

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**RENDIMENTO E QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS DE TRÊS LINHAGENS  
COMERCIAIS**

**Érika Nayara Freire Cavalcanti**  
Zootecnista

2022

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**RENDIMENTO E QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS DE TRÊS LINHAGENS  
COMERCIAIS**

**Discente: Érika Nayara Freire Cavalcanti**

**Orientadora: Profa. Dra. Hirasilva Borba**

**Coorientadora: Dra. Juliana Lolli Malagoli de Mello**

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

C376r Cavalcanti, Érika Nayara Freire  
Rendimento e qualidade da carne de suínos de três linhagens comerciais / Érika Nayara Freire Cavalcanti. -- Jaboticabal, 2022  
91 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientadora: Hirasilva Borba  
Coorientadora: Juliana Lolli Malagoli de Mello

1. Qualidade da carne. 2. Genótipo. 3. Músculo *Longissimus thoracis*. 4. Músculo *Longissimus lumborum*. 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

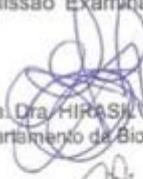
TÍTULO DA TESE: RENDIMENTO E QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS DE TRÊS LINHAGENS COMERCIAIS

AUTORA: ÉRIKA NAYARA FREIRE CAVALCANTI

ORIENTADORA: HIRASILVA BORBA

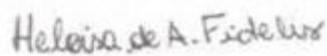
COORIENTADORA: JULIANA LOLLI MALAGOLI DE MELLO

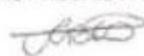
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Zootecnia, pela Comissão Examinadora:

  
Profa. Dra. HIRASILVA BORBA (Participação Virtual)  
Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental / FCAV UNESP Jaboticabal

  
Pós-Doutoranda ALINE GIAMPIETRO GANECO (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia de Alimentos / FZEA USP Pirassununga/SP

  
Pós-doutorando RODRIGO FORTUNATO DE OLIVEIRA (Participação Virtual)  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro / UENF Campos dos Goytacazes/RJ

  
Profa. Dra. HELOISA DE ALMEIDA FIDELIS (Participação Virtual)  
Consultora Autônoma / Ribeirão Preto/SP

  
Pós-doutoranda ANA REBECA CASTRO LIMA (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 30 de novembro de 2022

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

ÉRIKA NAYARA FREIRE CAVALCANTI, nascida no dia 27 de maio de 1992 em Buíque, Pernambuco, Brasil, filha de Eudes José Cavalcanti e Maria Doralice Freire Ramos. Ingressou no curso de Zootecnia em 2011 na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus Serra Talhada, Pernambuco, graduando-se em 2016, sob a orientação da profa. Dra Thaysa Rodrigues Torres. Foi diretora de eventos da Empresa Junior, no período de 2013 a 2015; foi bolsista de extensão de 2014 a 2015; e foi aluna do Programa de Iniciação Científica Voluntária de 2014 a 2015. Mestre pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (2017 - 2018), Campus Jaboticabal, São Paulo, sob a orientação da profa. Dra Hirasilva Borba, sendo bolsista CNPq. Em agosto de 2018 iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus Jaboticabal, São Paulo, sob a orientação da profa. Dra. Hirasilva Borba, sendo bolsista CAPES.

**O Senhor Soberano é minha força! Ele torna meus pés firmes como os da corça, para que eu possa andar em lugares altos.**

**(Habacuque 3:19)**

Dedico a meu Deus, a minha mãe, irmão, irmã em memória, pai em memória, e ao meu esposo pelo amor incondicional, por todo apoio e carinho depositados durante a minha vida, por serem o meu pilar e fonte de todo o meu esforço e dedicação.

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por guiar os meus passos e por derramar sobre a minha vida tanta misericórdia e amor!

Em segundo lugar a minha mãe, irmão, sobrinho, cunhadas, irmã em memória e pai em memória, por me apoiar em todos os momentos da minha vida, e fazer possível à realização dos meus sonhos.

À minha família (Tios, primos...) por fazer parte da minha vida e torcer por minha felicidade e sucesso. Em especial à minha prima e amiga Nattália por todo carinho e dedicação.

À minha orientadora Hrasilva Borba e coorientadora Juliana Lolli Malagoli de Mello, pela dedicação, orientação e amizade. Foi um prazer trabalhar com vocês!

Aos meus amigos e colegas de trabalho do Laboratório de Análise de alimentos de Origem Animal, pelo apoio, companheirismo e amizade. Serão sempre lembrados com carinho! Em especial a Andreia, Ana Veronica, Amanda, Fran, Aline, Dan, Erick, Rodrigo Fortunato (Boi), Heloisa e Mateus por todo o auxílio durante os momentos que precisei e amizade construída.

Aos meus amigos e irmãos na fé Heloisa Fidelis, Bruna Aparecida, Palloma, Marina, Sérgio, Caique, Rodrigo, Daniela e Jak, por todo apoio, companheirismo, amizade e orações. A amizade de todos vocês é um presente de Deus na minha vida!

Em especial, quero destacar o meu agradecimento a Heloisa Fidelis (Helô) por estar comigo do início ao fim de todo o meu doutorado, contribuindo com sugestões, análises, coletas e orações, você fez por mim muito mais do que pode imaginar! É uma honra tê-la como colega de trabalho e amiga!

Ao amor da minha vida Edson Emídio (esposo), por todo o companheirismo, paciência, apoio, amizade, amor e especialmente por fazer parte da minha vida. Te amo!

À Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Jaboticabal, pela minha formação como Doutora.

À Agrocere PIC pelo fornecimento dos animais para o estudo.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida.

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

À todos os professores pela contribuição à minha formação profissional.

E por fim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para essa etapa da minha vida.

AGRADEÇO!

## SUMÁRIO

<b>RESUMO:</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT:</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>2</b>
3.1 Evolução da genética e das linhagens comerciais de suínos no Brasil.....	2
3.1.1 Origem e evolução dos suínos .....	2
3.1.2 Melhoramento genético no Brasil .....	4
3.1.3 Raças e linhagens na produção de suínos .....	6
3.1.4 Estruturas piramidais e conceitos de melhoramento na produção de suínos ....	7
3.2 Influência do sexo no desempenho de suínos.....	9
3.3 Características de carcaça.....	12
3.4 Qualidade da carne suína .....	13
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 2 - Influência da linhagem genética e sexo nas características de carcaça e qualidade da carne suína</b> .....	<b>23</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>25</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>26</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
2.1 Local, características de carcaça e coleta das amostras.....	27
2.2 Análises de qualidade da carne .....	28
2.3 Análise sensorial .....	31
2.4 Análise estatística.....	31
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>32</b>
3.1 Características de carcaça.....	32
3.2 Qualidade da carne .....	35
3.3 Análise sensorial .....	42
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO 3 – Variação intramuscular da qualidade físico-química e sensorial no músculo <i>Longissimus thoracis et lumborum</i> de suínos de três linhagens comerciais</b> .....	<b>50</b>

<b>RESUMO .....</b>	<b>52</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>54</b>
2.1 Coleta das amostras e desenho experimental .....	54
2.2 Análises de qualidade da carne .....	55
2.3 Análise sensorial .....	56
2.4 Análise estatística.....	57
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>58</b>
3.1 Qualidade da carne .....	58
3.1 Análise sensorial .....	66
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>

## RENDIMENTO E QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS DE TRÊS LINHAGENS COMERCIAIS

**RESUMO:** Este estudo avaliou as características de carcaça e os atributos de qualidade da carne suína de três linhagens comerciais: Linhagem A (Pietrain x duroc x large white x landrace), Linhagem B (Linhagem A x linha genética Pietran) e Linhagem C (Linhagem A x linha genética Hampshire), e dois sexos (machos castrados e fêmeas), bem como, avaliar a qualidade físico-química e sensorial dentro do músculo *longissimus thoracis et lumborum*. O Capítulo 1 aborda considerações gerais e revisão de literatura sobre o tema proposto. No Capítulo 2, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência do sexo e linhagem genética nas características de carcaça e qualidade físico-química e sensorial da carne suína. Conclui-se que existem efeitos específicos para o tipo de grupo genético e sexo nas características de carcaça e qualidade físico-química da carne suína, no entanto, a qualidade sensorial da carne não foi influenciada. No Capítulo 3, o objetivo do estudo foi analisar a variação intramuscular na qualidade físico-química e sensorial do músculo *longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de suínos de três linhagens comerciais. Conclui-se que o sexo e região anatômica do músculo, influenciam a variação da qualidade físico-química e sensorial da carne ao longo do músculo LTL. Por outro lado, o genótipo suíno influenciou apenas a variação da qualidade físico-química da carne, e não a sua qualidade sensorial ao longo do músculo LTL.

**Palavras-chave:** análises físico-químicas, análise sensorial, genótipo, lombo suíno

## **YIELD AND QUALITY OF PIG MEAT FROM THREE COMMERCIAL LINEAGES**

**ABSTRACT:** This study aimed to evaluate the carcass traits and meat quality attributes of pigs from three commercial strains (Line A (Pietrain x durac x large white x landrace); Line B (Line A x Pietran genetic line) and Line C (Line The x Hampshire genetic line), and two sexes (castrated males and females), as well as, to evaluate the physical-chemical and sensory quality within the longissimus thoracis et lumborum muscle. Chapter 1 addresses general considerations and literature review on the proposed topic In Chapter 2, the objective of the study was to evaluate the influence of sex and genetic lineage on carcass traits and physical-chemical and sensory quality of pork. It was concluded that there are specific effects for the type of genetic group and sex on traits of carcass and physical-chemical quality of the pork meat, however, the sensory quality of the meat was not influenced. In Chapter 3, the objective of the study was to analyze the intramuscular variation r on the physical-chemical and sensory quality of the longissimus thoracis et lumborum (LTL) muscle from three commercial strains. It is concluded that the sex and anatomical region of the muscle influence the variation in the physicochemical and sensorial quality of the meat along the LTL muscle. On the other hand, the pork genotype only influences the variation in the physicochemical quality of the meat, and not its sensory quality along the LTL muscle.

