

ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS

para melhoria da qualidade da carne suína

Teresinha Marisa Bertol

Editora Técnica



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Suínos e Aves
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS

para melhoria da qualidade da carne suína

Teresinha Marisa Bertol
Editora Técnica

Embrapa
Brasília, DF
2019

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na

Embrapa Suínos e Aves Rodovia BR 153 - KM 110 Caixa Postal 321 89.715-899, Concórdia, SC Fone: (49) 3441 0400 Fax: (49) 3441 0497 www.embrapa.br www.embrapa.br/fale-conosco/sac	Revisão técnica <i>Arlei Coldebella</i> <i>Dirceu João Duarte Talamini</i> <i>Franco Muller Martins</i> <i>Gerson Neudi Scheuermann</i> <i>Helenice Mazzuco</i> <i>Jorge Vitor Ludke</i> <i>Luizinho Caron</i> <i>Teresinha Marisa Bertol</i> <i>Vivian Feddern</i>
Unidade responsável pelo conteúdo e pela edição Embrapa Suínos e Aves	Revisão de texto <i>Lucas Scherer Cardoso</i>
Comitê Local de Publicações da Embrapa Suínos e Aves	Normalização bibliográfica <i>Claudia Antunes Arrieche</i>
Presidente <i>Marcelo Miele</i>	Tratamento das ilustrações <i>Vivian Fracasso, Lucas Scherer Cardoso e Marina Schmitt</i>
Secretária-Executiva <i>Tânia Maria Biavatti Celant</i>	
Membros <i>Airton Kunz</i> <i>Ana Paula Almeida Bastos</i> <i>Gilberto Silber Schmidt</i> <i>Gustavo Julio Mello Monteiro de Lima</i> <i>Monalisa Leal Pereira</i>	Projeto gráfico e editoração eletrônica <i>Vivian Fracasso</i>
Supervisão editorial <i>Tânia Maria Biavatti Celant</i>	Foto da capa <i>Marina Schmitt</i>
	Capa <i>Vivian Fracasso</i>
	1ª edição Publicação digital (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Suínos e Aves

Estratégias nutricionais para melhoria da qualidade da carne suína / Teresinha Marisa Bertol. Editora técnica. - Brasília, DF : Embrapa, 2019.
296 p. : il. color. ; 16,2 cm x 23,8 cm.

ISBN 978-85-7035-936-0

1. Carne suína. 2. Qualidade da carne. I. Bertol, Teresinha Marisa. II. Embrapa Suínos e Aves. III. Título.

CDD 641.364

Capítulo 6

Implicações do nível de nutrição proteica e vitamina A sobre a qualidade da carne

Teresinha Marisa Bertol



Introdução

A carne é o resultado de reações físico-químicas pelas quais o tecidoA produção de suínos tem alcançado altos níveis de excelência nos principais países produtores, com o uso de genótipos altamente melhorados para taxa de crescimento, eficiência alimentar e deposição de carne magra. Somadas a esse fator, a organização dos sistemas de produção e as estratégias de alimentação têm resultado em redução dos custos de produção e na produção de carcaças com elevada porcentagem de carne e baixo conteúdo de gordura. Estes resultados vêm ao encontro dos anseios dos consumidores, que buscam produtos cárneos a preços acessíveis e cortes com reduzido teor de gordura. No entanto, essa transformação na qualidade das carcaças que resultou em redução da espessura de toucinho e do conteúdo de gordura total foi acompanhada por redução no conteúdo de gordura intramuscular e deterioração das características sensoriais, o que pode ter implicações negativas para o consumo de carne *in natura*. Alguns fatores nutricionais em particular podem agravar o problema de baixa gordura intramuscular, ou, na direção oposta, podem ser utilizados de forma estratégica para melhorá-la. Nesse capítulo, serão abordadas estratégias nutricionais relacionadas com níveis de nutrientes específicos que apresentam potencial para afetar a composição e as características de qualidade de carne.

Nível proteico da dieta e suplementação com aminoácidos específicos

Na produção industrial de suínos, a nutrição proteica segue padrões de exigências de aminoácidos que visam obter a melhor combinação entre taxa de crescimento, conversão alimentar e porcentagem de carne magra na carcaça, consequentemente com a melhor relação custo/benefício. Portanto, o sucesso dos programas nutricionais é dependente da capacidade de fornecer os nutrientes em quantidade mais próxima possível das exigências dos animais, o que se constitui em um grande desafio considerando-se as variações normalmente encontradas na qualidade das matérias-primas, no potencial específico de cada

genótipo, sexo e indivíduo, e no efeito das condições sanitárias e de ambiência normalmente encontradas na produção. O uso de margens de segurança, que visam garantir os níveis necessários ao máximo desempenho e produção de carne magra, tendo-se em conta a variabilidade das condições de produção mencionadas acima e as possibilidades de erro na estimativa do conteúdo de nutrientes digestíveis dos alimentos e das exigências dos animais, pode incorrer no fornecimento de níveis excessivos de aminoácidos nas dietas, com implicações negativas na lucratividade e qualidade da carne. Por outro lado, dependendo da conjuntura econômica, pode ser mais vantajoso utilizar dietas com níveis mais baixos de proteína/aminoácidos, já que os ingredientes proteicos tendem a ser mais caros do que os ingredientes energéticos.

Em geral, nos padrões atuais de produção de suínos em sistema industrial de larga escala, com a utilização de genótipos e outras tecnologias destinadas a aumentar a eficiência de produção de carne magra, o que se tem observado é a produção de carne com baixos níveis de gordura intramuscular. Em um levantamento feito em dois abatedouros de grande escala, observou-se que uma grande proporção dos animais apresentava escore 1 de marmoreio (Tabela 1), ou seja, carne desprovida ou praticamente desprovida de gordura intramuscular, de acordo com a classificação do National Pork Producers Council (1999). No abatedouro B, onde todos os machos eram submetidos à castração imunológica, a proporção de animais com escore 1 de marmoreio (1% de gordura intramuscular) chegou a 51%. A menor proporção desse escore (18%) foi obtida no abatedouro A, em um genótipo especial destinado à produção de carne com qualidade superior, no qual o escore 3 (3% ou mais de gordura intramuscular) atingiu quase 40% das carcaças.

O programa nutricional a que os suínos são submetidos na fase final de produção, mais especificamente o nível de proteína, de lisina e de alguns outros aminoácidos essenciais, pode influenciar o nível de gordura intramuscular e outras características de qualidade da carne. A redução do nível de proteína da dieta, desde que não compensada por suplementação com aminoácidos sintéticos, resulta em aumento da gordura intramuscular. Isto é observado especialmente com reduções drásticas do conteúdo de proteína, abaixo das exigências dos animais, resultando em aumentos variáveis no conteúdo de gordura intramuscular (Castel et al., 1994; Goerl et al., 1995; Kerr et al., 1995;

Cisneros et al., 1996; Witte et al., 2000; Wood et al., 2004; Wang et al. 2012; Madeira et al., 2013) (Tabela 2). O mesmo efeito pode ser obtido com níveis reduzidos de um único aminoácido, como a lisina, por exemplo (Katsumata et al., 2005; Katsumata et al., 2012), a qual, por ser o primeiro aminoácido limitante nas dietas de suínos, resulta em efeito semelhante à redução do nível de proteína. Esse efeito também pode ser obtido com reduções moderadas no nível de proteína/aminoácidos da dieta, porém com aumentos mais modestos na gordura intramuscular (Doran et al., 2006; Teye et al., 2006; Bertol et al., 2010; Monteiro, 2017; Wood et al., 2013), pois o aumento da gordura intramuscular em resposta aos níveis de proteína ou lisina da dieta é dose-dependente (Castel et al., 1994; Goerl et al., 1995; Katsumata et al., 2012). A resposta obtida por Doran et al. (2006), Bertol et al. (2010) e Monteiro (2017) sugere que não somente os níveis proteicos/aminoácidos abaixo das exigências aumentam a gordura intramuscular, mas quando acima das exigências causam sua redução, embora a magnitude das respostas seja menor nesse caso.

