass were measured at the beginning and end of each experimental phase by dual-energy X-ray absorptiometry (GE Lunar Prodigy Advance; GE Healthcare, Madison, WI, USA). The animals were fasted for 8 hours before being anesthetized by intramuscular injection of xylazine (1.5 mg/kg) and ketamine (15 mg/kg). The pigs were scanned in the prone position using the total body scanning mode in the manufacturer-provided software (Lunar enCORE software, version 8.10.027; GE Healthcare). After the scan, the pigs were awakened in a quiet room and then returned to their pens.

Analytical Procedures

Representative feed samples were collected every four days during the 28 days of phase 2 and stored at -20°C . Feed samples of each 4 SID Lys levels were pooled and a 200 g composite sample of each treatment was submitted for analysis by the method of high performance liquid chromatography[®] (HPLC) to estimate total amino acid content (amino acid analyzer – 30 series, Biochrom), crude protein (Nitrogen analyzer for Dumas method – Vario MAX cube, Elementar), dry matter (Thermo gravimetric analyzer – TGA 701, LECO), ether extract after hydrolysis, crude ashes, crude fiber, metabolizable and net energy values.

Calculations and Statistical Analysis

Feed intake of each pig was recorded daily by the AIPF. Daily SID Lys intake was calculated multiplying the average daily feed intake (ADFI) by the analyzed SID Lys concentration of each dietary treatment. The body protein and body lipid were estimated converting DXA body lean and fat masses, respectively (Pomar and Rivest, 1996).

Standardized ileal digestible (SID) Lys maintenance requirements were calculated as follows: $(\text{endogenous losses} + \text{desquamation in the digestive tract} / \{0.75 + [0.002 \times (\text{maximum PD} - 147.7)]\})$ (Moughan, 1999), being basal endogenous losses $= (\text{ADFI} \times 0.417 \times 0.88 \times 1.1)$, and desquamation in the digestive tract $= (0.0045 \times \text{BW}^{0.75})$.

The Lys deposition was estimated considering that the Lys concentration in body protein is 7.1% (Kyriazakis et al., 1993, NRC, 2012). The efficiency of SID Lys utilization was calculated by dividing the lysine deposited by the SID Lys intake minus the SID Lys maintenance requirements.

Net energy intake were obtained by multiplying dietary NE concentration by the ADFI. Crude protein intake was calculated by multiplying the amount of analyzed CP in the diet by the ADFI. Nitrogen (N) retained was calculated considering that the N concentration in body protein was 6.25 and N excretion were calculated by subtracting N retained from N intake. Nitrogen utilization efficiency were estimated as the ratio of N retained to N intake. All data

of this study come from 8 pigs for 8 treatments (High PD and 55% or 68% or 82% or 95% SID Lys level and low PD and 55% or 68% or 82% or 95% SID Lys level).

Data were analyzed using the GLIMMIX procedure in SAS 9.4 (SAS[®] Inst. Inc., Cary, NC). The model for analysis were used to test the fixed effects of the dietary SID Lys levels, PD groups, and the interactions between these factors. Orthogonal polynomial contrasts were used to evaluate linear and quadratic effects of dietary SID Lys levels. Quadratic effects of the SID Lys levels were not significant for any of the evaluated variables, so they were not reported. Differences were considered significant at $P \leq 0.05$, and P values between 0.05 and < 0.10 were considered as tendencies. Moreover, the linear effect of SID Lys intake on protein gain and Lys gain was evaluated for each PD group by using regression analysis (PROC REG procedure in SAS). The slope can be an indicator of the efficiency of utilization of SID Lys for protein gain and Lys gain. Confidence intervals (CI, 95%) for the slope were implemented to evaluated if it differed between PD groups.

RESULTS

Two pigs were removed from the study, both because of inflammatory feet problems (One from 55% SID Lys and one from 82% SID Lys level, both pigs from the high PD group). Their data were not considered in the analysis, and both were isolated and received specific therapy. The analyzed nutrient composition of the experimental diets is given in Table 2. The differences between calculated and analyzed total Lys values ranged from 1.35 to 2.32 % and analyzed CP and other total essential AA contents were also in agreement with the calculated values. Pigs in the low and high PD group in the preliminary phase had a protein gain of 91 ± 21 and 123 ± 21 g/d, respectively. There as a positive correlation between initial BW and PD ($r = 0.86$, $P < 0.05$).