**Keywords:** genotype, physical-chemical analysis, pork loin, sensory analysis

## LISTA DE ABREVIATURAS

a*	Intensidade de vermelho
b*	Intensidade de amarelo
L*	Luminosidade
CRA	Capacidade de retenção de água
%CM	Porcentagem de carne magra
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
EM	Espessura do músculo
ET	Espessura de toucinho
FC	Força de cisalhamento
GG	Grupo genético
LL	<i>Longissimus lumborum</i>
LTL	<i>Longissimus thoracis et lumborum</i>
LT	<i>Longissimus thoracis</i>
PCF	Peso de carcaça fria
PCQ	Peso de carcaça quente
PPC	Perda de peso por cozimento
SIF	Serviço de Inspeção Federal

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Tabela 1.</b> Valores de peso de carcaça quente (PCQ), peso de carcaça fria (PCF), espessura de músculo (EM), espessura de toucinho (ET), porcentagem de carne magra (CM) e rendimento dos cortes do lombo, pernil, carré e paleta de suínos de diferentes sexos e grupos genéticos.....	33
<b>Tabela 2.</b> pH, luminosidade (L*), intensidade de vermelho (a*), intensidade de amarelo (b*), escore de marmoreio, capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cozimento (PPC), força de cisalhamento (FC) e comprimento de sarcômero (CS) da carne de suínos de diferentes sexos e grupos genéticos.....	36
<b>Tabela 3.</b> Desdobramento da interação entre o sexo e o grupo genético para comprimento de sarcômero.	36
<b>Tabela 4.</b> Valores de proteína, gordura, umidade, matéria mineral (MM), colesterol, colágeno total, colágeno solúvel e colágeno insolúvel da carne de suínos de diferentes sexos e grupos genéticos.....	38
<b>Tabela 5.</b> Desdobramento da interação entre o sexo e o grupo genético para colágeno total, solúvel e insolúvel.	39
<b>Tabela 6.</b> Análise sensorial da carne de suínos de diferentes sexos e grupos genéticos.....	43
<b>Capítulo 3</b>	

<b>Tabela 1.</b> Valores de pH, luminosidade (L*), intensidade de vermelho (a*), intensidade de amarelo (b*), capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cozimento (PPC), força de cisalhamento (FC) e comprimento de sarcômero (CS) da carne de suínos de diferentes sexos, grupos genéticos e regiões do músculo longissimus thoracis et lumborum: região cranial (longissimus thoracis (LT)) e região caudal (longissimus lumborum (LL)).....	59
<b>Tabela 2.</b> Desdobramento da interação entre o sexo e as diferentes regiões do músculo <i>longissimus thoracis et lumborum</i> : região cranial ( <i>longissimus thoracis</i> (LT)) e região caudal ( <i>longissimus lumborum</i> (LL)) para variável L*.....	59
<b>Tabela 3.</b> Desdobramento da interação entre sexo e grupo genético para variável comprimento de sarcômero.....	60
<b>Tabela 4.</b> Desdobramento da interação entre sexo e as diferentes regiões do músculo longissimus thoracis et lumborum: região cranial (longissimus thoracis (LT)) e região caudal (longissimus lumborum (LL)) para variável comprimento de sarcômero.....	60
<b>Tabela 5.</b> Desdobramento da interação entre sexo, grupo genético e as diferentes regiões do músculo longissimus thoracis et lumborum: região cranial (longissimus thoracis (LT)) e região caudal (longissimus lumborum (LL)) para variável comprimento de sarcômero.....	61
<b>Tabela 6.</b> Valores de proteína, gordura e umidade da carne de suínos de diferentes sexos, grupos genéticos e regiões do músculo <i>longissimus thoracis et lumborum</i> : região cranial ( <i>longissimus</i>	

*thoracis* (LT) e região caudal (*longissimus lumborum* (LL))..... 65

**Tabela 7.** Análise sensorial da carne de suínos de diferentes sexos e grupos genéticos da carne de suínos de diferentes sexos, grupos genéticos e regiões do músculo *longissimus thoracis et lumborum*: região cranial (*longissimus thoracis* (LT) e região caudal (*longissimus lumborum* (LL))..... 67

## CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é o quarto maior produtor e exportador mundial de carne suína (ABPA, 2022), patamar alcançado em razão da criação de animais com alto padrão em produtividade e qualidade. O principal foco da suinocultura é a produção de carcaças com elevado rendimento muscular e de boa qualidade sensorial e industrial, provocando com isso, a intensificação da seleção de animais de alto desenvolvimento em massa muscular (Borosky et al., 2010).

Desta forma, pensando em atender o mercado consumidor em termos de qualidade de carne, o setor suinícola tem utilizado linhagens comerciais específicas para atender as exigências estabelecidas em conteúdo de massa magra e gordura subcutânea. No entanto, o aumento do rendimento muscular e diminuição da espessura de toucinho tem resultado em prejuízos à qualidade da carne no que se refere aos seus aspectos tecnológicos e sensoriais, afetando especialmente, o conteúdo de gordura intramuscular (Borosky et al., 2010; Bertol et al., 2010).

Sabe-se que conhecer as características de qualidade da carne suína é de fundamental importância para obtenção de produtos de melhor qualidade, seja na forma *in natura* ou na forma processada, bem como agregar valor ao produto e satisfazer o consumidor nos momentos da compra, do preparo e do consumo (Rosa et al., 2008).

Neste contexto, a qualidade da carne tornou-se umas das prioridades da indústria. Com isso, não apenas o manejo dos animais é alvo de preocupação para atender às exigências do mercado consumidor, como também, fatores inerentes ao suíno, como genética, peso, sexo e idade ao abate (Moura et al., 2015).

As grandes indústrias brasileiras trabalham apenas com linhagens específicas, visando à produção de carne de melhor qualidade, onde as linhagens modernas são responsáveis pelas melhorias observadas nas características tecnológicas da carne e de rendimento de carcaça (Rosa et al., 2008). Desta forma, torna-se de extrema importância a caracterização dos parâmetros de qualidade da carne das linhagens comerciais, visto que são usadas com intensidade na suinocultura e que suas características interferem diretamente no produto final, podendo assim, afetar diretamente o mercado nacional e internacional.

## 2. OBJETIVOS

- Avaliar os efeitos do genótipo e sexo nas características de carcaça e atributos de qualidade da carne de suínos de três linhagens comerciais.
- Analisar a variação intramuscular da qualidade físico-química e sensorial no músculo *Longissimus thoracis et lumborum* de suínos de três linhagens comerciais.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Evolução da genética e das linhagens comerciais de suínos no Brasil

#### 3.1.1 Origem e evolução dos suínos

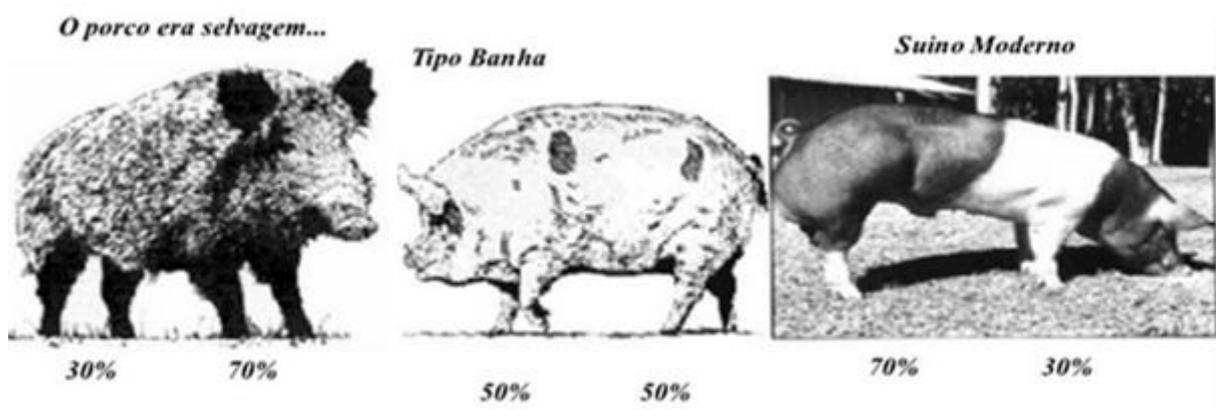
Originado do javali o suíno doméstico (*Sus scrofa*) é um mamífero que têm sua origem datada entre 5,3 e 3,5 milhões de anos, que aconteceu durante as flutuações climáticas do início do Plioceno, no sudeste da Ásia (Filipinas, Indonésia). Milhares de anos depois, o suíno tornou-se entre os grandes mamíferos do planeta, um dos mais numerosos. Foi no Oriente Médio e leste do Mediterrâneo que encontraram os primeiros registros arqueológicos (8000-5000 a.C) correspondente a esses indivíduos, no entanto, a origem da sua domesticação ainda é incerta. Aparentemente, o início de sua criação aconteceu por volta de 8000 a.C. no sopé das Montanhas Taurus (Roppa, 2014).

A domesticação iniciou com o surgimento das primeiras comunidades fixas da humanidade, os porcos selvagens foram domesticados pelos habitantes das antigas aldeias, assim, pouco tempo depois das comunidades estabelecerem residência fixa, a criação de suínos tornou-se sua atividade principal, esses animais chegaram no continente americano em 1493, através de Cristovão Colombo (Roppa, 2014). Ao longo do tempo os suínos sofreram diversas transformações morfológicas e fisiológicas, devido as diferentes condições em que viveram e a seleção e melhoramento genético.

O ancestral ainda selvagem possuía membros anteriores bem desenvolvidos e pouca massa muscular na traseira. Aproximadamente 30% de massa muscular nos membros posteriores e 70% nos membros anteriores (Kruger, 2016),

possibilitando ao animal poder de defesa, uma vez que vivia na floresta e se alimentava de frutas, pequenos animais e pastos nativos. Com a domesticação, a conformação do suíno teve mudanças, passou a viver em chiqueiros fechados, fazendo menos esforços físicos e comendo mais, assim, surgiu o suíno tipo banha com 50% de massa muscular no anterior e 50% no posterior, passando a ser considerado o animal ideal para o mercado da época por fornecer grande quantidade de banha e carne (Silva, 2007).

Com o passar do tempo, já no século XX, a produção de suínos tipo banha perdeu espaço devido a chegada e difusão dos óleos vegetais, com a diminuição do uso da banha na alimentação, a produção de suínos tipo carne passou a ser privilegiada, neste cenário, surgiu um novo perfil de consumo para carne suína (Roppa, 2014). A partir daí, a porcentagem média de gordura na carcaça dos suínos saiu de 54%, valor apresentado na década de 1980, para 22% (ABPA, 2022), evolução proporcionada pelo uso de melhoramento genético ao longo dos anos. Desta forma, o suíno moderno passou a apresentar 70% de massa muscular nos membros posteriores e 30% nos membros anteriores (Figura 1).



Fonte: adaptado de \* Oliveira, FP.

\* Oliveira, FP (Slideplayer: Melhoramento genético / professor: Fernando Paes de Oliveira). Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/4012745/> Acesso em 20 de maio de 2022. Comunicação Pessoal.

### 3.1.2 Melhoramento genético no Brasil

Trazidos de Portugal, os suínos foram introduzidos no território brasileiro por Martin Afonso de Souza, no ano de 1532. As raças introduzidas foram a Alentejana, Transtagana, Galega, Bizarra, Beiroa e Macau. Essas raças deram origem ao conjunto de raças nacionais, sendo as principais o Piau, Tatu, Canastra, Nilo, Caruncho, Pereira e Pirapitinga (Fávero e Figueiredo, 2009).

Muitos anos depois, começaram os processos de melhoramento genético das raças nativas, por meio da introdução de raças estrangeiras. O início desses processos no país coincidiu com as pesquisas desenvolvidas na Europa, tendo a Dinamarca como o primeiro país a investir em melhoramento genético de suínos, por volta do ano de 1910. No Brasil, a primeira iniciativa conhecida foi em 1916, com a fundação da fazenda de criação de Barueri (SP), que por meio de seleção e cruzamentos, tinha um objetivo de melhorar o exemplar nacional (Moraes e Capanema, 2012).