Tabela 1. Frequência de distribuição das carcaças nas categorias de marmoreio em duas agroindústrias da Região Sul do Brasil.

Categoria	Frequência	Porcentagem	Frequência cumulativa	Porcentagem cumulativa
Agroindústria B - genótipos industriais				
Escore 1	121	51,05	121	51,05
Escore 2	109	45,99	230	97,05
Escore 3 ou +	7	2,95	237	100,00
Agroindústria A - genótipos industriais				
Escore 1	91	37,76	91	37,76
Escore 2	100	41,49	191	79,25
Escore 3 ou +	50	20,75	241	100,00
Agroindústria A - genótipo especial qualidade de carne				
Escore 1	49	17,75	49	17,75
Escore 2	119	43,12	168	60,87
Escore 3 ou +	108	39,13	276	100,00

Fonte: Adaptado de Bertol et al. (2016).

Tabela 2. Efeito da redução do nível de proteína ou de lisina da dieta sobre o conteúdo de gordura intramuscular em suínos.

Genótipo	Faixa de peso vivo (kg)	Proteína bruta (%)	Lisina total (%)	Energia (MJ ED/kg)	Efeito sobre desempenho	Efeito sobre carcaça	Marmoreio médio por tratamento (%)	Fonte	
Landrace x Hampshire	25 - 98	11,9	0,48	12,7	↓ GPD e EA	↓AOL, ↑ ET	4,0	Castell et al. (1994)	
		13,3	0,57	12,8			4,1		
		14,8	0,65	12,9			3,6		
		16,2	0,75	13,0			3,3		
		17,6	0,81	13,1			3,1		
Landrace x (York x Hampshire)	8,6 - 92,6	19	1,04		↓ GPD e EA	↓AOL, ↑ ET	2,93	Kerret al. (1995)	
		15	1,04				2,89		4,34
		15/16	0,75/0,82						
		12	0,82						
		12/14	0,53/0,67						
Hampshire*	28 - 104	11	0,67			↓AOL, ↑ ET	9,37	Goerl et al. (1995)	
		11	0,45				4,84		4,32
		10					3,78		2,66
		13					3,41**		
		16							
5 linhagens Large White	30 - 90 kg		0,40; 0,76 e 1,12 ‡	14 (na MS)			1,61	Cameron et al. (2000)	
				0,79			0,68**		
Híbrido PIC	90 - 126	10,45 10,43	0,48 0,64‡	14,2††	↓ EA	↓AOL e PCM	3,48 2,93**	Witte et al. (2000)	

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Genótipo	Faixa de peso vivo (kg)	Proteína bruta (%)	Lisina total (%)	Energia (MJ ED/kg)	Efeito sobre desempenho	Efeito sobre carcaça	Marmoreio médio por tratamento (%)	Fonte
Berkshire Tamworth Large White Duroc	9 - 21 semanas	20 16	1,14 0,68§	14 1	↓ GPD	↑ gordura subcutânea e intermuscular	2,05 vs 3,42 1,77 vs 3,10 0,97 vs 1,68 1,20 vs 1,40**	Wood et al. (2004)
(Large White x Landrace) x Duroc	61,7 - 110	11,1 11,1/10,7 10,7	0,43 0,65/0,40 0,68	14,5	↓ EA, ↑ idade ao abate	Não afetou	3,5 6,7**	Katsumata et al. (2005)
0,5 Duroc, 0,25 Large White, 0,25 Landrace	40 - 100	21 18		14			1,75 3,25**	Doran et al. (2006)
0,5 Duroc, 0,25 Large White, 0,25 Landrace	40 - 100	21 18	1,0 0,7§	14	↓ GPD e EA	Não afetou	1,74 2,86**	Teye et al. (2006)
PIC Linhagem 327 x C22	73 - 126	12,8 13,2	0,5 0,7	13,8††	Não afetou	↓ AOL	3,4 2,1	Hyun et al. (2007)
Duroc x F1 MS-115 x F1 Duroc x MO25 MS-115 x Moura	23 - 118 kg	19,02 17 08/18,44 16,60/17,03 15,03/14,79 13,19	1,03 0,89/0,95 0,83/0,81 0,68/0,66 0,56#	14,0 13,6 13,7 13,8 ††	Não afetou	Não afetou	1,66 1,92	Bertol et al. (2010)

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Genótipo	Faixa de peso vivo (kg)	Proteína bruta (%)	Lisina total (%)	Energia (MJ ED/kg)	Efeito sobre despenho	Efeito sobre carcaça	Marmoreio médio por tratamento (%)	Fonte
(Large White x Landrace) x Duroc	58 - 110	9,3; 9,3; 9,4; 9,8	0,4 0,48 0,56 0,64	14,5	↓ GPD e EA	Não afetou	6,9 4,9 4,3 3,9**	Katsumata et al. (2012)
Wujin	15 - 30 30 - 60 60 - 100	14 18	0,96	13,6	↑ idade ao abate	↓ PCM	6,93 vs 6,76 10,48 vs 9,75 12,15 vs 10,39**	Wang et al. (2012)
MS-115 x F1	25 - 50 50 - 80 80 - 105 105 - 130	15,44 18,21/15,39 18,56/14,78 16,12/12,55 14,11	0,96 0,94/0,82 0,89/0,75 0,83/0,59 0,75#		Não afetou	Não afetou	2,13 1,80	Monteiro, (2017)
Pietrain x (Large White x Landrace)	40 - 60 60 - 85 85 - 115	20 18 16/17 15 13/15 15 11,5	1,1 1,0 0,8/1,1 1,0 0,8/1,1 0,7 0,5	9,7†		↓ quantidade de músculo, ↑ET	1,05 1,18 1,54**	Wood et al. (2013)
(0,5 Large White, 0,5 Landrace) x (0,5 Duroc, 0,5 Pietrain)	60 - 92	16 13		14††	↓ GPD e EA	↑ ET ↓ peso do lombo	1,34 1,85	Madeira et al. (2014)

* Duas linhagens de Hampshire, uma de baixo potencial de crescimento de carne e uma linhagem magra; ** Extrato etéreo; † MJ EL/kg; †† MJ EM/kg; ‡ Base digestível ileal; § Base digestível ileal aparente; § Base não especificada.

O fornecimento de dietas com altos níveis de leucina também resulta em aumento da gordura intramuscular (Hyun et al., 2003; Wood et al., 2004; Hyun et al., 2007), mas esta resposta pode ser dependente dos níveis de lisina da dieta, uma vez que, em alguns casos, os altos níveis de leucina somente elevaram a gordura intramuscular quando associados com baixos níveis de lisina (Hyun et al., 2007). A máxima resposta parece ser obtida com 2% de leucina (Hyun et al., 2007).