Growth Performance and Body Composition

There were no interactions ($P > 0.05$) between SID Lys levels and PD groups for any of the growth performance and body composition variables (Table 3). However, ADG, ADFI, G:F, protein gain, lipid gain, final BW, final body protein and final body lipid were affected by the SID Lys levels ($P < 0.05$), in a way that increasing dietary SID Lys resulted in linear improved values.

Regarding PD groups, pigs with high PD compared to low PD group had a greater initial BW, initial body protein, initial body lipid, ADG, ADFI, G:F, protein gain, lipid gain, final BW, final body protein and final body lipid ($P < 0.05$).

Lysine efficiency and nutrient balance

Interactions between SID Lys levels and PD ($P > 0.05$) were inexistent for SID Lys use and nutrient balance variables (Table 4). SID Lys intake and Lys retention increased ($P < 0.05$) linearly as dietary SID Lys levels increased. On the other hand, the efficiency of utilization of SID Lys decreased ($P < 0.05$) linearly as dietary SID Lys level increased.

According to the PD groups, pigs with superior PD had higher ($P < 0.05$) SID Lys intake and Lys retention than pigs of the low PD group. The efficiency of utilization of SID Lys was similar ($P > 0.05$) between low and high PD groups (0.70 vs. 0.72).

Net energy and CP intakes increased linearly ($P < 0.05$) as dietary SID Lys levels increased. Regarding the PD groups, pigs with low PD consumed less ($P < 0.05$) NE and CP compared to the high PD group.

Nitrogen intake, N retention and efficiency of N utilization increased ($P < 0.05$) linearly as SID Lys levels increased. However, nitrogen excretion showed no difference ($P > 0.05$) among all dietary SID Lys levels increased. When comparing PD groups, only the efficiency of N retention was similar ($P > 0.05$) between low and high PD, while N intake, N retention and N excretion were greater ($P < 0.05$) in high PD group.

The effect of SID Lys intake on protein gain and Lys gain for each PD group are shown on Figure 1. The slope for protein gain in relation to SID Lys intake was slightly higher for low PD group compared to high group (7.477 vs 7.208 g protein gain/g SID Lys intake). Regarding Lys gain in relation to SID Lys intake where the values were corrected by metabolic weight, the high PD group had a slightly higher value compared to low group (0.471 vs 0.458 g/g SID Lys intake). However, when comparing the CI, the estimated slopes for the two groups for protein gain and Lys gain were overlapped.

DISCUSSION

This trial was conducted to study the interaction between the PD potential of entire male growing pigs from the same genetic population and the SID Lys intake on the Lys utilization efficiency, growth performance and body composition. Because of the lack of any interaction between PD and SID Lys intake, the influence of these two factors will be discussed separately.

In this study, the effect of the PD potential on growth performance, body composition and nutrient balance was one of the factors evaluated. For this reason, the distribution of the animals among the four levels of dietary SID Lys at the beginning of the phase 2 (24 to 51 d) was based on the PD potential estimated in phase 1 (0 to 23d). In the first phase, all animals were fed with the same diet, which was formulated to meet or exceed the nutritional requirements for entire male growing pigs with high lean deposition, according to NRC (2012). The allocation of animals within the different dietary SID Lys levels according to the PD groups can be more effective than allocating based on body weight. This is related to the fact that Lys is primarily used for protein synthesis. However, the studies regarding dietary Lys levels found in the literature distributed the animals considering the initial body weight (Moehn et al., 2004; Aymerich et al., 2020; Millet et al., 2020).

Impact of Lys and PD levels on performance and body composition

All variables analyzed were affected by the SID Lys level of the diets or by the PD potential. Average daily gain, ADFI and G:F showed a consistent effect, improving as the SID Lys level of the diet increased. The linear increase for ADG, and consequently for final BW, as a function of increasing dietary SID Lys is in agreement with other studies (Ho et al, 2019; Aymerich et al, 2020; Millet et al, 2020). The higher ADFI according to the increased SID Lys in the diet can be explained by its effect on weight gain. The impact of the SID Lys levels on weight gain probably stimulated the animals to consume more feed to meet their nutritional requirements and then to express their genetic potential. The SID Lys diet level can also influence the regulation of intake, as the imbalance induces reduced intake (Millet et al., 2020). The improvement in GF may be associated with a greater increase (slope) in protein gain ($y = 1.4 + 167 \cdot \text{SID Lys level}$) compared to lipid gain ($y = 71.3 + 122 \cdot \text{SID Lys level}$) as a function of the increased level of SID Lys in the diet. This higher increase in protein accretion probably contributed to improve better the energy from the diet and consequently the feed efficiency. This is related to the fact that the energy cost for lipid deposition is greater than for protein deposition (Noblet et al., 1999). Biologically, Lys has a direct relationship with protein deposition in the carcass (Pasquetti et al., 2015), which explains the higher body protein content as well as higher daily protein deposition rates observed as the dietary SID Lys level increased.