Com as mudanças no setor suinícola, em 1958 foi criada a Associação Brasileira de Criadores de Suínos (ABCS), que deu início ao controle genealógico dos suínos e à importação de raças estrangeiras com o intuito de melhorar os índices produtivos e o rendimento de massa magra na carcaça dos animais (Fávero e Figueiredo, 2009). As raças estrangeiras implantadas na suinocultura brasileira foram Duroc Jersey, Wessex Saddleback, Hampshire, Berkshire, Poland China, Large Black, Montana e Tamworth. No início da década de 60, em um segundo momento de expressiva importação, foram introduzidas as raças brancas Landrace e Large White, além de alguns exemplares de Pietrain. Os genes dessas raças difundiram-se rapidamente entre as granjas suinícolas do país por meio dos programas de teste, avaliação, seleção e cruzamento para o melhoramento genético de raças puras e compostas (Fávero e Figueiredo, 2009). O grande volume de material genético selecionado e de boa qualidade introduzidos no Brasil ocasionou a substituição das raças nacionais, predominantemente do tipo banha, e resultou no início da intensificação de criações de suínos de raças puras do tipo carne no país (Moraes e Capanema, 2012).

Todavia, o grande avanço no melhoramento genético de suínos no Brasil iniciou-se em 1970, com a implantação do Teste de Progênie (TP), que analisava o

potencial genético dos pais, principalmente dos machos, por meio de avaliações de desempenho e da carcaça das progênes (Campos et al., 2014). Além do Teste de Progênie, a década de 70 foi marcada pela integração entre produtor e indústria, que contribuiu significativamente para difusão do material genético melhorado, pela implantação de fêmeas híbridas (F1) em substituição as fêmeas puras nos criatórios, aumentando a prolificidade, devido ao vigor híbrido, e pela criação da primeira Central de Inseminação Artificial (CIA) aumentando a disseminação do sêmen dos machos geneticamente melhorados (Fávero e Figueiredo, 2009). O foco do melhoramento genético era a produção de animais com melhores índices de prolificidade, com maior rendimento muscular, menor concentração de gordura na carcaça e melhor conversão alimentar.

No ano de 1976 foi implementado o Teste de Performance em Estações Centrais (ETRS) que avaliava e comparava o material genético de animais de inúmeras granjas, destinando para inseminação artificial os machos de maior potencial genético para reposição nos criatórios. Em meados de 1979, surgiu o Teste de Performance na Granja (TG) que possibilitou minimizar o efeito da interação genética x meio ambiente, devido a seleção dos animais nas condições ambientais em que iriam se reproduzir (Fávero e Figueiredo, 2009). Esses testes vieram com o objetivo de estruturar a produção de suínos, estabelecendo condições para implantação dos princípios do melhoramento genético para os criadores de raças puras.

Com a realização dos testes de granja o desempenho dos animais obteve uma considerável melhora, principalmente na diminuição da espessura de toucinho, ocasionando o avanço no rendimento muscular dos animais observado na última década (Fávero e Figueiredo, 2009). A conversão alimentar e a taxa de crescimento dos animais também apresentaram melhorias. Em 1970, os suínos eram abatidos com 100 kg de peso vivo aos 180 dias de idade, com conversão alimentar de 3,5 e rendimento de carne abaixo de 48% (Campos, et al., 2014).

Em 1964, foi criado pela Associação Brasileira de Criadores de Suínos o Método Brasileiro de Classificação de Carcaças (MBCC), que deu origem ao conceito do suíno tipo carne, que serviu para orientar os produtores a investir na produção de um animal de melhor qualidade. Alguns anos depois, em 1982, contando com o apoio do Ministério da Agricultura e do Abastecimento a empresa

“AURORA” introduziu um sistema de tipificação de carcaças, que foi definitivamente estabelecido em 1996 (Fávero e Figueiredo, 2009).

Os investimentos de empresas especializadas no melhoramento genético de suínos no Brasil proporcionaram uma evolução na cadeia produtiva do país, tornando-a mais competitiva. Desta forma, os suínos produzidos no Brasil competem em qualidade e produtividade com os demais países líderes mundiais em produção de suínos.

### **3.1.3 Raças e linhagens na produção de suínos**

Na produção de suínos a competitividade do mercado depende de avanço frequente na produtividade, na gestão das empresas, no bem-estar animal e condições ambientais empregadas ao manejo (Guimarães et al., 2017), bem como, no melhoramento genético dos animais. O conceito “FENÓTIPO = GENÓTIPO + AMBIENTE”, apresenta a importância das raças e linhagens na produção de suínos. O genótipo corresponde às raças e linhagens suínas, animais mestiços ou cruzados, suínos de linhas sintéticas e de linhas consanguíneas, que por sua vez, são indivíduos que apresentam genes que sustentam o seu funcionamento e os definem quanto ao seu aspecto exterior, como a cor da pelagem, assim como, quanto à sua capacidade produtiva e funcional, como número de leitões por leitegada e rendimento de carne, cujo ambiente (condições que são criados) afeta suas expressões (Irgang, 2014).

No melhoramento genético, o objetivo final é produzir uma população de filhos que apresentem média superior a dos pais, adquirindo melhorias ao longo do tempo nas características desejadas, assim, o melhoramento genético é aplicado na suinocultura para aumentar a frequência de alelos favoráveis na população de seleção (Anrain, 2014). Raças suínas são caracterizadas como grupos de indivíduos que apresentam características específicas de exterior, geralmente, são animais homocigotos para alelos mais comuns que caracterizam a cor da pelagem, esses animais são criados separadamente de outros genótipos, passam por seleção e são agrupados em registros genealógicos. No Brasil, entre as raças puras produzidas comercialmente e industrialmente, estão a raça Duroc, Landrace, Large White e Pietrain (Irgang, 2014).

As linhagens ou linhas genéticas são grupos ou famílias de suínos originados de uma raça que são selecionados para expressarem de forma intensa determinadas características. Em algumas raças é comum à formação de linhagens ou linhas maternas, que representam machos e fêmeas selecionados para melhora da prolificidade e habilidade materna, assim, esses indivíduos representam grupos de suínos refinados, por meio de seleção, para expressarem um determinado desempenho. As linhagens também podem surgir de acasalamento entre animais aparentados, resultando em progênes consanguíneas ou endogâmicas, formadas com o objetivo de intensificar características excepcionais apresentadas por um ou mais reprodutores, assim, seus genes são fixados na população (Irgang, 2014).

Linhagens sintéticas ou compostas é o resultado de um único cruzamento ou de cruzamento sequencial entre suínos de duas ou mais raças, originando um novo genótipo que apresenta genes de cada uma das populações de origem, assim que formada a linhagem sintética, os animais devem ser selecionados para melhoria genética, com intuito de formar suínos geneticamente excepcionais nas características desejadas, com o tempo, esse novo grupo de suínos pode constituir uma nova raça (Irgang, 2014). É conhecido que os ganhos adquiridos pelo melhoramento genético são caracterizados como estáveis e permanentes, uma vez que são transmitidos às próximas gerações e independem do ambiente (Anrain, 2014). Os objetivos da formação de linhas sintéticas, geralmente, enfatizam nas linhas maternas a alta prolificidade e nas linhas paternas o rendimento de carne (Irgang, 2014).

#### **3.1.4 Estruturas piramidais e conceitos de melhoramento na produção de suínos**

Em melhoramento de suínos utilizam-se duas ferramentas: a seleção dos melhores animais e o conceder vantagens reprodutivas aos selecionados, assim, conceitos de genética e estatística são usados no melhoramento para aprimorar os genótipos suínos e estabelecer os melhores cruzamentos (Anrain, 2014). A estrutura formada pelos diferentes estratos de produção de um programa de melhoramento genético denomina-se pirâmide (Costa, 2014).

A pirâmide de produção suína é constituída pelos estratos núcleo, estratos multiplicadores e estratos comerciais. Os estratos núcleo realizam intensa seleção para as características desejadas pelo mercado, possuem os rebanhos puros ou sintéticos, caracterizados como os animais de maior valor genético dentro da população como um todo. Nesse estrato, são realizados os protocolos de avaliação genética e controles de acasalamento, visando preservar a variabilidade genética e identificar os melhores indivíduos da população em termos genéticos (Costa, 2014).

É atribuído um maior ganho genético quando se seleciona os melhores animais. Esse ganho genético corresponde à diferença de desempenho que a geração dos filhos apresenta em relação à população média dos pais, também pode ser caracterizado como Resposta a Seleção (RS), ou seja, representa o ganho efetivo proveniente da seleção. Para o cálculo de ganho genético pode ser usado o diferencial de seleção (DS), que corresponde à diferença entre a média da população selecionada e a média da população (Anrain, 2014).

Os melhores animais são destinados para a autorreposição dos rebanhos em questão, já os animais intermediários em valores genéticos seguem para reposição do estrato de multiplicação ou diretamente comercializados com o rebanho comercial, sendo os piores animais destinados ao abate (Costa, 2014). Os estratos núcleo organizam-se em rebanhos de linha macho e de linha fêmea, devido as particularidades genéticas de cada sexo, que contribuem de forma distinta para o produto final a ser abatido.

As linhas macho são constituídas basicamente pelas raças Duroc, Large White, Pietrain, Hampshire e Landrace Belga, sendo também usadas linhas sintéticas produzidas a partir dessas mesmas raças, cujo critério de seleção leva em conta as características de ganho diário em carne magra, espessura de toucinho, consumo alimentar e ganho médio diário de peso, com as quais é possível determinar a conversão alimentar (Fávero e Figueiredo, 2009).

As linhas fêmea são formadas pelas raças Landrace e Large White. Também são trabalhados outros genótipos, porém em menor frequência, como os das raças Duroc e Meishan, este último de origem Chinesa. A seleção é principalmente, fundamentada com base nas características reprodutivas como número de leitões nascidos vivos e desmamados e peso da leitegada ao desmame (Fávero e Figueiredo, 2009).

Para a seleção de mais de uma característica, uma alternativa é o uso de índices de seleção. Neste sistema é utilizado o valor genético dos animais para cada característica, sendo multiplicado pela porcentagem (importância) que cada característica possui na composição do índice. O valor genético do suíno é agrupado em um único número, e o peso dado a cada característica é definido pela importância econômica ou de acordo com a finalidade da seleção da linhagem. O uso do índice de seleção possibilita a seleção de um animal muito bom em uma característica de elevado peso econômico em relação ao um indivíduo muito bom em uma característica de menor importância (Anrain, 2014).

As granjas multiplicadoras recebem os animais de raça pura ou de linhagens sintéticas das granjas núcleo e providenciam o cruzamento entre eles, com isso, produzem os híbridos que serão destinados para as granjas comerciais. Nesse ponto da pirâmide, o objetivo é realizar cruzamentos entre as raças puras ou sintéticas, resultando em complementaridade de características entre as raças e maximizar a heterose (Costa, 2014). O termo heterose ou vigor híbrido é usado para denominar a superioridade média dos filhos em comparação com a média dos pais, independente da causa (Anrain, 2014). As granjas comerciais recebem os suínos das granjas multiplicadoras e de núcleo, dependendo do sistema de cruzamento adotado, em seguida proporcionam o cruzamento entre eles e assim formam os suínos para abate (Costa, 2014).