A suplementação da dieta de suínos em crescimento-terminação com arginina tem sido avaliada em alguns estudos, mas os resultados não são conclusivos quanto ao efeito dessa estratégia sobre o conteúdo de gordura intramuscular. Aumento da gordura intramuscular foi observado em alguns estudos com o fornecimento de dietas de crescimento-terminação com 1% de arginina (Tan et al., 2009; Ma et al., 2010), mas esse efeito não foi consistente em outros (Go et al., 2012; Madeira et al., 2014). Da mesma forma, a suplementação da dieta com arginina apresentou efeitos contraditórios sobre a qualidade da carcaça. Enquanto que a suplementação com 1% de arginina elevou a porcentagem de carne magra e reduziu a massa de gordura em alguns estudos (He et al., 2009; Tan et al., 2009), em outros foi relatado aumento da adiposidade das carcaças (Go et al., 2012) ou ausência de efeito (Ma et al., 2010). Apesar da falta de consistência nos resultados relativos ao conteúdo de gordura intramuscular e composição das carcaças, evidências do aumento da síntese líquida de proteína e aumento da oxidação dos ácidos graxos, que corroboram com aumento da massa muscular e redução da massa lipídica em suínos suplementados com arginina, foram obtidas a partir da análise de metabólitos séricos (He et al., 2009). Além disso, a análise da expressão de genes ligados à síntese e catabolismo do tecido adiposo demonstra que a suplementação com arginina potencializa a lipogênese no músculo e a lipólise no tecido adiposo (Tan et al., 2011), o que revela mecanismos básicos que favorecem o aumento da gordura intramuscular concomitante com a redução da massa adiposa total na carcaça.

A gordura intramuscular resulta da diferença entre a deposição e catabolismo dos lipídeos no músculo, os quais são regulados por enzimas controladas por um grande número de genes (Wang et al., 2012). Uma das possíveis explicações para o aumento da gordura intramuscular associada com baixos níveis de nutrição proteica/aminoacídica é a

redução da síntese e do *turnover* de proteína no músculo, o que deixaria como saldo uma maior quantidade de energia disponível para síntese de ácidos graxos. Porém, outros mecanismos têm sido avaliados, que incluem a regulação da lipogênese e da lipólise no músculo. Um grande número de proteínas reguladoras, receptores e enzimas estão envolvidos nesses dois processos e a expressão dos genes que os codificam tem sido motivo de estudos. Foi demonstrado que a redução do nível de proteína ou de lisina da dieta aumenta a expressão de genes lipogênicos como PPAR γ , H-FABP, SREBP-1c, acetyl-CoA carboxilase (ACC), sintase dos ácidos graxos (FAZ) e stearoil-CoA dessaturase (SCD) e reduz a expressão de genes lipolíticos como carnitina palmitoil transferase-1 (CPT-1) e lipase sensível a hormônio (HSL) no músculo (Katsumata et al., 2005; Doran et al., 2006; Katsumata et al., 2008; Wang et al., 2012). Por outro lado, aumento correspondente na expressão da enzima stearoyl-CoA dessaturase não foi observado no tecido adiposo (Doran et al., 2006), o que confirma a regulação bioquímica diferencial da deposição de gordura entre os diferentes tecidos por efeito da nutrição. A redução do nível de lisina da dieta causa redução do conteúdo de carnitina livre no músculo, provavelmente devido à menor disponibilidade local de lisina, a qual é um dos seus precursores (Katsumata et al., 2005). A β -oxidação dos ácidos graxos na mitocôndria é dependente da enzima carnitina palmitoil transferase, a qual transporta os ácidos graxos para o interior da mitocôndria, onde são catabolizados para produção de energia através do ciclo dos ácidos tricarboxílicos. Katsumata et al. (2008) observaram aumento da atividade da enzima citrato sintase nos músculos de suínos alimentados com dietas contendo nível reduzido de lisina, o que se constitui em outra evidência do efeito desta estratégia nutricional para aumento da gordura intramuscular. O citrato é um importante ativador da enzima acetyl-CoA carboxilase, uma enzima-chave no processo de síntese dos ácidos graxos (Garret; Grishan, 1999). O PPAR- γ é um dos componentes da família de PPARs, o qual quando ativado aumenta a sensibilidade à insulina e potencializa o metabolismo da glicose (Tyagi et al., 2011), desempenhando um importante papel no controle da adipogênese (Lehman et al., 1995). O aumento da expressão do PPAR- γ pode levar ao aumento da síntese *de novo* dos ácidos graxos, enquanto que a redução do conteúdo de carnitina livre pode levar à redução da β -oxidação dos ácidos graxos,

os quais, conjuntamente com outros fatores de transcrição e enzimas, podem ser fatores determinantes do aumento da gordura intramuscular em suínos alimentados com dietas contendo níveis reduzidos de lisina (Katsumata et al., 2005). Outra evidência do efeito das dietas com nível reduzido de lisina sobre o nível de gordura intramuscular estaria relacionada à capacidade oxidativa dos músculos. Suínos alimentados com dietas contendo reduzido nível de lisina apresentaram maior proporção de fibras musculares oxidativas, em função da ativação do gene *peroxisome proliferator-activated receptor Y2* (PPAR Y2), as quais podem conter maior nível de gordura intramuscular (Katsumata et al., 2008). No entanto, os mecanismos reguladores da lipogênese e lipólise nos suínos mudam com o aumento do peso corporal (Zhao et al., 2010; Wang et al., 2012), o que significa que o efeito das dietas sobre a gordura intramuscular pode ser influenciado também pelo peso de abate dos animais.

A leucina é um aminoácido cetogênico, que durante o metabolismo é convertido à acetyl-CoA, a qual pode integrar o ciclo dos ácidos tricarboxílicos para produção de energia pela via aeróbica na mitocôndria, ou ser exportada para o citosol e direcionada para a síntese dos ácidos graxos. Foi sugerido que o excesso de leucina é catabolizado dentro do músculo, dessa forma contribuindo para suprir energia específica para esse tecido músculo (Hyun et al., 2007). Essa poderia ser uma explicação para o aumento da gordura intramuscular induzida pelo excesso de leucina na dieta, sem aumento ou com aumento insignificante dos outros depósitos de gordura corporal.

A redução do nível de proteína da dieta ou a elevação da relação lisina/energia, pode também resultar em aumento da proporção de ácidos graxos saturados (SFA) e monoinsaturados (MUFA) e da relação MUFA/SFA na gordura corporal (Cameron et al., 2000; Katsumata et al., 2005; Doran et al., 2006; Teye et al., 2006; Wang et al., 2012; Madeira et al., 2013; Wood et al., 2013). O aumento do conteúdo de MUFA provavelmente se deve ao aumento da expressão do mRNA da enzima stearoyl-CoA dessaturase (Wang et al., 2012), a qual é responsável pela síntese de MUFA a partir de SFA. Também se observa redução da concentração de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) e da relação PUFA/SFA (Cameron et al., 2000; Wood et al., 2004; Teye et al., 2006; Wood et al., 2013) e aumento da relação ômega-6/ômega-3 no

músculo (Cameron et al., 2000). O efeito da redução dos níveis de proteína bruta ou aminoácidos específicos sobre o perfil de ácidos graxos é dependente do grau de adiposidade das raças utilizadas, sendo mais acentuado nas raças mais magras (Wood et al., 2004; Madeira et al., 2013). O aumento do conteúdo de MUFA e aumento da relação MUFA/SFA sugere aumento da síntese *de novo* de ácidos graxos e da atividade da enzima $\Delta 9$ -dessaturase associada à redução dos níveis de lisina da dieta (Katsumata et al., 2005; Doran et al., 2006).