The comparison between the two PD groups demonstrated the superiority of the animals with higher PD in relation to the low PD group. Moehn et al (2004) reported similar results, where animals that presented a higher potential for protein deposition had a higher protein deposition in the carcass. The better feed efficiency observed for the high PD group was expected due to the higher protein gain of these animals. Furthermore, considering only the data from the higher SID Lys level, the high PD animals had 10 and 5% lower body lipid content at the beginning and end of the study, respectively compared to the low PD group.

Thus, these results for body composition could indicate that high PD animals are more efficient in utilizing energy since they have lower body lipid content. However, during the phase 2, animals with lower PD had a higher PD:LD ratio than animals with high PD (0.79 vs 0.74), indicating that more protein per unit of lipid was deposited. This ratio has been adopted as one of the parameters representing the genetic potential of pigs in models that estimate growth (Nieto et al., 2012; Ruiz-Ascacibar et al., 2019). This could indicate that animals with lower PD are more efficient. However, probably other factors such as a possible higher maintenance requirement could have an impact on the gain to feed ratio of these animals.

Impact of Lys and PD levels on nutrient balance and Lys utilization efficiency

Higher levels of Lys or levels close to the requirement resulted in higher N excretion when compared to deficient levels in the diet (Hewitt et al. 2020). This is related to the fact that at deficient levels pigs are more efficient in utilizing nutrients (Mohen et al., 2004). However, in the present study there was no effect of Lys levels on N excretion and N utilization efficiency increased as a function of increasing dietary Lys levels. However, it should be noted that the relationship between amino acid levels and Lys remained constant between SID levels evaluated, differing from the study of Hewitt et al. (2020). As only Lys was deficiency, the protein deposition was limited by this amino acid, and the others possibly have been deaminated. This can explain the non-reduction in N excretion as the SID Lys level decreased. However, as dietary SID Lys level increased, pigs increased the protein deposition, and consequently N retention and efficiency of N utilization improved.

In the present study, Lys retention showed a linear effect, increasing according to the levels of SID Lys in the diet. However, the efficiency of utilization of Lys decreased as the dietary Lys level increased. Higher and lower values were observed at the lowest and highest dietary lysine levels, respectively, and at intermediate levels the values were close. Hewitt et al., (2020) argued that Lys utilization was higher for growing pigs that were fed restricted

dietary Lys compared to pigs that received diets with levels proposed by the NRC (2012). Other studies also observed that the higher the restriction of the Lys level in the diet, the higher was the efficiency of Lys utilization (Moehn et al., 2004; Heger et al., 2008), which corroborates with the results observed in the present study. The lower efficiency at higher Lys levels can be associated with higher catabolism (Moehn et al., 2004) as well as the greater variability in PD among animals at Lys intake near the maximum response. Regarding the last assumption, due to the variation among animals, the average nutrient utilization efficiency determined based on a group of animals can be lower at levels near to the maximal population response (Pomar et al, 2003). In order to consider this aspect, the NRC (2012) considers a low marginal efficiency ($\approx 60\%$) for Lys intakes close to the maximum growth performance. In this regard, the efficiency (62%) obtained at the highest level of SID Lys (95% of NRC, 2012) in the present study corroborates with the value proposed by NRC (2012). Considering the average of all SID Lys levels, the efficiency value obtained in the present study was 71%. This result is close to those found in other studies (75%, Bikker et al., 1994; 71% Hahn et al., 1995; 75%, Mohn et al, 2000; 72%, Van Milgen et al, 2008). Overall, the body composition measurement technique adopted (DXA) associated with the diets used allowed us to estimate Lys utilization efficiency above maintenance consistent with the literature.