### **3.2 Influência do sexo no desempenho de suínos**

O sexo do animal possui um importante papel para determinação do valor comercial da carcaça (Lebreta e Čandek-Potokar, 2022) e qualidade da carne suína. É conhecido que os hormônios sexuais influenciam o metabolismo proteico (Monteiro et al., 2018), como também, o potencial de crescimento do animal, seu consumo e eficiência alimentar, bem como, a qualidade da carcaça, principalmente nas fases de crescimento e terminação (Fagundes et al., 2009). Isso ocorre devido à capacidade dos hormônios sexuais esteroides, como a testosterona e estrogênio, de alterar a expressão gênica de proteínas específicas, influenciando desta forma a síntese proteica (Monteiro et al., 2018).

A testosterona atua de forma significativa no aumento da massa muscular, esse hormônio aumenta a síntese proteica e reduz a degradação da proteína muscular, em níveis normais, a testosterona encontra-se em concentrações de 10-15 vezes maiores em machos em relação às fêmeas, assim, machos inteiros apresentam maior deposição proteica, seguidos de fêmeas e machos castrados (Monteiro et al., 2018). Por possuírem maior eficiência alimentar e retenção de proteína, machos inteiros também apresentam um menor custo de produção em relação a fêmeas e machos castrados (Bee et al., 2015). Neste contexto, entende-se que a produção de carne é significativamente afetada pelo sexo do animal.

O hormônio estrogênio possui menores efeitos na deposição proteica que a testosterona, resultando em um possível pequeno aumento na proteína corporal total, o que evidencia as diferenças de desempenhos entre machos inteiros, fêmeas e machos castrados (Monteiro et al., 2018). Fêmeas suínas apresentam maior rendimento de tecido magro e menor espessura de gordura que machos castrados com mesma idade de abate (Bridi et al., 2008). Portanto, o sexo do animal influencia a variação das respostas de desenvolvimento corporal e diferenciação dos tecidos, já que é um dos fatores que determina a demanda de nutrientes pelo animal e sua eficiência de deposição proteica (Lanferdini et al., 2012).

Na suinocultura os benefícios relacionados às ações hormonais são evidentes, no entanto, a criação de suínos machos inteiros apresenta grandes desafios, sendo eles: a presença de comportamentos sexuais e odor de macho inteiro na carne (Lebreta e Čandek-Potokar, 2022). Esse odor de macho inteiro ou sabor desagradável afeta de forma negativa a aceitação da carne pelos consumidores, e é provocado pela combinação de dois compostos principais: androsterona e escatol (Costa et al., 2020). Duas alternativas em potencial para produção de suínos sem a presença do odor indesejável é a castração cirúrgica e imunocastração (Prunier et al., 2005; Batorek et al., 2012). A castração cirúrgica de leitões machos tornou-se um assunto mundial em questões de bem-estar animal (Lebreta e Čandek-Potokar, 2022), com isso, a imunocastração passou a ser uma alternativa à castração cirúrgica. Essa técnica possui duplo benefício: prevenção do odor indesejável de macho inteiro e valor comercial da carcaça que é intermediário entre o macho castrado cirurgicamente e o macho inteiro (Batorek et al., 2012).

A castração cirúrgica realizada após o nascimento impede que o animal produza hormônios testiculares nas primeiras semanas de vida (Delbem, 2018). Essa produção hormonal é fundamental para determinar a quantidade de células de Leydig e interfere na taxa de crescimento do indivíduo, assim, interfere na composição do ganho de peso do animal posteriormente (Booth, 1975). A testosterona possui importante função anabólica, com isso, sua ausência afeta a deposição proteica, causando em suínos castrados a presença de carcaças com maior conteúdo de gordura (Huber et al., 2013; Čandek-Potokar et al., 2017). Os suínos imunocastrados antes da segunda dose apresentam mesmo perfil hormonal que machos não castrados (Huber et al., 2013). Desta forma, a imunocastração proporciona até a segunda dose de imunização um aumento da lucratividade na criação de suínos machos no período de crescimento até a terminação (Patience et al., 2015).

Após a segunda dose da imunização a secreção dos hormônios reduz gradativamente, isso ocorre porque para ação efetiva da vacina acontecer existe um intervalo de 7 a 10 dias, neste período a ingestão de alimento aumenta, mas a retenção de nitrogênio continua semelhante aos animais não castrados (Delbem, 2018). Também ocorre nesse período aumento gradativo da conversão alimentar e da deposição de gordura, assemelhando-se aos animais castrados cirurgicamente (Huber et al., 2013). No entanto, apesar das alterações metabólicas presentes após a segunda dose da imunização, os animais imunocastrados apresentam melhor conversão alimentar (Vicari Júnior et al., 2016) e maior ganho de peso diário que os animais castrados cirurgicamente (Delbem, 2018). Por outro lado, apesar das significativas vantagens da imunocastração, a sua implementação tem sido limitada devido a preocupações com a aceitação do consumidor (Aluwé et al., 2020), e principalmente, à incerta viabilidade econômica da transição e aos desafios colocados à cadeia de suprimentos (European Union, 2019).

Por fim, uma vez que o sexo do animal influencia o metabolismo muscular proteico, deve-se levar em consideração a categoria animal (macho inteiro, castrado cirurgicamente, imunocastrado ou fêmeas) para elaboração de um plano nutricional na produção de suínos, para assim, atender as características de carcaça e qualidade da carne exigidas pelo mercado. Pois, sabe-se que o aproveitamento da

proteína na dieta está relacionado com a capacidade do próprio indivíduo em converter os aminoácidos em proteína muscular (Monteiro et al., 2018).

### **3.3 Características de carcaça**

Sistemas de tipificação são adotados em todo o mundo com o objetivo de agrupar as carcaças de acordo com as suas características de rendimento e qualidade, isso se deve em razão da grande importância econômica que as características de carcaça possuem para toda a cadeia produtiva de carne suína.

A tipificação é um processo de avaliação e classificação de carcaças que objetiva, posteriormente à sua classificação, bonificar a produção de carcaças com melhor rendimento e qualidade de carne, proporcionando com isso, benefícios aos produtores, indústria e consumidores. Essa tipificação acontece para mensuração da quantidade de carne (tecido muscular esquelético) e gordura (tecido adiposo subcutâneo e intramuscular) contida nas carcaças em qualquer peso, sendo utilizada para selecionar a matéria prima recebida (Peloso et al., 2014).

Anatomicamente, a carcaça é definida como o corpo do suíno abatido, sangrado, eviscerado, com ausência da gordura abdominal e perirrenal, sem a presença do rabo e as patas, e no contexto brasileiro, sem a cabeça. Junto a esta definição, podemos acrescentar a terminologia carcaça quente, que corresponde a carcaça pesada na linha de abate, cerca de 30 minutos após a sangria, e carcaça fria, carcaça com a mesma constituição anatômica, porém, pesada após resfriamento, apresentando temperatura interna do pernil entre 2° e 7°C (Peloso et al., 2014).

Dentre as características de classificação de carcaças de suínos podemos citar área de olho de lombo, espessura de toucinho, rendimento de carne magra e comprimento e profundidade de carcaça. Tais características são fundamentais para a indústria da carne, já que possibilitam melhorar e agregar valor ao produto final, bem como, atender às exigências do mercado consumidor (Cantarelli et al., 2009).

A medida de área de olho de lombo possibilita a estimativa de rendimento de cortes cárneos de grande valor comercial e, é relacionada ao total de músculos na carcaça (Santos et al., 2018). A espessura de gordura subcutânea possui relação direta com o total de gordura na carcaça e indireta com a quantidade de músculo,

sendo assim, quanto maior a quantidade de gordura, menor será o rendimento muscular e/ou de cortes magros da carcaça (Forrest et al., 1975). A gordura subcutânea (espessura de toucinho) é um ótimo parâmetro de qualidade, que determina o acabamento externo da carcaça. Essa gordura protege a carcaça durante o seu resfriamento nas câmaras, prevenindo o escurecimento e enrijecimento dos cortes superficiais, (Santos et al., 2018).

O comprimento da carcaça é medido da borda cranial da sínfise pubiana até a borda cranial da primeira costela (Carvalho et al., 2003). Seguindo com a divisão do peso da carcaça pelo seu comprimento, podemos chegar à relação carne/osso. Através dessa relação entre o peso e o comprimento da carcaça é possível obter o valor do índice de compacidade (Santos et al., 2018), que representa uma medida indireta de sua conformação.

O rendimento de cortes é representado pelo peso vivo do animal em relação ao peso do corte avaliado (Gomide et al., 2006). Os principais fatores que influenciam o rendimento de carcaça são a quantidade de gordura subcutânea (grau de acabamento), dieta, raça e sexo do animal (Luchiari Filho, 2000).

Inúmeros sistemas de avaliação de carcaça suína são implementados pela indústria, com o objetivo de melhorar a produtividade, valorizar a carcaça e possibilitar o uso de preços diferenciados no mercado de acordo com as diferenças de qualidade (Gomide et al., 2006). Portanto, o conhecimento sobre os parâmetros de qualidade de carcaça é de extrema importância tanto para a produção eficiente de carne suína, como para sua viabilidade comercial.

### **3.4 Qualidade da carne suína**

Os programas de melhoramento genético suíno sempre focaram na busca por melhores índices de produtividade e rendimento muscular (Moura et al., 2015), o que proporcionou avanço na produção de suínos devido ao aumento da deposição de massa muscular e diminuição dos índices de gordura nas carcaças. No entanto, em alguns casos, toda essa evolução na produção suína resultou em produtos de baixa qualidade tecnológica e sensorial (Bertol et al., 2010).

Este prejuízo à qualidade da carne é reflexo da falta de prioridade no melhoramento das características referentes à qualidade, em comparação com as

características de carcaça e desempenho. Deste modo, as exigências do mercado têm imposto ao setor suinícola uma expressiva preocupação com a qualidade da carne produzida (Moura et al., 2015). É desafiador para indústria da carne a oferta de produtos padronizados, com aparência, textura e sabor agradáveis e estáveis durante o armazenamento. Sendo assim, o conhecimento das propriedades funcionais das matérias-primas, bem como, dos fatores que as influenciam são necessários para garantir sucesso a toda cadeia produtiva (Alves et al., 2016), bem como, garantir a qualidade do produto ofertado ao mercado consumidor.

O conceito de qualidade é bastante complexo, uma vez que depende de fatores intrínsecos e extrínsecos, como também, dos diferentes seguimentos do setor suinícola (produtor, indústria e consumidor). No entanto, são os parâmetros físicos associados aos químicos e sensoriais, que determinam a qualidade final do produto (Alves et al., 2016).

A análise sensorial baseia-se na preferência e satisfação do consumidor e, dependente das respostas psicológicas e sensoriais específicas de cada indivíduo. As características de maior influência para o consumidor são a aparência, aroma durante o cozimento, maciez, suculência e sabor, e dentre estas destaca-se a aparência que é um fator decisivo para compra e aceitabilidade do produto, sendo seus principais aspectos a gordura visível (marmoreio), suculência aparente (exsudação) e a cor (Ramos e Gomide, 2017).