A associação positiva entre o aumento do conteúdo de gordura intramuscular e as características sensoriais, tais como suculência e maciez, e a aceitabilidade da carne suína, tem sido relatada em diferentes estudos (Hodgson et al., 1991; Castel et al., 1994; Cannata et al., 2010; Madeira et al., 2013). O aumento do conteúdo de gordura intramuscular também está associado com aumento do pH e redução da perda por cocção (Hodgson et al., 1991). Os níveis mínimos aceitáveis de gordura intramuscular necessários para imprimir características sensoriais positivas na carne suína são mais ou menos concordantes entre os diferentes estudos. Font-i-Furnols et al. (2012) indicam que estes níveis variam de 2,2% a 3,4%, o primeiro sendo indicado por consumidores que preferem carne magra e o segundo por consumidores que preferem carne com mais gordura. Em outro estudo, o maior índice de aprovação dos consumidores quanto à textura e sabor foram obtidos com amostras que continham de 2,5% a 3,5% de marmoreio, e o índice de rejeição aumentou com novos aumentos na gordura intramuscular, possivelmente devido a preocupações quanto à saudabilidade do produto (Fernandez et al., 1999). Porém, a faixa ótima de gordura intramuscular desejada associada com melhor sabor e aceitabilidade geral do produto pode variar de acordo com aspectos culturais, idade, preocupação com saudabilidade e muitos outros fatores específicos das populações de diferentes regiões. Mesmo assim, níveis de gordura intramuscular mais elevados do que os encontrados na carne da maioria dos suínos oriundos da produção industrial atual são requeridos para ótima qualidade sensorial. A redução do nível de proteína da dieta resulta em aumento da suculência e maciez (Castel et al., 1994; Wood et al., 2004; Teye et al., 2006; Wood et al., 2013; Madeira et al., 2014), redução da força de cisalhamento (Goerl et al., 1995) e da perda por cocção (Castel et al., 1994). A redução da relação lisina/energia da die-

ta resulta em carne com melhor *flavor* e odor (Cameron et al., 2000) e maior aceitabilidade geral (Cameron et al., 2000; Wood et al., 2013). Por outro lado, quando associada a raças com elevada proporção de gordura corporal, a redução do nível de proteína da dieta pode piorar a aceitabilidade geral da carne, como observado com a raça Tamworth (Wood et al., 2004). Este fato pode estar relacionado com excesso de gordura na carne, em função do aumento do conteúdo de gordura em uma raça já naturalmente gorda. O aumento do conteúdo de gordura intramuscular é acompanhado por redução do conteúdo de proteína e aumento da matéria seca da carne (Hodgson et al., 1991; Goerl et al., 1995). Considerando-se que a redução do conteúdo de proteína ou da relação lisina/energia da dieta aumentam a gordura intramuscular, e que há uma associação positiva entre esta e a qualidade da carne, pode-se dizer que a melhora das características tecnológicas e sensoriais obtidas com a redução dos níveis de proteína ou lisina das dietas em grande parte é consequência do aumento do conteúdo de gordura intramuscular, a qual apresenta correlação positiva com a suculência e aceitabilidade geral e correlação negativa com a força de cisalhamento e a perda por cocção (Hodgson et al., 1991).

Embora seja uma estratégia eficiente para aumentar o nível de gordura intramuscular, o uso de dietas com redução drástica dos níveis de proteína ou de lisina apresenta o inconveniente de reduzir o desempenho de crescimento e/ou aumentar a gordura total na carcaça dos suínos (Castel et al., 1994; Goerl et al., 1995; Kerr et al., 1995; Wood et al., 2004; Katsumata et al., 2005; Katsumata et al., 2012), podendo afetar o custo de produção e reduzir o valor das carcaças. Porém, com reduções moderadas no nível de proteína/aminoácidos da dieta é possível obter aumentos modestos na gordura intramuscular sem efeito negativo sobre o desempenho e as características de carcaça (Bertol et al., 2010; Monteiro, 2017), o que é possibilitado por regulação bioquímica diferenciada da deposição de gordura entre os diferentes depósitos nos suínos (Doran et al., 2006). Nos casos em que estes resultados foram obtidos, os níveis mais elevados de aminoácidos provavelmente estavam acima dos requerimentos dos animais para ótimo desempenho, em função de algumas tabelas de exigências nutricionais estarem superestimando as exigências de aminoácidos. Os baixos níveis de gordura intramuscular observados nos suínos a nível de campo (Tabela 1)

sugerem que os níveis de nutrição proteica/aminoacídica utilizados estão acima das exigências dos animais. Em alguns casos, a redução do nível de proteína da dieta resultou apenas em um pequeno aumento da gordura intramuscular, juntamente com redução do desempenho e aumento da quantidade de gordura da carcaça (Witte et al., 2000; Madeira et al., 2014). Esta resposta pode estar associada ao baixo peso de abate (90 kg), pois a deposição de marmoreio é tardia em suínos, e com particularidades do genótipo (Witte et al., 2000). Além disso, em suínos de 90 kg de peso vivo, a deposição de proteína na carcaça ainda é elevada, portanto, uma pequena deficiência de proteína ou lisina nesta faixa de peso pode ter um grande efeito sobre a composição da carcaça e o desempenho dos animais.

Dietas com elevados níveis de leucina também podem afetar o desempenho dos animais (Hyun et al., 2003), embora esse resultado não tenha sido consistente entre os diferentes estudos (Hyun et al., 2007). Por outro lado, altos níveis de leucina na dieta parecem não afetar a qualidade da carcaça (Hyun et al., 2003; Hyun et al., 2007). Portanto, para aumentos acentuados da gordura intramuscular através da redução do conteúdo de proteína ou lisina ou de aumentos do nível de leucina da dieta há um preço a pagar, que só terá viabilidade econômica se o diferencial de qualidade for valorizado com remuneração extra, de forma a compensar pelos prejuízos no desempenho e quantidade de carne produzida. Porém, aumentos na gordura intramuscular não devem ser de tal ordem que suscitem preocupações nos consumidores quanto à saudabilidade da carne. Por outro lado, aumentos moderados na gordura intramuscular podem ser obtidos sem afetar, ou com efeitos mínimos sobre, o desempenho e a qualidade da carcaça. Esse resultado pode ser obtido com ajuste fino da formulação para cada situação específica, evitando excesso de aminoácidos na ração para que se obtenha pelo menos o nível mínimo de gordura intramuscular necessário para adequada qualidade sensorial da carne. Portanto, é crucial que se faça um ajuste fino na nutrição proteica/aminoacídica de modo a equilibrar os resultados quanto à melhoria da qualidade da carne com o desempenho e a qualidade da carcaça. Porém, como as matérias-primas disponíveis e as condições de produção são amplamente variáveis, não é possível recomendar um nível de proteína ou de lisina para uso geral visando aumento da gordura intramuscular, e sim o ajuste caso a caso.

A suplementação com 1% de arginina na dieta de suínos em terminação não afeta o desempenho dos animais (He et al., 2009; Ma et al., 2010; Go et al., 2012), podendo até melhorar o ganho de peso e a eficiência alimentar (Tan et al., 2009), o que representa uma vantagem em relação às outras estratégias para aumento do conteúdo de gordura intramuscular através de alterações na nutrição proteica. No entanto, os resultados inconsistentes quanto ao seu efeito tornam necessário o desenvolvimento de novas pesquisas para elucidar a questão.