The Lys utilization efficiency for the two PD groups showed similar values for both qualitative (analysis of variance) and quantitative (analysis of regression) comparisons. In the qualitative comparison, the efficiency of Lys utilization was 70% for the low PD, while for the higher PD group it was 72%. The results of the present study suggest that the genetic potential for PD does not influence Lys utilization above maintenance. Moehn et al. (2004) described that although there is no influence of body weight, the Lys catabolism decreased with increasing growth potential which suggest a better Lys efficiency. However, it should be noted that in this study the Lys catabolism was not evaluated comparing directly PD groups

distributed in different SID Lys diets levels. The different SID Lys diet levels were adjusted based on the protein potential of each treatment group, as determined in the pretrial study. However, the distribution of the pigs in the treatment groups was randomly and not based on PD potential. Thus, in the present study, the design adopted allowed to compare in a more direct way the effect of PD potential on the Lys efficiency.

A limitation of the current study is that both PD groups received the same diet in all Lys diet levels evaluated. The reference was the population requirement and not each PD group. The same diet for both groups may have led to greater limitation of the high PD group relative to the low PD group. However, we believe that the conversion of the Lys intake and deposition to metabolic weight associate to the evaluation of the relation of these variable by regression may correct this aspect. Thus, when applying a factorial equation to estimate SID Lys requirements, a higher value for High PD group than Low PD pigs may be explain mainly by the difference in protein deposition. However, the cost of protein deposition (maintenance) between the PD group may also present differences, thus requiring further studies.

CONCLUSION

The results of this study indicate that there is no interaction between protein deposition potential and dietary Lys levels. The potential for protein deposition and dietary lysine levels influence the performance and body composition of growing pigs. Lysine utilization efficiency is influenced by dietary Lys levels, however, this variable was not affected by the protein deposition potential. Other factors, such as body composition, energy requirements and amino acids for maintenance are factors that may explain in part the differences between animals in protein deposition.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge the financial support received from São Paulo Research Foundation (FAPESP grant 18/15559-7). We express our gratitude to all financial support for this project provided by Agrocere PIC matrizes de suínos LTDA and Seara alimentos. The authors are also thankful to Evonik company for the diet analysis. We also thank Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq for providing the scholarship no. 135572/2019-3 for the first author.

LITERATURE CITED

- Aymerich, P., Soldevila, C., Bonet, J., Gasa, J., Coma, J., and Solà-Oriol, D. 2020. Increasing dietary lysine impacts differently growth performance of growing pigs sorted by body weight. *Animals*. 10(6): 1032. doi:10.3390/ani10061032.
- Baker, D. H., Han, Y. 1994. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. *Poultry Science* 76(9): 1441-1447. doi.org/10.3382/ps.0731441.
- Bikker, P., M. W. A. Verstegen, R. G. Campbell, and B. Kemp. 1994. Digestible lysine requirement of gilts with high genetic potential for lean gain, in relation to the level of energy intake. *J. Anim. Sci.* 72:1744-1753.
- Boisen, S. 2003. Ideal dietary amino acid profiles for pigs. In: I. D’Mello, J.P. F, *Amino acids in animal nutrition*. Edinburgh, UK. p. 157- 168.
- Colina, J. J., Miller, P. S., Lewis, A. J., Fischer, R. L., and Diedrichsen, R. M. 2016. Body composition, tissue deposition, and lysine utilization for protein deposition of barrows and gilts fed crystalline or protein-bound lysine. *J. Anim. Sci.* 94(5): 1972-1981. doi: 10.2527/jas2015-0190.
- Hahn, J. D., R. R. Biehl, and D. H. Baker. 1995. Ideal digestible lysine levels for early and late finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73:773-784.

Heger, J., Patráš, P., Nitrayová, S., Karcol, J., and Dolešová, P. 2008. Lysine maintenance requirement and efficiency of its utilisation in young pigs as estimated by comparative slaughter technique. *Archives of animal nutrition*. 62(3): 182-192. doi: 10.1080/17450390802027510.

Hewitt, D. J., Dekkers, J. C., Antonick, T., Gheisari, A., Rakhshandeh, A. R., and Rakhshandeh, A. 2020. Effects of divergent selection for residual feed intake on nitrogen metabolism and lysine utilization in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 98(5): skaa152. doi:10.1093/jas/skaa152.

Ho, T. T., Htoo, J. K. K., Dao, T. B. A., Carpena, M. E., Le, N. A. T., Vu, C. C., and Nguyen, Q. L. 2019. Estimation of the standardized ileal digestible lysine requirement and optimal sulphur amino acids to lysine ratio for 30–50 kg pigs. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 103(1), 258-268. doi: 10.1111/jpn.13029

Kyriazakis, I., Emmans, G. C., and McDaniel, R. 1993. Whole body amino acid composition of the growing pig. *J. Sci. Food. Agric.* 62(1): 29-33. doi:10.1002/jsfa.2740620104.