A cor é um dos principais atributos de qualidade da carne, constitui o primeiro impacto sobre o consumidor e, provoca a vontade de adquirir ou não o produto. A cor também é relacionada com a qualidade da matéria-prima, sendo o primeiro atributo analisado durante a seleção dos cortes de carnes (Ramos e Gomide, 2017). A coloração na superfície da carne pode ser influenciada por alguns fatores, tais como absorção seletiva da luz pela mioglobina, quantidade de líquido presente na superfície e pelas fibras musculares e proteínas (Olivo et al., 2001). A coloração da carne pode ser determinada por diversas formas, sendo mais usual a medição por colorímetro, segundo o sistema CIELAB, com os seus parâmetros de cor: luminosidade ( $L^*$ ), e  $a^*$  e  $b^*$  que representam a saturação (croma ou pureza) e a tonalidade (cor ou hue).

Outro fator importante é a suculência da carne cozida, associada com a maciez. Estes parâmetros representam a sensação de umidade durante os primeiros

movimentos de mastigação (resultado da liberação de líquido pela carne) e também a permanência da sensação de suculência, em razão da gordura, especialmente a de marmoreio que provoca a salivação (Ramos e Gomides, 2017).

Apesar da suculência ser relacionada com outras características de qualidade da carne, esta é um atributo estritamente sensorial, também podendo ser influenciada por fatores fisiológicos e psicológicos do consumidor. O único método confiável para sua determinação é a análise sensorial, no entanto, a avaliação da capacidade de retenção de água e da quantidade de gordura de marmoreio geralmente são usadas como estimativas de suculência da carne crua, apesar disto, o principal fator que influencia a suculência da carne é o cozimento e a sua temperatura final, quanto maior a temperatura maior será a perda por cozimento e menor a sensação de suculência (Ramos e Gomides, 2017).

O principal objetivo da melhoria da qualidade da carne é agregar valor ao produto, de modo a satisfazer o consumidor de carne suína in natura e/ou processada. A gordura intramuscular responsável pelo marmoreio, é caracterizada como um atributo de grande importância para comercialização de carne in natura, correlacionando-se com os parâmetros de maciez e suculência (Campos, et al., 2014). Níveis de gordura intramuscular inferiores a 2% afetam negativamente os parâmetros sensoriais da carne, tais como suculência e sabor (Fernandes et al., 1999a). Já o aumento desta gordura para níveis até 3,5% melhora a aceitabilidade, o sabor e a textura da carne (Fernandes et al., 1999b), garantido assim, elevada qualidade sensorial.

A gordura possui uma relação positiva com o parâmetro de maciez. Essa relação pode ser explicada pela ação “lubrificante” dos lipídios no decorrer do processo de mastigação, promovendo a suculência da carne e conferindo sensação de maciez. A gordura também possui importantes constituintes de sabor, que influenciam de forma positiva a palatabilidade da carne. Em uma análise sensorial, carnes que apresentam bom grau de gordura de marmoreio, conseguem as melhores notas para o parâmetro de maciez, devido á grande aceitabilidade da carne, mediante o seu sabor e suculência (Ramos e Gomide, 2017).

Entre todos os atributos que influenciam a qualidade sensorial da carne durante a degustação, a maciez têm sido o mais importante para o consumidor em relação aos critérios de satisfação e aceitabilidade do produto (Ramos e Gomide,

2017). A maciez faz parte dos parâmetros de textura, que é considerada um atributo relacionado à satisfação final do consumidor. A maciez da carne pode ser avaliada por meio de análise sensorial, ou por meio de texturômetro.

Com base nos parâmetros de cor, textura e exsudação a qualidade da carne suína é classificada de acordo com três condições, sendo elas DFD (carne escura, firme e seca), PSE (carne pálida, flácida e exsudativa) e RFN (carne vermelho-rosada, textura firme e livre de exsudação). As carnes consideradas “ideais” para os consumidores e produtores são aquelas classificadas como RFN, as quais apresentam coloração vermelho-rosada, textura firme e são livres de exsudação de água na superfície, variações destas características promovem a carne de aparência indesejada para o consumidor, e/ou, inviabilidade para processamento (Ramos e Gomide, 2017).

Entre os fatores de qualidade da carne, os parâmetros físicos (fatores intrínsecos da carne) influenciam de forma direta ou indireta, a qualidade final do produto, possuindo desta forma, grande importância para a indústria processadora de carne. Entre as características físicas podemos citar o potencial hidrogeniônico (pH), a capacidade de retenção de água e a perda de peso por cocção.

O valor de pH tem muita influência sobre a qualidade da carne e dos produtos cárneos, uma vez que interfere significativamente na coloração, vida de prateleira, sabor, estabilidade microbiológica, rendimento e textura (Feiner, 2006). No momento do abate inicia-se a queda do pH fisiológico, devido à produção de ácido láctico pela glicólise anaeróbica (Lawrie, 1998). Sendo assim, o processo de *rigor mortis*, bem como, o pH final da carne é determinado pela quantidade de glicogênio presente no músculo do animal durante e após o abate. Em suínos o pH geralmente é medido aos 45 minutos (pH<sub>45min</sub> ou inicial) e 24 horas após o abate (pH<sub>24h</sub>), no lombo (músculo *Longissimus lumborum*) e/ou no músculo *Semimembranosus* do pernil.

A capacidade de retenção de água (CRA) pode ser compreendida como a capacidade da carne em reter seu líquido durante aplicação de força e/ou de tratamentos externos (Silva Sobrinho et al., 2005). Segundo Alves et al. (2016) esse parâmetro está relacionando ao aspecto da carne antes e durante o cozimento e a palatabilidade do produto. A CRA é determinada por meio da força da gravidade (perdas no gotejamento), por tratamentos térmicos, pressão ou centrifugação. Carnes que apresentam maior capacidade de reter água possuem menor perda do

seu valor nutricional por meio do líquido exsudado, maior suculência e, conseqüentemente, maior maciez.

A perda de peso por cozimento (PPC) é um parâmetro de qualidade diretamente relacionado ao rendimento da carne após seu aquecimento. De acordo com Albuquerque et al. (2014) a PPC é caracterizada como a perda de rendimento da carne durante o processo de preparo para consumo. Entre as transformações sofridas pela carne durante o processo de aquecimento estão as alterações de peso e aparência, onde a primeira é calculada pela diferença de peso da carne antes e após aquecimento (Lawrie, 2005).

A composição química da carne é definida pelos seus elementos: água, proteína, gordura e minerais. Sendo que, condições ambientais, espécie, raça, sexo, idade e nutrição do animal influenciam nesta composição (Baracho et al., 2006). A água é um elemento importante para carne, apresenta valor acima de 70% do total da massa muscular, tem efeito na suculência, cor e sabor da carne. É crucial nos processos vitais e tem efeito sobre a estrutura, aspecto e sabor dos alimentos. Os maiores responsáveis pela retenção de água na carne são as proteínas.

As proteínas possuem grande influência sobre as características tecnológicas da matéria-prima cárnea, possuindo inúmeras funções, tais como determinação do rendimento, qualidade, estrutura e atributos sensoriais do produto (Sams, 2001). O colágeno é a principal proteína estrutural do tecido conjuntivo, seguido da elastina. O tecido conjuntivo representa o principal tipo de fibra extracelular, sendo caracterizada como a proteína mais abundante no organismo animal, obtendo valores entre 20 e 25% do total de proteínas. É composto por três cadeias polipeptídicas, cada uma constituída por aproximadamente 1000 aminoácidos. O conteúdo de colágeno da carne é determinado por meio da quantidade detectada de hidroxiprolina, aminoácido exclusivo do colágeno (Stryer, 1992).

Os lipídios são elementos que apresentam altos valores energéticos, fornecem vitaminas lipossolúveis e ácidos graxos essenciais ao organismo (Serrano, 2002). O conteúdo de gordura no músculo é influenciado pela idade, linhagem do animal e composição da dieta (Valsta et al., 2005).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. Relatório Anual 2022. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/05/Relatorio-Anual-ABPA-2022-1.pdf> Acesso em 10 de maio de 2022.

Albuquerque LF, Batista ASM, Araújo Filho JT (2014) Fatores que influenciam na qualidade da carne de cordeiros Santa Inês. *Essentia - Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA*, 16:43-60.

Aluwé M, Heyrman E, Almeida JM, Babol J, Battacone G, Cítek J, Font-i-Furnols M, Getya A, Karolyi D, Kostyra E, Kress K, Kušec G, Mörlein D, Semenova A, Škrlep M, Stoyanchev T, Tomašević I, Tudoreanu L, Van Son M, Zakowska-Biemans S, Zamaratskaia G, Van den Broeke A, Egea M (2020) Exploratory Survey on European Consumer and Stakeholder Attitudes towards Alternatives for Surgical Castration of Piglets. *Animals*, 10:1758.

Alves MGM, Albuquerque, LF, Batista ASM (2016) Qualidade da carne de frangos de corte. *Essentia - Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA*, 17:64-86.

Anrain M (2014) Conceitos de melhoramento genético aplicados á produção de suínos. **Produção de suínos: teoria e prática**. Brasília: Coordenação editorial Associação Brasileira de Criadores de Suínos; Coordenação Técnica da Integrall Soluções em Produção Animal, p. 63-71.

Baracho MS, Camargo GA, Lima AMC, Mentem JF, Moura DJ, Moreira J, Naas IA (2006) Variables impacting poultry meat quality from production to preslaughter: a review. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 8:201-12.

Batorek N, Škrlep M, Prunier A, Louveau I, Noblet J, Bonneau M, Čandek-Potokar M (2012) Effect of feed restriction on hormones, performance, carcass traits, and meat quality in immunocastrated pigs. *Journal Animal Science*, 90:4593-4603. <https://doi.org/10.2527/jas2012-5330>

Bee G, Chevillon P, Bonneau M (2015) Entire male pig production in Europe. *Animal Production Science*, 55:1347-1359.

Bertol TM, De Campos RML, Coldebella A, Dos Santos Filho JI, De Figueiredo EAP, Terra NN, Agnes IBL (2010) Qualidade da carne e desempenho de genótipos de suínos alimentados com dois níveis de aminoácidos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 45:621-629.

Booth WD (1975) Changes with age in the occurrence of C19 steroids in the testis and submaxillary gland of the boar. *Journal of Reproduction and Fertility*, 42:459-472.

Borosky JC, Rocha MA, Oba A, Pinheiro JW, Bridi AM, Silva CA (2010) Características das fibras musculares do L. Dorsi e qualidade da carne de suínos de quatro linhagens. *Archivos de zootecnia*, 59:277-286.

Bridi AM, Oliveira AR, Fonseca NA, Coutinho LL, Hoshi EH, Borosky JC, Silva CA (2008) Efeito da ractopamina e do gênero no desempenho e na carcaça de suínos de diferentes genótipos halotano. **Semina: Ciências Agrárias**, 29:713-722.