Vitamina A

O termo vitamina A se refere aos derivativos com atividade biológica do *all trans* ácido retinoico, ou ácido retinoico, gerados a partir do retinol (Brown; Noelle, 2015), os quais são compostos orgânicos lipossolúveis que desempenham importantes funções no organismo. Entre essas funções, podemos citar seu papel no adequado funcionamento da visão, imunidade, crescimento, diferenciação epitelial (Saker et al., 2015), reprodução (Livera et al., 2002), desenvolvimento embrionário (Zile, 1998) e hematopoiese (Garg et al., 2005), além de outras. O retinol pode ser obtido a partir de alimentos de origem animal ou ser sintetizado a partir do β -caroteno, o qual é encontrado em alimentos de origem vegetal (Garret; Grisham, 1999). Os níveis de vitamina A recomendados no National Research Council (2012) para suínos a partir do desmame até o final da fase de terminação variam de 2.200 UI a 1.300 UI, o que corresponde a 660 μ g - 390 μ g de retinol ou 757 μ g - 447 μ g de retinil acetato por kg da dieta. Porém, na prática, os níveis de vitamina A fornecidos nas dietas dos suínos são de 2 a 10 vezes mais elevados do que o nível recomendado nas tabelas de nutrição.

Cinquenta a 80% da vitamina A armazenada nos tecidos corporais dos mamíferos é depositada no fígado (Nagy et al., 1997). Em suínos suplementados com níveis supranutricionais de vitamina A, a deposição corporal se dá nas formas de retinol e retinil palmitato, no fígado e no tecido adiposo, mas em muito maior proporção no primeiro (Ayuso et al., 2015a). Portanto, no caso de fornecimento de dietas deficientes em vitamina A, os depósitos corporais são mobilizados para manter a homeostase. Nesse caso, o retinol é mobilizado de forma mais rápida

do que o retinil palmitato e mais rapidamente do fígado do que do tecido adiposo (Ayuso et al., 2015a), sendo o conteúdo de vitamina A no músculo menos afetado pelos níveis dietéticos (Olivares et al., 2009a).

Pesquisas têm indicado um efeito da vitamina A sobre a deposição de gordura intramuscular e o perfil de ácidos graxos da gordura corporal. O fornecimento de dietas com baixos níveis ou sem suplementação de vitamina A por períodos prolongados leva ao aumento da gordura intramuscular em suínos (D'Souza et al., 2003; Olivares et al., 2011; Ayuso et al., 2015b) e bovinos (Siebert et al., 2006; Gorocica-Buenfil et al., 2007) (Tabela 3). Foi sugerido que o efeito da vitamina A sobre a gordura intramuscular poderia ser dependente do genótipo, pois Olivares et al. (2009b) observaram que em um genótipo magro a suplementação com vitamina A reduziu a deposição de gordura intramuscular, enquanto que em um genótipo moderadamente gordo o efeito foi oposto. Porém, nos estudos apresentados na Tabela 3, observa-se aumento da gordura intramuscular em função da restrição de vitamina A em diferentes genótipos, desde genótipos comerciais magros até o suíno Ibérico. Olivares et al. (2009a) não obtiveram efeito da suplementação com vitamina A sobre a gordura intramuscular de suínos, porém o estudo não contemplou dieta deficiente nesta vitamina, pois compararam dois níveis de suplementação bem acima do recomendado nas tabelas de exigências nutricionais (7.500 UI vs. 100.000 UI/kg da dieta). Com relação a um possível efeito da fase de vida do animal em que a restrição de vitamina A é aplicada, observa-se que, quando o início da restrição se dá até os 56 kg de peso vivo, há um efeito positivo sobre a gordura intramuscular (D'Souza et al., 2003; Olivares et al., 2011; Ayuso et al., 2015b), porém, o mesmo não se observa com restrição em idade mais tardia, como, por exemplo, nas últimas cinco semanas antes do abate (Olivares et al., 2011). É provável que essa falta de resposta esteja relacionada ao curto período de deficiência e à mobilização dos depósitos de vitamina A nos tecidos, principalmente do fígado, que podem ser suficientes para manter a homeostase até o abate dos animais.

Tabela 3. Efeito da restrição ou baixos níveis de suplementação de vitamina A na dieta sobre o desempenho, qualidade da carcaça e gordura intramuscular em suínos e bovinos.

Espécie	Genótipo	Fase avaliação (kg peso vivo)	Vitamina A (kg dieta)	Desempenho	Carcaça	Gordura intramuscular	Fonte
Suínos	LWxLDxDU	24 a 106	87 vs. 0 UI	Não afetou	Não afetou	Aumentou	D'Souza et al. (2003)
Suínos	DUx(LWxLD)	68 a 126	100.000 vs. 7.500 UI	Não afetou	Não afetou	Não afetou	Oliveres et al. (2009a)
Suínos	DUx(LDxLW) e (LDxLW)x (LDxLW)	56 a 115	100.000 vs. 0 UI	Não afetou	Não afetou	DUx(LDxLW): reduziu (LDxLW) x (LDxLW): não afetou	Oliveres et al. (2009b)
Suínos	LWx(LDxLW)	56 a 126	13.000 vs. 1.300 vs. 13.000 (6 semanas) - 0 (5 semanas) UI	Não afetou	Não afetou	Aumentou com 1.300 UI vit. A	Oliveres et al. (2011)
Suínos	Ibérico puro	16 a 158	10.000 vs. 0 UI	Não afetou	-	Aumentou (lipídeos neutros)	Ayuso et al. (2015b)
Bovinos	Angus	355 a 680	60.000 vs. 0 UI/100 kg peso vivo/dia	Não afetou	Não afetou	Aumentou	Siebert et al. (2006)
Bovinos	Holstein	218 a 588	2.200 vs. 0 (112 d) e 950 (131 d) vs. 0 (243 d) UI	Não afetou	Não afetou	Aumentou com 243 d de restrição	Gorocica -Buenfil et al. (2007)

LW = Large White; LD = Landrace; DU = Duroc

O aumento da gordura intramuscular associado a dietas deficientes em vitamina A está ligado ao efeito inibitório do ácido retinoico sobre a diferenciação dos pré-adipócitos (Suryawan; Hu, 1997; Brandebourg; Hu, 2005; Ayuso et al., 2015a), já que a deposição de gordura intramuscular é dependente do aumento no número de adipócitos (Ayuso et al., 2015b). Este efeito é mediado pela inibição do receptor α do ácido retinoico e pela inibição da expressão de genes ligados a regulação da adipogênese (Brandebourg; Hu, 2005; Ayuso et al., 2015a; 2015b).

A restrição de vitamina A também pode alterar a composição dos ácidos graxos corporais, com tendência de aumento na proporção de SFA, redução da proporção de MUFA, PUFA e relação MUFA/SFA e consequente redução do índice de dessaturação e aumento do ponto de fusão (Siebert et al., 2006; Olivares et al., 2009a; Olivares et al., 2011) na gordura subcutânea. Porém, a alteração na proporção de SFA observada é de baixa magnitude, variando de 3,7% a 4%. Por outro lado, a deficiência de vitamina A parece não afetar a composição da gordura intramuscular (Olivares et al., 2009a; Olivares et al., 2011), ou ainda pode apresentar efeito oposto ao verificado na gordura subcutânea, resultando em redução dos SFA e aumento dos MUFA e MUFA/SFA nos lipídeos neutros (Ayuso et al., 2015b). É possível que esse efeito sobre o perfil dos ácidos graxos da gordura intramuscular observado por Ayuso et al. (2015b), mas não por Olivares et al. (2009) e Olivares et al. (2011), tenha sido proporcionado pelo período mais longo de fornecimento da dieta deficiente em vitamina A no primeiro.