Millet, S., Minussi, I., Lambert, W., Aluwé, M., Ampe, B., De Sutter, J., and De Campeneere, S. 2020. Standardized ileal digestible lysine and valine-to-lysine requirements for optimal performance of 4 to 9-week-old Piétrain cross piglets. *Livestock Science*, 241, 104263. doi: 10.1016/j.livsci.2020.104263

Moehn, S., Ball, R. O., Fuller, M. F., Gillis, A. M., and de Lange, C. F. 2004. Growth potential, but not body weight or moderate limitation of lysine intake, affects inevitable lysine catabolism in growing pigs. *The Journal of nutrition*. 134(9): 2287-2292. doi: 10.1093/jn/134.9.2287.

- Möhn, S., Gillis, A. M., Moughan, P. J., and De Lange, C. F. M. 2000. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. *Journal of Animal Science*, 78(6), 1510-1519. doi: 10.2527/2000.7861510x
- Moughan, P. J. 1999. Protein metabolism in the growing pig. In: *A quantitative biology of the pig*. CAB International, Wallingford, UK. p. 299-331.
- Muniz, H. D. C. M., da Rocha, L. T., Kunzler, J. S., Ceron, M. S., Fraga, B. N., Bottan, J., Quadros, A. R. B., and de Oliveira, V. 2019. Evaluation of factorial methods to estimate lysine requirements for barrows and immunocastrated pigs. *Livestock Science*. 227: 68-74. doi:10.1016/j.livsci.2019.07.003.
- Nieto, R., Lara, L., Barea, R., García-Valverde, R., Aguinaga, M. A., Conde-Aguilera, J. A., and Aguilera, J. F. 2012. Response analysis of the Iberian pig growing from birth to 150 kg body weight to changes in protein and energy supply. *Journal of Animal Science*, 90(11), 3809-3820. doi: 10.2527/jas.2011-5027
- Noblet, J., Karege, C., Dubois, S., and van Milgen, J. 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *Journal of Animal Science*, 77(5), 1208-1216. doi: 10.2527/1999.7751208x
- NRC, N. 2012. *Nutrient requirements of swine*. 11th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Pasquetti, T. J., Pozza, P. C., Moreira, I., Santos, T. C., Diaz-Huepa, L. M., Castilha, L. D., Perondi, D., Carvalho, P. L. O., and Kim, S. W. 2015. Simultaneous determination of standardized ileal digestible tryptophan and lysine for barrows from 15 to 30 kg live weight. *Livestock Science*, 181, 114-120. doi: /10.1016/j.livsci.2015.09.021
- Pomar, C., and J. Rivest. 1996. The effect of body position and data analysis on the estimation of body composition of pigs by dual energy x-ray absorptiometry (DEXA). Page 26 in *Proc.*

46th Ann. Conf. Canadian Soc. Anim. S. L. Scott e X. Zhao, ed. Can. Soc. Anim. Sci., Lethbridge, AB, Canada.

Pomar, C., Kyriazakis, I., Emmans, G.C., Knap, P.W., 2003. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. *J. Anim Sci.* 81, E178-186.

Pomar, J., V. López, and C. Pomar. 2011. Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. *Comput. Electron. Agric.* 78:88–97. doi:10.1016/j.compag.2011.06.004.

Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Hannas, M.I., Donzele, J.L., Sakomura, N.K., Perazzo, F.G., Saraiva, A., de Abreu, M.L.T., Rodrigues, P.B., de Oliveira, R.F., Barreto, S.L.T., Brito, C.O. 2017. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composicao de Alimentos e Exigencias Nutricionais. Universidade Federal de Vicosa impresso, Vicosa-MG.

Ruiz-Ascacibar, I., Stoll, P., Kreuzer, M., and Bee, G. 2019. Dietary CP and amino acid restriction has a different impact on the dynamics of protein, amino acid and fat deposition in entire male, castrated and female pigs. *Animal*, 13(1), 74-82. doi: 10.1017/S1751731118000770

van Milgen, J., Valancogne, A., Dubois, S., Dourmad, J. Y., Sève, B., and Noblet, J. 2008. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 143(1-4): 387-405. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007.05.020.