Campos PF, Gomide APC, Scottá BA, Barroca CC, Soares MH (2014) Impactos da seleção genética na qualidade da carne suína. **PUBVET**, Londrina, V. 8, N. 2, Ed. 251, Art. 1659.

Čandek-Potokar M, Škrlep M, Zamaratskaia G (2017) Immunocastration as Alternative to Surgical Castration in Pigs. In: CARREIRA, R. P. **Theriogenology**, 6:109-126.

Cantarelli VS, Fialho ET, De Almeida EC, Zangeronimo MG, Amaral NO, Lima JAF (2009) Características da carcaça e viabilidade econômica do uso de cloridrato de ractopamina para suínos em terminação com alimentação à vontade ou restrita. **Ciência Rural**, Santa Maria, 39:844-851.

Carvalho PA, Sanchez LMB, Velho JP, Viégas J, Jauris GC, Rodrigues MB (2003) Características Quantitativas, Composição Física Tecidual e Regional da Carcaça de Bezerros Machos de Origem Leiteira ao Nascimento, 50 e 110 Dias de Idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa (MG), 32:476-1483.

Costa ARC (2014) Estruturas piramidais de melhoramento genético. **Produção de suínos: teoria e prática**. Brasília: Coordenação editorial Associação Brasileira de Criadores de Suínos; Coordenação Técnica da Integrall Soluções em Produção Animal, p. 60-63.

Costa OAD., Tavernari FC, Lopes LS, Costa FAD, Feddern V, Lima GJMM (2020) Performance, carcass and meat quality of pigs submitted to immunocastration and different feeding programs. **Research in Veterinary Science**, 131:137-145. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.04.015>

Delbem NLC (2018) **Validação de protocolo de imunocastração em suínos: desempenho animal e qualidade de carne**. 76 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Câmpus de Botucatu.

European Union (2019) Establishing best practices on the production, the processing and the marketing of meat from uncastrated pigs or pigs vaccinated against boar taint (immunocastrated) – Final report Retrieved from: <https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/2d71af1e-90fe-11eb-b85c-01aa75ed71a1> Accessed September 1, 2022.

Fagundes ACA, Silva RG, Gomes JDF, Souza LWO, Fukushima RS (2009) Influence of environmental temperature, dietary energy level and sex on performance and carcass characteristics of pigs. **Animal Science**, 46: 32-39.

Fávero JA, Figueiredo EAP (2009) Evolução do melhoramento genético de suínos no Brasil. **Revista Ceres**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 56:420-427.

Feiner G (2006) Raw fermented salami Meat products handbook. **Meat products Hand book Practical Science and Technologic**, 314-375.

Fernandes X, Monin G, Talmant A, Mourot J, Lebret B (1999a) Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat – 1. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of m. longissimus lumborum. **Meat Science**, 53:59-65.

Fernandes X, Monin G, Talmant A, Mourot J, Lebret B (1999b) Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat – 2. Consumer acceptability of m. longissimus lumborum. **Meat Science**, 53:67-72.

Forrest JCA, Aberle EDA, Hedrick HB (1975) **Principles of meat science**. SAN FRANCISCO: W.H. FREEMAN PUBLISHERS, p.417.

Gomide LAM, Ramos EM, Fontes PR (2006) **Tecnologia de Abate e Tipificação de Carcaças**. Editora UFV. Viçosa, 1ed. 366p.

Guimarães D, Amaral G, Maia G, Lemos M, Ito M, Custodio S (2017) **Suínocultura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES**. Agroindústria | BNDES Setorial 45:85-136.

Huber L, Squires EJ, De Lange CFM (2013) Dynamics of nitrogen retention in entire male pigs immunized against gonadotropin-releasing hormone. **Journal of Animal Science**, 91:4817-4825.

Irgang R (2014) Raças e linhagens na produção de suínos. **Produção de suínos: teoria e prática**. Brasília: Coordenação editorial Associação Brasileira de Criadores de Suínos; Coordenação Técnica da Integrall Soluções em Produção Animal, p. 51-59.

Kruger P (2016) **Perda de peso por desidratação no resfriamento de carcaças suínas**. 36 f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Lanferdini E, Lovatto PA, Melchior R, Klein CC, Broch J, Garcia GG (2012) Características de carcaça e da carne de suínos machos castrados e imunocastrados alimentados com diferentes níveis nutricionais. **Ciência Rural**, 42:2071-2077.

Lawrie RA (1998) **Lawrie's Meat Science**, 6.ed., Lancaster-Basel: Technomic, p 336.

Lawrie RA (2005) **Ciência da carne**. Trad. JANE MARIA RUBENSAM. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed p384.

Lebret, B., & Čandek-Potokar, M. (2022). Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part I. Carcass and fresh meat. **Animal**, 16:100402. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100402>

Luchiari Filho A (2000) **Pecuária da carne bovina**. São Paulo 1ed. 134 p.

Monteiro ANTR, Huepa LMD, Castilha LD, Pozza PC (2018) Síntese proteica em suínos: como fêmeas, machos não castrados e castrados respondem a este processo?. **PUBVET**, 12:1-10.

Moraes VG, Capanema L (2012) A genética de frangos e suínos – a importância estratégica de seu desenvolvimento para o Brasil. **BNDES Setorial** 35:119 – 154.

Moura JWF, De Medeiros FM, Alves MGM, Batista A SM (2015) Fatores Influenciadores na Qualidade da Carne Suína. **Revista Científica de Produção Animal**, 17:18-29.

Olivo R, Guarnieri PD, Shimokomaki M (2001) Fatores que influenciam na cor de filés de peito de frango. **Revista Nacional da Carne**, 25:44-49.

Patience JF, Rossoni-Serão MC, Gutiérrez NA (2015) A review of feed efficiency in swine: biology and application. **Journal Animal Science Biotechnol**, 6:33-41. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0031-2>

Peloso JV, Pasian IMDL, Guidoni AL (2014) Sistemas de avaliação da qualidade da carcaça suína. **Produção de suínos: teoria e prática**. Brasília: Coordenação editorial Associação Brasileira de Criadores de Suínos; Coordenação Técnica da Integrall Soluções em Produção Animal, p. 758-767.

Prunier A, Mounier AM, Hay M (2005) Effects of castration, tooth resection, or tail docking on plasma metabolites and stress hormones in young pigs. **Journal Animal Science**, 83:216-222. <https://doi.org/10.2527/2005.831216x>

Ramos EM, Gomide LAM (2017) **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Editora UFV, Viçosa , MG, 2:1-471.

Roppa L (2014) Panorama da produção de suínos no Brasil e no mundo. In.: Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de suínos: teoria e prática**. Brasília: Coordenação editorial Associação Brasileira de Criadores de Suínos; Coordenação Técnica da Integrall Soluções em Produção Animal, p. 23-30.

Rosa AF, Gomes JDF, Martelli MR, Sobral PJA, Lima CG (2008) Qualidade da carne de suínos de três linhagens genéticas comerciais em diferentes pesos de abate. **Ciência Rural**, Santa Maria, 38:1394-1401.

Sams AR (2001) Introduction to Poultry Meat Processing. **Poultry Meat Processing**. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 1-3.

Santos ACP, Silva BCD, Oliveira VS, Valença RL (2018) Métodos de avaliação de carcaça e de carne dos animais através de predições in vivo e post mortem – revisão de literatura. **Revista Científica de Medicina Veterinária**, 30:1679-7353.

Serrano, P.P. (2002). **Desempenho, parâmetros sanguíneos, perfil graxo e conteúdo de colesterol na carcaça de frangos de corte alimentados com diferentes fontes de ácidos graxos**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 64 p.

Silva JR (2007) Processo decisório de compra de carne suína, observando a segurança alimentar e a qualidade do produto na cidade de Porto Alegre. 154 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Silva Sobrinho SAG, Purchas RW, Kadim IT, Yamamoto SM (2005) Características de qualidade da carne de ovinos de diferentes genótipos e idades ao abate. In: **Revista Brasileira de Zootecnia**, 34:1070-1078.

Stryer L (1992) **Proteínas do tecido conjuntivo**. In: Bioquímica, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro 3:213-229.

Valsta LM, Tapanainen H, Mannisto S (2005) Meat fats in nutrition. **Meat Science**, 70:525–530.

Vicari Junior D, Da Silva MC, Nesi CN (2016) Melhoria de índices zootécnicos em suínos com imunocastração. **Unoesc & Ciência-ACET**, 7: 89-94.

## **CAPÍTULO 2 - Influência da linhagem genética e sexo nas características de carcaça e qualidade da carne suína**

*Este capítulo foi redigido segundo as normas editoriais do periódico  
“Meat Science”*

- *Processamento e Produtos*

## QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS DE DIFERENTES LINHAGENS E SEXOS

### **Influência da linhagem genética e sexo nas características de carcaça e qualidade da carne suína\*\***

Érika Nayara Freire Cavalcanti<sup>a1</sup>, Aline Giampietro-Ganeco<sup>b</sup>, Juliana L. M. Mello<sup>a</sup>, Heloisa A. Fidelis<sup>a</sup>, Daniel Rodrigues Dutra<sup>a</sup>, Ana Veronica Lino Dias<sup>a</sup>, Rodrigo F. Oliveira<sup>c</sup>, Mateus R. Pereira<sup>a</sup>, Erick A. Villegas-Cayllahua<sup>a</sup>, Rodrigo A. Souza<sup>b</sup>, Pedro A. Souza<sup>a</sup> and Hirasilva Borba<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental; Universidade Estadual Paulista–UNESP, Jaboticabal, Brasil, 14884-900; <sup>b</sup>Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo–USP, Pirassununga, Brasil, 13635-900; <sup>c</sup>Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias - CCTA, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, 28013-602

\*\*Declarações de interesse: nenhuma.