É interessante notar que o efeito da vitamina A sobre a gordura intramuscular ocorre sem que o desempenho dos animais e a qualidade da carcaça sejam afetados (D'Souza et al., 2003; Siebert et al., 2006; Gorocica-Buenfil et al., 2007; Olivares et al., 2009b; Olivares et al., 2011), a despeito de todas as funções reconhecidas da vitamina A no organismo animal. Este fato é muito importante do ponto de vista de produção comercial, pois esta se apresenta como uma opção viável para obtenção de carne de melhor qualidade sem custo adicional, uma vez que não causa prejuízo aos fatores que impactam o custo e a competitividade da produção. No entanto, para obter o efeito desejado na qualidade da carne e minimizar o risco da ocorrência de problemas que possam impactar o desempenho e a lucratividade da produção, é

importante que o período de restrição ou deficiência de vitamina A se reduza ao mínimo necessário, o que não está ainda definido devido ao pequeno número de estudos conduzidos até o momento. Porém, nos estudos disponíveis, o período mínimo com restrição de vitamina A que proporcionou aumento da gordura intramuscular foi de 77 dias. Este tempo mínimo depende dos níveis de vitamina A fornecidos nas fases anteriores, pois essa vitamina acumula-se nos tecidos e esses depósitos são mobilizados em períodos em que o aporte na dieta é reduzido.

Conclusões

A redução do nível de proteína, desde que não compensada com suplementação de aminoácidos sintéticos, ou a redução dos níveis de lisina da dieta abaixo das exigências dos suínos para máximo desempenho e produção de carne magra resulta em aumento da gordura intramuscular, sendo uma resposta dose-dependente. Esse efeito se dá pelo aumento da expressão de genes responsáveis pela lipogênese e redução da expressão de genes responsáveis pela lipólise no músculo em função da redução do aporte dietético de proteína ou lisina. Por outro lado, o excesso de proteína ou de lisina na dieta causa redução da gordura intramuscular em relação aos animais alimentados com níveis mais próximos das exigências desses nutrientes. Outro efeito do uso de reduzidos níveis de proteína ou lisina na dieta é o aumento da proporção de SFA e MUFA e da relação MUFA/SFA na gordura corporal, possivelmente devido ao aumento da síntese *de novo* de ácidos graxos e da atividade da enzima $\Delta 9$ -dessaturase. A redução do nível de proteína ou lisina da dieta também resulta em aumento da suculência e maciez, redução da força de cisalhamento, redução da perda por cocção, melhoria do *flavor* e do odor e aumento da aceitabilidade geral. Este impacto positivo sobre a qualidade da carne em grande parte é consequência do aumento do conteúdo de gordura intramuscular. Todas as essas respostas são mais acentuadas em suínos de genótipos mais magros.

O fornecimento de elevados níveis de leucina na dieta de terminação também resulta em aumento da gordura intramuscular, a máxima resposta sendo obtida com 2% de leucina. Porém, essa resposta é dependente dos níveis de lisina da dieta, pois elevados níveis de lisina

podem anular esse efeito. Nesse caso, o aumento da gordura intramuscular se dá possivelmente pela regulação do metabolismo energético no músculo.

A suplementação da dieta de suínos em crescimento-terminação com 1% de arginina tem apresentado alguns resultados positivos com relação ao aumento do conteúdo de gordura intramuscular, porém, os resultados não são conclusivos, apesar da existência de algumas evidências de que a arginina atua sobre mecanismos básicos que favorecem o aumento da gordura intramuscular concomitante com a redução da massa adiposa total na carcaça.

O uso de baixos níveis, ou a restrição total de vitamina A na ração de suínos por períodos prolongados, resulta em aumento da gordura intramuscular. Na prática, são utilizados elevados níveis de vitamina A nas dietas dos suínos, no mínimo 3 a 4 vezes o recomendado no National Research Council (2012), mas a redução desses níveis aumenta o conteúdo de gordura intramuscular sem afetar o desempenho e a qualidade da carcaça ou outras características de qualidade de carne. O aumento da gordura intramuscular ocorre em função da redução da inibição de genes ligados à regulação da adipogênese e diferenciação dos pré-adipócitos por parte do ácido retinoico. Novas pesquisas são necessárias para avaliar o período mínimo de fornecimento e o nível máximo de vitamina A que pode ser usado na dieta para aumentar o conteúdo de gordura intramuscular a níveis desejáveis sem afetar o desempenho e a qualidade da carcaça, mas, a partir dos resultados obtidos até o momento, o período mínimo de tempo e o nível máximo de vitamina que atendeu esses requisitos foi de 77 dias e 1.300 UI/kg da dieta, que é igual ao nível recomendado pelo National Research Council (2012).

Do ponto de vista prático, o uso de dietas com níveis de proteína ou lisina abaixo das exigências dos suínos ou com elevados níveis de leucina resultará em redução do desempenho de crescimento e em piora da qualidade da carcaça devido à redução da proporção de carne magra. Portanto, o uso dessa estratégia para aumento da gordura intramuscular deve estar associado a maior valoração das carcaças para compensar o aumento do custo de produção, sendo mais adequada para destinação a nichos de mercado. Por outro lado, evitar o excesso

de proteína ou lisina nas dietas, assim como utilizar níveis reduzidos de vitamina A, contribui para prevenir a produção de carne com níveis de gordura intramuscular abaixo do desejável (abaixo de 2,5%), o que se constitui em uma estratégia mais adequada para produção industrial em larga escala, considerando que não afeta o desempenho e pode até reduzir o custo de produção.

Referências

- AYUSO, M.; ÓVILO, C.; FERNÁNDEZ, A.; NUÑEZ, Y.; ISABEL, B.; DAZA, A.; LÓPEZ-BOTE, C. J.; REY, A. I. Effects of dietary vitamin A supplementation or restriction and its timing on retinol and α -tocopherol accumulation and gene expression in heavy pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 202, p. 62-74, 2015a. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2015.01.014.
- AYUSO, M.; ÓVILO, C.; RODRÍGUEZ-BERTOS, A.; REY, A. I.; DAZA, A.; FERNÁNDEZ, A.; GONZÁLEZ-BULNES, A.; LÓPEZ-BOTE, C. J.; ISABEL, B. Dietary vitamin A restriction affects adipocyte differentiation and fatty acid composition of intramuscular fat in Iberian pigs. **Meat Science**, v. 108, p. 9-16, Oct. 2015b. DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.04.017.
- BERTOL, T. M.; CAMPOS, R. M. L. de; COLDEBELLA, A.; SANTOS FILHO, J. I. dos; FIGUEIREDO, E. A. P. de; TERRA, N. N.; AGNES, I. B. L. Qualidade da carne e desempenho de genótipos de suínos alimentados com dois níveis de aminoácidos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 6, p. 621-629, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000600012.
- BERTOL, T. M.; SANTOS FILHO, J. I. dos; COLDEBELLA, A. Pork quality in two slaughter plants from the South of Brazil. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 53, 2016, Gramado. Produção animal para as novas gerações. **Anais...** Gramado: SBZ, 2016.
- BRANDEBOURG, T. D.; HU, C. Y. Regulation of differentiating pig preadipocytes by retinoic acid. **Journal of Animal Science**, v. 83, p. 98-107, 2005. DOI: 10.2527/2005.83198x.
- BROWN, C. C.; NOELLE, R. J. Seeing through the dark: new insights into the immune regulatory functions of vitamin A. **European Journal of Immunology**, v. 45, p. 1287-1295, May 2015. DOI: 10.1002/eji.201344398.
- CAMERON, N. D.; ENSER, M.; NUTE, G. R.; WHITTINGTON, F. M.; PENMAN, J. C.; FISKEN, A. C.; PERRY, A. M.; WOOD, J. D. Genotype with nutrition interaction on fatty acid composition of intramuscular fat and the relationship with flavour of pig meat. **Meat Science**, v. 55, n. 2, p. 187-195, June 2000. DOI: 10.1016/S0309-1740(99)00142-4.