Table 1. Composition of experimental diets fed to 39.2-59.8 kg growing pigs (as fed-basis)

Ingredients, %	SID Lys, % of NRC requirements ¹			
	55	68	82	95
Corn	80.63	80.63	80.63	80.63
Soybean meal	13.87	13.87	13.87	13.87
Dicalcium phosphate	1.28	1.28	1.28	1.28
Limestone	0.54	0.54	0.54	0.54
Soybean oil	0.25	0.25	0.25	0.25
Salt	0.23	0.23	0.23	0.23
Inert	2.38	2.15	1.92	1.69
Biolys ²	0.00	0.23	0.46	0.69
DL-Methionine	0.09	0.09	0.09	0.09
L-Threonine	0.12	0.12	0.12	0.12
L-Tryptophan	0.03	0.03	0.03	0.03
L-Valine	0.01	0.01	0.01	0.01
Vitamin premix ²	0.40	0.40	0.40	0.40
Mineral premix ³	0.10	0.10	0.10	0.10
Choline chloride	0.06	0.06	0.06	0.06

¹Experimental diets were formulated to provide 55, 68, 82, and 95% of SID Lys requirements according to NRC (2012).

²Vitamin premix composition per kg of diet: Folic acid, 0.504 mg; Pantothenic acid, 12 mg; Biotin, 0.144 mg; Ca, 800 mg; Cu, 18 mg; Choline, 268 mg; Fe, 56 mg; I, 0.84 mg; Mn, 33.6 mg; Niacin, 21 mg; Se, 0.2516 mg; Vitamin A, 4,400 IU; Vitamin B1, 1.8 mg; Vitamin B12, 21.6 mcg; Vitamin B2, 4.68 mg; Vitamin B6, 2.52 mg; Vitamin D3, 1,400 IU; Vitamin E, 20 IU; Vitamin K, 2.16 mg; Zn, 67.2 mg; Phytase, 500 ftu. Biolys: 54.6% of L-Lysine

³Mineral premix composition per kg of diet: Mn, 40 mg; Cu, 15 mg; Fe, 24.93 mg; Co, 0.168 mg; I, 1.4168 mg; Zn, 74.971 mg.

Table 2. Calculated and analyzed nutrient composition of experimental diets fed to 39.2-59.8 kg of entire male pigs (as fed-basis)

Item	SID Lys, % of NRC requirements ¹			
	55	68	82	95
Calculated composition				
Net energy, Kcal/kg	2573	2579	2586	2593
CP,%	13.89	14.08	14.26	14.44
Total amino acid, %				
Lys	0.61	0.74	0.86	0.99
Met	0.32	0.32	0.32	0.32
Met+Cys	0.57	0.57	0.57	0.57
Thr	0.62	0.62	0.62	0.62
SID amino acid, %				
SID Lys	0.52	0.64	0.77	0.89
SID Met	0.30	0.30	0.30	0.30
SID Met+cis	0.50	0.50	0.50	0.50
SIDThr	0.54	0.54	0.54	0.54
SID Trp	0.15	0.15	0.15	0.15
SID Ile	0.48	0.48	0.48	0.48
SID Leu, %	1.20	1.20	1.20	1.20
SID Val, %	0.58	0.58	0.58	0.58
Analyzed composition				
DM, %	88.99	88.60	88.85	88.50
CP, %	14.04	14.30	13.87	14.54
Total amino acid, %				
Arg	0.82	0.84	0.82	0.86
His	0.37	0.38	0.38	0.38
Ile	0.53	0.54	0.53	0.54
Leu	1.28	1.27	1.27	1.25
Lys	0.61	0.75	0.84	1.01
Met	0.30	0.32	0.31	0.32
Met + Cys	0.56	0.57	0.56	0.57
Phe	0.65	0.66	0.65	0.66
Thr	0.59	0.61	0.59	0.61
Val	0.65	0.66	0.66	0.67

SID = standardized ileal digestible; Arg = arginine; His = histidine; Ile = isoleucine; Leu = leucine; Lys = lysine; Met = methionine; Cys = cysteine; Phe = phenylalanine; Thr = threonine; Trp = tryptophan; Val = valine.