---

<sup>1</sup> Autor correspondente: [erikanayara@gmail.com](mailto:erikanayara@gmail.com)

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do sexo e linhagem genética nas características de carcaça e qualidade físico-química e sensorial da carne suína. Foram utilizadas 30 carcaças suínas por linhagem e sexo, totalizando 180 carcaças de animais provenientes de suínos machos castrados e fêmeas, pertencentes a três linhagens comerciais: Linhagem A (Pietrain x duroc x large white x landrace); Linhagem B (Linhagem A x linha genética Pietran) e Linhagem C (Linhagem A x linha genética Hampshire), com idade de 168 dias e peso médio de 125 kg, abatidos em abatedouro comercial. Foi realizada a tipificação da carcaça por pistola eletrônica e contabilizados os pesos de carcaça quente e fria. Foram analisados pH, cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cozimento (PPC), força de cisalhamento, escore de marmoreio, comprimento de sarcômero, umidade, composição química (proteína, gordura, umidade e matéria mineral), colágeno total, solúvel e insolúvel e análise sensorial da carne. Houve interação entre linhagem genética e sexo para comprimento de sarcômero e colágeno total, solúvel e insolúvel. Os machos da linhagem C apresentaram maiores ( $P < 0,05$ ) valores de comprimento de sarcômero em relação às fêmeas da mesma linhagem e os machos da linhagem B. Os machos da linhagem B apresentaram os maiores ( $P < 0,05$ ) valores de colágeno total e insolúvel em comparação com as fêmeas da mesma linhagem e dos machos e fêmeas das linhagens A e C. Os machos da linhagem C tiveram maiores ( $P < 0,05$ ) valores de colágeno total e insolúvel que as fêmeas da mesma linhagem e que os machos e as fêmeas da linhagem A. Os machos da linhagem A apresentaram os maiores ( $P < 0,05$ ) valores de colágeno solúvel em relação às fêmeas da mesma linhagem, aos machos da linhagem B e as fêmeas e os machos da linhagem C. Os machos castrados apresentaram maiores ( $P < 0,05$ ) valores de espessura de toucinho, escore de marmoreio, conteúdo de proteína e menores ( $P < 0,05$ ) valores de porcentagem de carne magra, força de cisalhamento, e matéria mineral em relação as fêmeas. A linhagem C obteve os maiores ( $P < 0,05$ ) valores de carcaça quente e fria e o menor ( $P < 0,05$ ) valor de rendimento de pernil em relação a linhagem B. A linhagem C também obteve maior ( $P < 0,05$ ) valor de marmoreio que a linhagem A e maior ( $P < 0,05$ ) força de cisalhamento que as linhagens A e B. A linhagem A apresentou maior ( $P < 0,05$ ) valor de matéria mineral em relação as linhagens B e C. Não foi observado diferença estatística entre os grupos genéticos, o sexo e interação entre eles para as variáveis pH, cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), CRA, PPC, gordura, umidade, espessura de músculo e para os rendimentos dos cortes do lombo, carré e paleta. Conclui-se que apesar das diferenças existentes nas características de carcaça e qualidade físico-química da carne entre os sexos e grupos genéticos, a qualidade sensorial da carne não foi influenciada.

**Palavras-chave:** análise sensorial, genótipo, *Longissimus thoracis*

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações na produção de carne suína é como melhorar as características de carcaça e qualidade da carne, e assim, atender as exigências do mercado consumidor. Sabe-se que vários fatores influenciam a qualidade da carcaça e da carne (Oliván et al., 2018). Entre eles, o genótipo é um dos principais fatores que determinam o valor e a composição da carcaça do suíno (Lebret & Čandek-Potokar, 2022).

O setor suinícola tem usado linhagens comerciais específicas para se beneficiar dos efeitos da heterose em importantes características econômicas, principalmente na produção de carcaças com elevado rendimento muscular. É bem definido que diferentes raças e gêneros possuem características predeterminadas em certas áreas de composição da carcaça e qualidade da carne (Channon et al., 2004; Miao et al., 2009).

Os suínos comerciais possuem alto desenvolvimento em massa muscular, o que leva a reflexão sobre os possíveis efeitos negativos a qualidade da carne (Kowalski et al., 2021). É conhecido que medidas de musculatura e qualidade da carne em programas de melhoramento genético possuem correlação negativa (Lonergan, et al., 2001; Edwards et al., 2003). A seleção de genótipo para elevado rendimento muscular, alta taxa de crescimento e maior conformação, implicou em prejuízos a qualidade da carne devido à diminuição da gordura intramuscular, aumento das proporções do tipo de fibra muscular glicolítica e ocorrência de carnes pálidas, macias e exsudativas (PSE) (O'Neill, et al., 2003; Hugenschmidt et al., 2010).

O sexo do animal também desempenha importante papel nas características de carcaça (Lebret & Čandek-Potokar, 2022), bem como da qualidade da carne. É conhecido que machos inteiros são mais eficientes em deposição proteica que as fêmeas suínas seguidas dos machos castrados (Pauly et al., 2012; Trefan et al., 2013). O sexo também tem efeito na qualidade sensorial (Lebret & Čandek-Potokar, 2022), e tecnológica da carne suína.

O conceito de qualidade da carne é bastante complexo, e envolve parâmetros físico-químicos e sensoriais que determinam a qualidade final do produto. No entanto, em pesquisas, a qualidade da carne é na sua grande maioria avaliada usando apenas análises instrumentais, sem investigação dos efeitos na sua qualidade sensorial (Lonergan et al., 2001; Correa et al., 2006; Frederick, et al., 2006).

Sabe-se que a aceitação do produto e intenção de compra pelos consumidores são influenciadas pelos atributos de qualidade (Pegolo et al., 2020). Sendo assim, o principal

objetivo da melhoria da qualidade da carne é agregar valor ao produto, de modo a satisfazer o consumidor de carne suína *in natura* e/ou processada.

Neste contexto, questiona-se, até que ponto o sexo e as linhagens comerciais de suínos desenvolvidas para o maior rendimento muscular, alta taxa de crescimento e maior conformação influenciam a qualidade da carne e sua aceitação pelos consumidores e intenção de compra. Assim sendo, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência do sexo e linhagem nas características de carcaça e qualidade físico-químico e sensorial da carne de suínos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Local, características de carcaça e coleta das amostras**

Este estudo foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Alimentos de Origem Animal (LaOra) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus Jaboticabal, São Paulo, Brasil (21°08'S, 48°11'W, 583 m altitude).

Foram utilizadas 180 carcaças suínas (60 machos castrados cirurgicamente e 60 fêmeas) provenientes de suínos criados sob mesma condição de manejo e dieta, com 168 dias de idade e peso médio de 125 kg, pertencentes a três linhagens genéticas comerciais: Linhagem A (linha genética pura sintética compostas por Pietrain, Duroc, Large White e Landrace, com características de máxima rentabilidade, eficiência de crescimento e valor de carcaça) Linhagem B (Híbrido linhagem A x Pietrain, com características de combinação entre conformação de carcaça, eficiência de crescimento e robustez) e Linhagem C (Híbrido linhagem A x Hampshire, com características de combinação entre máxima rentabilidade, eficiência de crescimento e robustez). Os animais foram abatidos em abatedouro comercial (Estado de Minas Gerais, Brasil) inspecionado pelo Serviço de Inspeção Federal.

Para avaliação das características de carcaça foi realizada tipificação da carcaça por meio de pistola eletrônica (HENNESSY Grading Systems GP4/BP4). Na linha de abate, foi inserida em cada meia carcaça esquerda entre a última vértebra torácica e primeira lombar a ponta de penetração da pistola. O sensor óptico acoplado junto à ponta de penetração mensurou os dados de espessura de toucinho (ET, mm), espessura do músculo (EM, mm) e porcentagem de carne magra (%CM). Também na linha de abate, foram registrados os pesos de carcaça quente (PCQ, kg).

Após 24 horas de resfriamento das carcaças, as mesmas foram pesadas (peso de carcaça fria (PCF, kg)), seccionadas, desossadas e divididas em cortes secundários (comerciais), seguindo as especificações da suinocultura brasileira (Silveira et al., 2014). Foram realizados os rendimentos dos seguintes cortes: lombo, pernil, carré e paleta, os rendimentos foram calculados pela porcentagem do respectivo corte em relação ao peso de carcaça fria.

Para a realização das análises físico-químicas e sensorial foram coletadas amostras de cada meia carcaça direita do músculo *longissimus thoracis*, separadas por sexo e linhagens dos animais. Foram 30 repetições por tratamento, totalizando 180 amostras. Após coleta, as amostras foram embaladas a vácuo, congelados à -20 °C e transportadas até o laboratório sob refrigeração.

## 2.2 Análises de qualidade da carne

O pH foi determinado em duplicata na amostra do *longissimus thoracis*, utilizando um pHmetro digital (Testo 205, Testo Inc., Sparta, NJ, EUA), munido de eletrodo de penetração, por meio da inserção direta no músculo.

A coloração foi determinada através do colorímetro Minolta Chrome Meter modelo CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japão), que utiliza o sistema CIELAB (L, a\* e b\*). Foram avaliados parâmetros como luminosidade (L\*), intensidade de vermelho (a\*) e intensidade de amarelo (b\*) em um bife de 2,5 cm de espessura retirado do músculo *longissimus thoracis*. A avaliação foi realizada em três pontos diferentes de cada parte da amostra para obter uma média dos valores.

O escore de marmoreio foi avaliado em bifos de 2,5 cm de espessura retirado do músculo *longissimus thoracis*, usando os padrões de marmorização do Conselho Nacional de Produtores de Carne Suína (com escala de 1 (desprovido) a 10 (abundante) (National Pork Producers Council, 1999).

A capacidade de retenção de água (CRA) foi determinada por meio da aplicação de pressão sobre o tecido muscular. Utilizando 2 g de amostra do músculo *Longissimus thoracis*, colocada entre dois papéis filtro e placas de acrílico e em seguida submetida a uma pressão por meio de um peso de 10 kg durante 5 minutos. Posteriormente a amostra foi pesada para determinação da água retida em porcentagem, utilizando o seguinte cálculo:  $(\text{Peso final} \times 100) / \text{Peso inicial}$  (Hamm, 1961).

A perda de peso por cozimento da carne foi realizada de acordo com a metodologia descrita no Manual de Cozimento e Avaliação Sensorial da Carne (AMSA, 2015). Foi utilizado um grill (George Foreman GBZ80) para o cozimento da amostra até atingir 71°C no seu centro geométrico. A temperatura foi verificada com o auxílio de um termopar (FE-MUX, Flyever Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda., São Carlos-SP, Brasil), que fornece a temperatura de cada bife em tempo real. As amostras foram pesadas antes e após o cozimento

A força de cisalhamento foi analisada segundo o método descrito por Wheeler et al. (2005). Foram cortados cilindros de 1,27 cm de diâmetro, os quais foram submetidos ao corte perpendicularmente à orientação das fibras musculares pelo dispositivo “Warner-Bratzler” acoplado a um texturômetro (Texture Analyser TA-XT2i, Stable Micro Systems, Godalming, UK).

O comprimento de sarcômero foi determinado utilizando microscopia de contraste de fases. Foi utilizado 0.5 g de amostra crua homogeneizada em Turrax (MA 102, Marconi, Equipamento de laboratório Ltd) com 30mL de solução mista KCl (Cloreto de potássio) 008 mol/L e KI (Iodeto de potássio) 0.08 mol/L (50:50), em velocidade superior a 15000 rpm, por 30 segundos para romper as células e facilitar a remoção das miofibrilas para suspensão. Foi depositada uma gota do homogenato em lâmina para microscópio e coberta por lamínula. Posteriormente foi realizada a leitura em microscópio de contraste de fase (Novel BM2100) em ampliação de 1000x (objetiva 100x, ocular 10x).