CANNATA, S.; ENGLE, T. E.; MOELLER, S. J.; ZERBY, H. N.; RADUNZ, A. E.; GREEN, M. D.; BASS, P. D.; BELK, K. E. Effect of visual marbling on sensory properties and quality traits of pork loin. **Meat Science**, v. 85, n. 3, p. 428-434, July 2010. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.02.011.

CASTELL, A. G.; CLIPLEF, R. L.; POSTE-FLYNN, L. M.; BUTLER, G. Performance, carcass and pork characteristics of castrates and gilts self-fed diets differing in protein content and lysine: energy ratio. **Canadian Journal Animal Science**, v. 74, n. 3, p. 519-528, 1994. DOI: 10.4141/cjas94-073.

CISNEROS, F.; ELLIS, M.; BAKER, D. H.; EASTER, R. A.; MCKEITH, F. K. The influence of short-term feeding of amino-acid deficient diets and high dietary leucine levels on the intramuscular fat content of pig muscle. **Animal Science**, v. 63, p. 517-522, Dec. 1996. DOI: 10.1017/S1357729800015411.

D'SOUZA, D. N.; PETHICK, D. W.; DUNSHEA, F. R.; PLUSKE, J. R.; MULLAN, B. P. Nutritional manipulation increases intramuscular fat levels in the *Longissimus* muscle of female finisher pigs. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 54, n. 8, p. 745-749, 2003. DOI: 10.1071/AR03009.

DORAN, O.; MOULE, S. K.; TEYE, G. A.; WHITTINGTON, F. M.; HALLETT, K. G.; WOOD, J. D. A reduced protein diet induces stearoyl-CoA desaturase protein expression in pig muscle but not in subcutaneous adipose tissue: relationship with intramuscular lipid formation. **British Journal of Nutrition**, v. 95, p. 609-617, 2006. DOI: 10.1079/bjn20051526.

FONT-i-FURNOLS, M.; TOUS, N.; ESTEVE-GARCIA, E.; GISPERT, M. Do all the consumers accept marbling in the same way? the relationship between eating and visual acceptability of pork with different intramuscular fat content. **Meat Science**, v. 91, n. 4, p. 448-453, Aug. 2012. DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.02.030.

GARG, A.; ABROL, P.; TEWARI, A. D.; SEN, R.; LAL, H. Effect of vitamin A supplementation on hematopoiesis in children with anemia. **Indian Journal of Clinical Biochemistry**, v. 20, n. 1, p. 85-86, Jan. 2005. DOI: 10.1007/BF02893048.

GARRET, R. H.; GRISHAM, C. M. **Biochemistry**, 2nd ed. Orlando: Saunders College Publishing, 1999. 1127p.

GO, G.; WU, G.; SILVEY, D. T.; CHOI, S.; LI, X.; SMITH, S. B. Lipid metabolism in pigs fed supplemental conjugated linoleic acid and/or dietary arginine. **Amino Acids**, v. 43, p. 1713-1726, 2012. DOI: 10.1007/s00726-012-1255-5.

GOERL, K. F.; EILERT, K. F.; MANDIGO, K. F.; CHEN, H. Y.; MILLER, P. S. Pork Characteristics as affected by two populations of swine and six crude protein levels. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 12, p. 3621-3626, Dec. 1995. DOI: 10.2527/1995.73123621x.

GOROCICA-BUENFIL, M. A.; FLUHARTY, F. L.; REYNOLDS, C. K.; LOERCH, S. C. Effect of dietary vitamin A restriction on marbling and conjugated-linoleic acid (CLA) content in Holstein steers. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 9, p. 2243-2255, Sept. 2007. DOI: 10.2527/jas.2006-781.

HE, Q.; KONG, X.; WU, G.; REN, P.; TANG, H.; HAO, F.; HUANG, R.; LI, T.; TAN, B.; LI, P.; TANG, Z.; YIN, Y.; WU, Y. Metabolomic analysis of the response of growing pigs to dietary L-arginine supplementation. **Amino Acids**, v. 37, p. 199-208, 2009. DOI: 10.1007/s00726-008-0192-9.

HODGSON, R. R.; DAVIS, G. W.; SMITH, G. C.; SAVEL, J. W.; CROSS, H. R. Relationships between pork loin palatability traits and physical characteristics of cooked chops. **Journal of Animal Science**, v. 69, p. 4858-4865, 1991. DOI: 10.2527/1991.69124858x.

HYUN, Y.; ELLIS, M.; MCKEITH, F. K.; BAKER, D. H. Effect of dietary leucine level on growth performance, and carcass and meat quality in finishing pigs. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83, v. 2, p. 315-318, 2003. DOI: 10.4141/A02-035.

HYUN, Y.; KIM, J. D.; ELLIS, M.; PETERSON, B. A.; BAKER, D. H.; MCKEITH, F. K. 2007. Effect of dietary leucine and lysine levels on intramuscular fat content in finishing pigs. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 87, n. 3, p. 303-306, 2007. DOI: 10.4141/CJAS06042.

KATSUMATA, M.; KOBAYASHI, S.; MATSUMOTO, M.; TSUNEISHI, E.; KAJI, Y. Reduced intake of dietary lysine promotes accumulation of intramuscular fat in the *Longissimus dorsi* muscles of finishing gilts. **Animal Science Journal**, v. 76, n. 3, p. 237-244, Jun. 2005. DOI: 10.1111/j.1740-0929.2005.00261.x.

KATSUMATA, M.; KYOYA, T.; ISHIDA, A.; OHTSUKA, M.; NAKASHIMA, K. Dose-dependent response of intramuscular fat accumulation in *Longissimus dorsi* muscle of finishing pigs to dietary lysine levels. **Livestock Science**, v. 149, n. 1-2, p. 41-45, 2012. DOI: 10.1016/j.livsci.2012.06.025.

KATSUMATA, M.; MATSUMOTO, M.; KOBAYASHI, S.; KAJI, Y. Reduced dietary lysine enhances proportion of oxidative fibers in porcine skeletal muscle. **Animal Science Journal**, v. 79, n. 3, p. 347-353, June 2008. DOI: 10.1111/j.1740-0929.2008.00536.x.

KERR, B. J.; MCKEITH, F. K.; EASTER, R. A. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets. **Journal of Animal Science**, v. 73, p. 433-440, 1995. DOI: 10.2527/1995.732433x

LEHMAN, J. M.; MOORE, L. B.; SMITH-OLIVER, T. A.; WILKISON, W. O.; WILLSON, T. M.; KLIEWER, S. A. An Antidiabetic thiazolidinedione is a high affinity ligand for *peroxisome proliferator-activated receptor gamma* (PPAR γ). **The Journal of Biological Chemistry**, v. 270, n. 22, p. 12953-12956, June 1995. DOI: 10.1074/jbc.270.22.12953.

LIVERA, G.; ROUILLER-FABRE, V.; PAIRAULT, C.; LEVACHER, C.; HABERT, R. Regulation and perturbation of testicular functions by vitamin A. **Reproduction**, v. 124, n. 2, p. 173-180, Aug. 2002.