Table 3. Growth performance and body composition of entire male pigs of two protein deposition (PD) groups fed diets with increased standardized ileal digestible lysine (SID Lys levels)

SID Lys ¹ , %	PD group										SEM	P value		
	Low ²					High ²						Lys ³	PD	Lys*PD
	55	68	82	95	Mean	55	68	82	95	Mean				
<i>Initial conditions</i>														
BW, kg	35.24	33.84	34.76	34.33	34.54	44.80	42.64	43.67	44.63	43.93	1.965	0.917	<0.001	0.978
Body Protein, kg	4.42	4.21	4.35	4.31	4.32	5.76	5.52	5.65	5.73	5.66	0.283	0.930	<0.001	0.997
Body Lipid, kg	7.34	7.18	7.31	7.20	7.26	8.68	8.65	8.67	8.55	8.64	0.240	0.651	<0.001	0.991
<i>Growth performance and final conditions</i>														
ADG, kg	0.51	0.62	0.77	0.84	0.68	0.59	0.71	0.88	1.04	0.80	0.055	<0.001	0.002	0.692
ADFI, kg	1.58	1.66	1.72	1.79	1.69	1.76	1.84	2.05	2.16	1.95	0.111	0.004	0.001	0.734
G:F	0.16	0.24	0.34	0.39	0.28	0.20	0.28	0.38	0.50	0.34	0.030	<0.001	0.011	0.616
Protein gain, g/d	79	99	122	136	109	97	110	140	165	128	7.25	<0.001	0.001	0.614
Lipid gain, g/d	114	143	144	161	141	154	172	177	207	177	14.05	0.001	0.001	0.926
BW, kg	49.44	51.31	56.20	57.77	53.68	61.37	62.59	68.26	73.64	66.46	3.216	0.001	<0.001	0.884
Body Protein, kg	6.63	6.99	7.76	8.12	7.38	8.47	8.60	9.57	10.35	9.23	0.443	<0.001	<0.001	0.906
Body Lipid, kg	10.55	11.19	11.33	11.70	11.19	12.99	13.45	13.62	14.33	13.60	0.562	0.030	<0.001	0.986

¹Diets provided 55, 68, 82, and 95% of the NRC (2012) recommendations

²Low: 91g/d; High: 123g/d

³Linear effects.

Table 4. Lys efficiency and nutrient balance of entire male pigs of two protein deposition (PD) groups fed diets with increased standardized ileal digestible lysine (SID Lys levels)

SID Lys ¹ , %	PD group										SEM	P value		
	Low ²					High ²						Lys ³	PD	Lys*PD
	55	68	82	95	Mean	55	68	82	95	Mean				
SID Lys int, g/d	8.3	10.9	13.0	16.5	12.2	9.2	12.1	15.5	19.9	14.2	0.84	<0.001	0.001	0.404
Lys retained, g/d	5.6	7.0	8.6	9.6	7.7	6.9	7.8	9.9	11.7	9.1	0.51	<0.001	0.001	0.614
Lys maintenance, g/d	0.93	0.97	1.01	1.05	0.99	1.05	1.09	1.20	1.27	1.15	0.06	0.004	0.001	0.753
Lys efficiency	0.76	0.71	0.72	0.62	0.70	0.84	0.71	0.69	0.62	0.72	0.025	<0.001	0.460	0.167
ME intake, kcal/d	5092	5371	5671	5761	5461	5670	5955	6693	6955	6318	359.0	0.003	0.001	0.732
NE intake, kcal/d	3904	4121	4315	4411	4188	4347	4568	5140	5325	4845	275.3	0.004	0.001	0.733
CP intake, g/d	222	237	239	260	239.5	247	263	284	314	277.1	15.77	0.001	0.001	0.724
N intake, g/d	35.5	38.0	38.2	41.6	38.32	39.6	42.1	45.5	50.2	44.34	2.52	0.001	0.001	0.724
N retention, g/d	12.6	15.9	19.5	21.7	17.44	15.5	17.6	22.4	26.4	20.48	1.16	<0.001	0.001	0.614
N excretion, g/d	22.9	22.1	18.7	19.9	20.89	24.1	24.5	23.1	23.8	23.86	1.68	0.161	0.012	0.751
N retention efficiency, %	35.6	42.3	51.4	52.2	45.39	39.2	42.2	49.2	52.8	45.84	1.47	<0.001	0.654	0.263

¹Diets provided 55, 68, 82, and 95% of the NRC (2012) recommendations

²Low: 91g/d; High: 123g/d

³Linear effects.

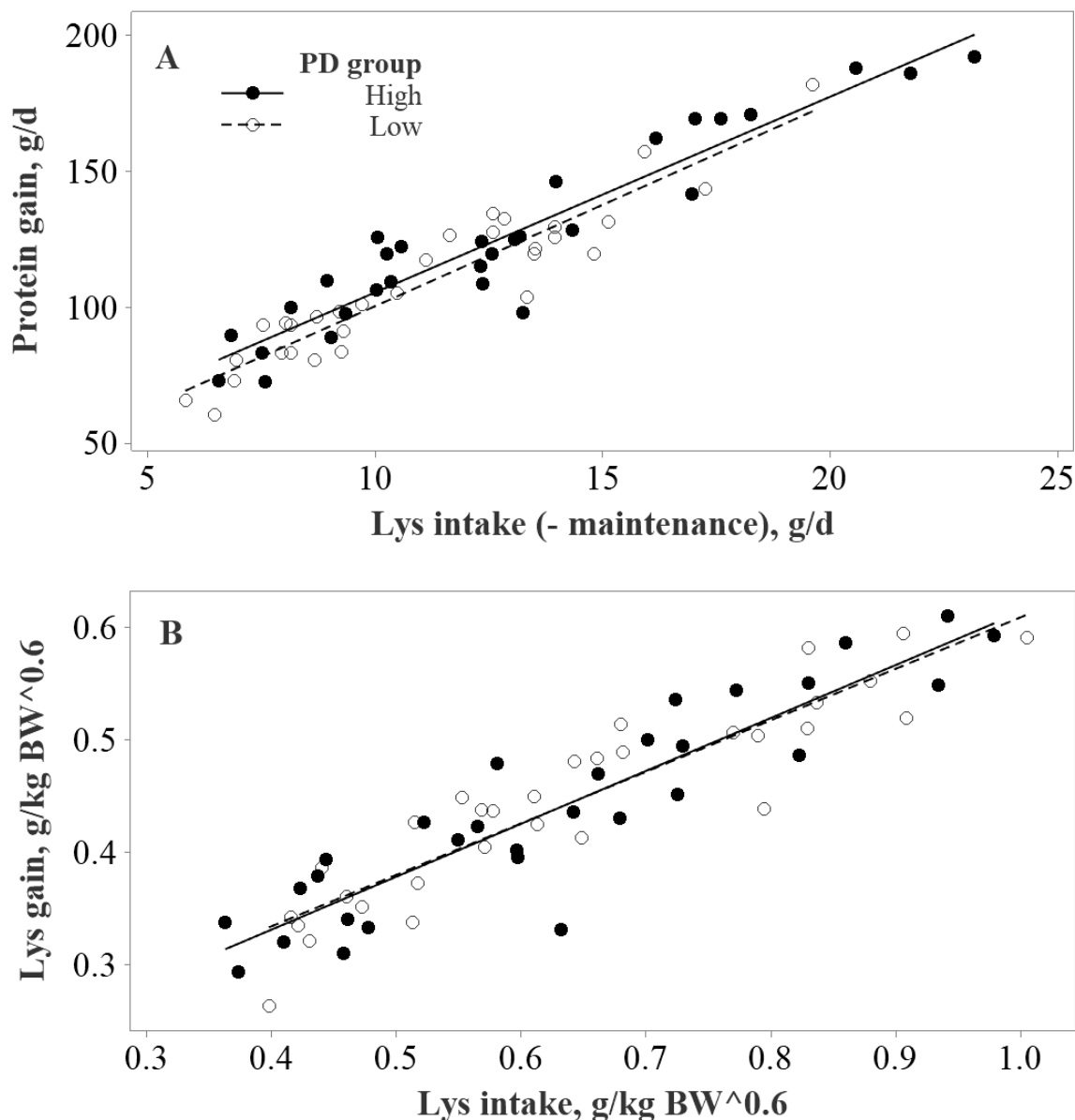


Figure 1. Fitted linear regression to estimate the efficiency of utilization (slope) of standardized ileal digestible lysine (SID Lys) for (A) protein gain and (B) lysine gain as function of different intakes of SID Lys from 39.2-59.8 kg for each protein deposition (PD) group (High and Low). For protein gain (PG) in relation to SID Lys intake, the linear regression estimated the slope of High at 7.208 g/g SID Lys (95% CI: [3.077, 11.339], $y = 33.24 + 7.208.X$, $R^2=89\%$), and of Low at 7.477 g/g SID Lys (95% CI: [4.002, 10.952], $y = 25.39 + 7.477.X$, $R^2=88\%$). Regarding Lys gain (g/kg BW^{0.6}) in relation to SID Lys intake (g/kg BW^{0.6}), the linear regression estimated the slope of High at 0.471g/ g SID Lys (95% CI: [0.457, 0.485], $y = 14.24 + 0.471.X$, $R^2=83\%$), and of Low at 0.458 g /g SID Lys (95% CI: [0.446, 0.470], $y = 14.99 + 0.458.X$, $R^2=84\%$).