MA, X.; LIN, Y.; JIANG, Z.; ZHENG, C.; ZHOU, G.; YU, D.; CAO, T.; WANG, J.; CHEN, F. Dietary arginine supplementation enhances antioxidative capacity and improves meat quality of finishing pigs. **Amino Acids**, v. 38, p. 95-102, 2010. DOI: 10.1007/s00726-008-0213-8.

MADEIRA, M. S.; ALFAIA, C. M.; ALFAIA, C. M.; LOPES, P. A.; BESSA, R. J. B.; LEMOS, J. P. C.; PRATES, J. A. M. The increased intramuscular fat promoted by dietary lysine restriction in lean but not in fatty pig genotypes improves pork sensory attributes. **Journal of Animal Science**, v. 91, p. 3177-3187, 2013. DOI: 10.2527/jas.2012-5424.

MADEIRA, M. S.; ALFAIA, C. M.; ALFAIA, C. M.; LOPES, P. A.; LEMOS, J. P. C.; BESSA, R. J. B.; PRATES, J. A. M. The combination of arginine and leucine supplementation of reduced crude protein diets for boars increases eating quality of pork. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 2030-2040, 2014. DOI: 10.2527/jas.2013-6876.

MONTEIRO, A. N. T. R.; BERTOL, T. M.; OLIVEIRA, P. A. V. de; DOURMAD, J. Y.; COLDEBELLA, A.; KESSLER, A. de M. The impact of feeding growing-finishing pigs with reduced dietary protein levels on performance, carcass traits, meat quality and environmental impacts. **Livestock Science**, v. 198, p. 162-169, 2017. DOI: 10.1016/j.livsci.2017.02.014.

NAGY, N.; HOVEN, K. B.; ROOS, N.; SENOO, H.; KOJIMA, N.; KAARE, R. N.; BLOMHOFF, R. Storage of vitamin A in extrahepatic stellate cells in normal rats. **Journal of Lipid Research**, v. 38, n. 4, p. 645-658, Apr. 1997.

NATIONAL PORK PRODUCERS COUNCIL. **Pork quality standards**. Des Moines: National Pork Producers Council, 1999.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of swine**. 11th rev. ed. Washington, DC: National Academy Press, 2012. 400 p.

OLIVARES, A.; DAZA, A.; REY, A. I.; LOPEZ-BOTE, C. J. Dietary vitamin A concentration alters fatty acid composition in pigs. **Meat Science**, v. 81, n. 2, p. 295-299, Feb. 2009a. DOI: 10.1016/j.meatsci.2008.07.029.

OLIVARES, A.; DAZA, A.; REY, A. I.; LOPEZ-BOTE, C. J. Interactions between genotype, dietary fat saturation and vitamin A concentration on intramuscular fat content and fatty acid composition in pigs. **Meat Science**, v. 82, n. 1, p. 6-12, May 2009b. DOI: 10.1016/j.meatsci.2008.11.006.

OLIVARES, A.; DAZA, A.; REY, A. I.; LOPEZ-BOTE, C. J. Low levels of dietary vitamin A increase intramuscular fat content and polyunsaturated fatty acid proportion in liver from lean pigs. **Livestock Science**, v. 137, p. 31-36, 2011. DOI: 10.1016/j.livsci.2010.09.023.

SIEBERT, B. D.; KRUK, Z. A.; DAVIS, J.; PITCHFORD, W. S.; HARPER, G. S.; BOTTEMA, C. D. K. Effect of low vitamin A status on fat deposition and fatty acid desaturation in beef cattle. **Lipids**, v. 41, p. 365-370, 2006. DOI: 10.1007/s11745-006-5107-5.

SURYAWAN, A.; HU, C. Y. Effect of retinoic acid on differentiation of cultured pig preadipocytes. **Journal of Animal Science**, v. 75, p. 112-117, 1997. DOI: 10.2527/1997.751112x.

TAN, B.; YIN, Y.; LIU, Z.; LI, X.; XU, H.; KONG, X.; HUANG, R.; TANG, W.; SHINZATO, I.; SMITH, S. B.; WU, G. Dietary L-arginine supplementation increases muscle gain and reduces body fat mass in growing-finishing pigs. **Amino Acids**, v. 37, p. 169-175, 2009. DOI: 10.1007/s00726-008-0148-0.

TAN, B.; YIN, Y.; LIU, Z.; TANG, W.; XU, H.; KONG, X.; LI, X.; YAO, K.; GU, W.; SMITH, S. B.; WU, G. Dietary l-arginine supplementation differentially regulates expression of lipid-metabolic genes in porcine adipose tissue and skeletal muscle. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, v. 22, n. 5, p. 441-445, 2011. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2010.03.012.

TEYE, G. A.; SHEARD, P. R.; WHITTINGTON, F. M.; NUTE, G. R.; STEWART, A.; WOOD, J. D. Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 1. Effects on muscle fatty acid composition, carcass, meat and eating quality. *Meat Science*, v. 73, n. 1, p. 157-165, May 2006. DOI: 10.1016/j.meatsci.2005.11.010.

TYAGI, S.; GUPTA, P.; SAINI, A. S.; KAUSHAL, C.; SHARMA, S. The *peroxisome proliferator-activated receptor*: a family of nuclear receptors role in various diseases. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research*, v. 2, n. 4, p. 236-240, 2011. DOI: 10.4103/2231-4040.90879.

WANG, J.; ZHAO, S. M.; SONG, X. L.; PAN, H. B.; LI, W. Z.; ZHANG, Y. Y.; GAO, S. Z.; WEBER, D. W. C. Low protein diet up-regulate intramuscular lipogenic gene expression and down-regulate lipolytic gene expression in growth-fattening pigs. *Livestock Science*, v. 148, p. 119-128, 2012. DOI: 10.1016/j.livsci.2012.05.018.

WITTE, D. P.; ELLIS, M.; MCKEITH, F. K.; WILSON, E. R. Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. *Journal of Animal Science*, v. 78, p. 1272-1276, 2000. DOI: 10.2527/2000.7851272x.

WOOD, J. D.; LAMBE, N. R.; WALLING, G. A.; WHITNEY, H.; JAGGER, S.; FULLARTON, P. J.; BAYNTUN, J.; HALLETT, K.; BÜNGER, L. Effects of low protein diets on pigs with a lean genotype. 1. Carcass composition measured by dissection and muscle fatty acid composition. *Meat Science*, v. 95, n. 1, p. 123-128, Sep. 2013. DOI: 10.1016/j.meatsci.2013.03.001.

WOOD, J. D.; NUTE, G. R.; RICHARDSON, R. I.; WHITTINGTON, F. M.; SOUTHWOOD, O.; PLASTOW, G.; MANSBRIDGE, R.; COSTA, N. da; CHANG, K. C. Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. *Meat Science*, v. 67, n. 4, p. 651-667, Aug. 2004. DOI: 10.1016/j.meatsci.2004.01.007.

ZHAO, S.; WANG, J.; SONG, X.; ZHANG, X.; GE, C.; GAO, S. Impact of dietary protein on lipid metabolism related gene expression in porcine adipose tissue. *Nutrition & Metabolism*, v. 7, p. 6-18, 2010. DOI: 10.1186/1743-7075-7-6.

ZILE, M. H. Vitamin A and embryonic development: an overview. *The Journal of Nutrition*, v. 128, suppl. 2, p. 455S-458S, 1998. DOI: 10.1093/jn/128.2.455S.