As concentrações de colágeno total, solúvel e insolúvel foram quantificadas pela determinação do aminoácido hidroxiprolina segundo metodologia proposta por Cavalcanti et al. (2021). Foram pesados 5 g de carne crua congelada em tubos falcon de 50 mL e adicionados 20 mL de água destilada. Posteriormente os tubos foram submetidos a banho-maria (80°C) por duas horas. Em seguida as amostras foram homogeneizadas em Ultra-turrax (MA 102, Marconi, Equipamento de laboratório Ltd) a 22.000 rpm durante 1 minuto e centrifugadas (HITACHI CR22N, Made in Japão) a 4000 rpm por 15 minutos (centrífuga em temperatura ambiente, 24°C). As amostras foram transferidas para tubos autoclaváveis, nessa fase teve a separação do sedimento (fração sólida) e do filtrado (fração líquida). Foram adicionados 30 mL de HCl (Ácido clorídrico) 6N ao filtrado e 50 mL de HCl 6N ao sedimento. As amostras foram hidrolisadas em autoclave (Phoenix AV-75Plus, Araraquara/SP, Brasil) durante 4 horas (120 °C, 1 atm), no dia seguinte, foi ajustado para 6,0 o pH de todas as amostras com uso de NaOH (Hidróxido de sódio) 2N. Posteriormente, as

amostras foram filtradas em balões volumétricos (sedimento em balões de 250 mL e filtrado em balões de 100 mL) e os balões foram preenchidos com água destilada. Depois foram coletados 10 mL de todas as amostras e adicionados em outros balões volumétricos (amostras de sedimento em balões de 100 mL e de filtrado em balões de 50 mL) e completados os balões com água destilada. Em seguida foram pipetadas, em duplicata, alíquotas de 2 mL de cada amostra diluída para tubos de ensaio e adicionado 1 mL de reagente de oxidação (Chloramina-T 1.41%) e 1 mL de reagente de cor (10 g de p-dimethylaminobenzaldehydo em 35 mL de ácido perclórico 60% e 65 mL de isopropanol). Os tubos com as amostras foram mantidos em banho-maria durante 15 minutos a 60°C. Foram feitas leituras em espectrofotômetro (Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japão) com comprimento de onda ajustado para 560 nm. Os resultados para concentração de colágeno solúvel foram obtidos através das amostras de filtrado e os resultados para concentração de colágeno insolúvel foram através das amostras de sedimento. A curva padrão foi analisada com o uso de uma solução com concentração conhecida de hidroxiprolina, a qual foi estimada em 7,14 vezes a concentração de hidroxiprolina. Os valores de colágeno total, insolúvel e solúvel foram calculados através das seguintes equações:

$$\% \text{ Colágeno no insolúvel} = (\text{absorbância} \times F^* \times 250 \times 100 \times 7,14^{**} \times 10^{-6} \times 100) / (10 \times 2 \times \text{peso da amostra de carne (g)})$$

$$\% \text{ Colágeno no solúvel} = (\text{absorbância} \times F^* \times 100 \times 50 \times 7,14^{**} \times 10^{-6} \times 100) / (10 \times 2 \times \text{peso da amostra de carne (g)})$$

$$\% \text{ Colágeno total} = \% \text{ solúvel} + \% \text{ insolúvel}$$

Onde

\*F assume o valor de 8.33, referente à média dos valores de absorbância equivalentes a 1mg de hidroxiprolina obtidos da curva padrão construída seguindo o mesmo procedimento realizado com as amostras.

\*\*7.14 fator de conversão de hidroxiprolina em colágeno, levando em consideração que o conteúdo desse aminoácido no colágeno é de 14%.

Na composição química foi avaliada a umidade (método nº 950.46), proteína (método nº 977.14) e matéria mineral (método nº 920.153) conforme procedimentos preconizados pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005) e Gordura pela metodologia descrita por Bligh e Dyer, (1959).

### **2.3 Análise sensorial**

A análise foi realizada com 114 provadores não treinados que foram submetidos ao teste de aceitação. Cada avaliador manifestou sua opinião para as amostras considerando os atributos: cor, sabor, odor, textura e aceitação global. Para o teste de aceitação foi utilizada uma escala hedônica de nove pontos, com isso os provadores atribuíram às amostras as seguintes notas: 1 - desgostei muitíssimo, 2 - desgostei muito, 3 - desgostei regularmente, 4 - desgostei ligeiramente, 5 – indiferente, 6 - gostei ligeiramente, 7 - gostei regularmente, 8 - gostei muito e 9 - gostei muitíssimo. As amostras foram preparadas utilizando um grill (George Foreman GBZ80), onde bifes de aproximadamente 2,5 cm foram cozidos até atingirem 71°C no seu centro geométrico (AMSA, 2015), posteriormente, cada bife foi cortado em seis pedaços. Em cada sessão do painel sensorial foram avaliadas três amostras de carne suína (1 sexo/3 linhagens), servidas aleatoriamente e codificadas com números de três dígitos, os provadores limpavam a boca com um biscoito e água, antes de degustarem cada amostra. O teste de aceitação foi realizado após análise de conformidade dos parâmetros microbiológicos estabelecidos pela legislação brasileira de coliformes totais e termotolerantes a 45°C/g (Todas as amostras apresentaram  $< 3,0 \times 10^0$  e  $< 3,0 \times 10^0$ , respectivamente); *Salmonella spp* ausente em 25g (Todas as amostras foram ausentes de *salmonella spp*); *Staphylococcus coagulase* positiva/g (Fêmeas da linhagem B –  $1,0 \times 10^3$ , demais amostras -  $< 1,0 \times 10^2$ ); bactérias 88 mesófilas/g (Todas as amostras -  $< 1,0 \times 10^2$ ) e bactérias psicotróficas/g (Machos da linhagem A –  $2,9 \times 10^4$ ; fêmeas da linhagem A –  $1,0 \times 10^5$ ; machos da linhagem C -  $3,0 \times 10^2$ , demais amostras -  $< 1,0 \times 10^2$ ) (Brasil, 2003).

### **2.4 Análise estatística**

Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo fatorial 3x2 composto por três grupos genéticos (Linhagens A, B e C) e dois sexos (macho castrado cirurgicamente e fêmea), com 30 repetições por tratamento, totalizando 180 amostras. Os

dados foram analisados pelo Procedimento Mixed do SAS 9.3, considerando efeito fixo sexo, grupo genético e interação entre sexo e grupo genético. As médias foram ajustadas pelo Tukey a 5% de significância.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Características de carcaça

Houve diferença significativa entre os sexos para espessura de toucinho, porcentagem de carne magra e rendimento para corte de pernil (Tabela 1). Os machos castrados cirurgicamente apresentaram maiores valores de espessura de toucinho e menores valores de porcentagem de carne magra e rendimento de pernil (14,05mm, 58,65% e 31,88%, respectivamente) quando comparados às fêmeas (13,38mm, 59,08% e 32,29%, respectivamente).

É conhecido que o sexo do animal desempenha importante papel nas características de carcaça (Lebret & Čandek-Potokar, 2022a), e é um dos principais fatores determinantes para aumentar a proporção de carne magra (Lawrie, 2006). Animais de diferentes sexos possuem diferentes curvas de crescimento e composição corporal (Xia et al., 2022), assim, machos castrados crescem e atingem maturidade fisiológica a uma taxa mais rápida do que as fêmeas suínas (Lee et al., 2013). Nesses animais, a ausência de hormônios testiculares, como a testosterona que possui importante função anabólica, diminui a síntese proteica, resultando em carcaças com maior conteúdo de gordura (Čandek-Potokar et al., 2017). Essas características resultam em menor rendimento de cortes nas carcaças desses machos quando comparados a carcaças de fêmeas (Lee et al., 2013; Boler et al., 2014).

Já as fêmeas suínas, apresentam maior eficiência alimentar (Latorre et al., 2013), e deposição proteica que machos castrados (Pauly et al., 2012; Trefan et al., 2013), o que pode explicar os resultados encontrados na presente pesquisa. Estudos anteriores também relataram maior rendimento de pernil em fêmeas suínas em relação a machos castrados cirurgicamente (Morales et al. 2011; Zomeño et al., 2022). Esse corte é a principal matéria-prima para produção de presunto, importante produto processado da carne suína de significativo valor econômico (Lebret & Čandek-Potokar, 2022b). Assim, é de grande importância levar em consideração as características de cada sexo para decidir o melhor processo ao qual o presunto deve ser submetido (Zomeño et al., 2022).

**Tabela 1.** Valores de peso de carcaça quente (PCQ), peso de carcaça fria (PCF), espessura de músculo (EM), espessura de toucinho (ET), porcentagem de carne magra (CM) e rendimento dos cortes do lombo, pernil, carré e paleta de suínos de diferentes sexos e grupos genéticos.

Variáveis	Sexo		Grupo genético (GG)			EPM*	P value		
	Macho	Fêmea	Linhagem A	Linhagem B	Linhagem C		Sexo	GG	Sexo*GG
<b>PCQ (kg)</b>	88.64	87.29	88.60ab	85.25b	90.04a	1.1407	0.2981	<b>0.0089</b>	0.4090
<b>PCF (kg)</b>	85.99	85.22	86.05ab	82.67b	88.05a	1.1082	0.5366	<b>0.0022</b>	0.2277
<b>EM (mm)</b>	73.01	73.33	73.39	72.40	73.70	0.6663	0.6746	0.3440	0.1112
<b>ET (mm)</b>	14.05a	13.38b	13.55	13.61	13.90	0.1597	<b>0.0031</b>	0.2287	0.6397
<b>CM (%)</b>	58.65b	59.08a	59.01	58.84	58.75	0.1461	<b>0.0397</b>	0.5840	0.2609
<b>Lombo (%)</b>	8.29	8.17	8.24	8.28	8.17	0.1152	0.3405	0.7678	0.5643
<b>Pernil (%)</b>	31.88b	32,29a	32.12ab	32.50a	31.64b	0.1709	<b>0.0368</b>	<b>0.0021</b>	0.2504
<b>Carré (%)</b>	17.76	17,53	17.34	17.57	17.62	0.1365	0.1440	0.6616	0.5515
<b>Paleta (%)</b>	21.99	21,88	21.78	21.97	22.07	0.1227	0.4279	0.2287	0.6420

Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\*EPM = Erro padrão da média

Não houve interação e diferença estatística entre os grupos genéticos e sexo para as variáveis de espessura de músculo e para os rendimentos dos cortes do lombo, carré e paleta. Por outro lado, houve diferença estatística entre os grupos genéticos para o peso de carcaça quente, peso de carcaça fria e rendimento do pernil. A linhagem C obteve os maiores valores de carcaça quente e fria e o menor valor de rendimento de pernil (90,04kg, 88,05kg e 31,64%, respectivamente) em comparação com a linhagem A (88,60kg, 86,05kg e 32,50%, respectivamente) e a linhagem B (85,25 kg, 82,67 kg e 32,50 %, respectivamente). No entanto, a linhagem A não apresentou diferenças significativas para as características de carcaça entre as demais linhagens. A linhagem A compõe o cruzamento das linhagens B (linhagem A x Pietrain) e C (linhagem A x Hampshire), o que possivelmente, pode explicar a semelhança estatística encontrada nesse caso.

Neste contexto, ao comparar características de carcaças entre suínos comerciais, seus resultados são dependentes das raças cruzadas que são comparadas (Ruusunen et al., 2012). Em cada raça e cruzamento existe uma grande heterogeneidade em suas características (Ruusunen, 1994). Assim, as diferenças encontradas entre as linhagens B e C podem ser

reflexo da variação na estrutura corporal das raças introduzidas em cada linhagem. A linhagem B é composta pela linhagem A x Pietrain e a linhagem C é composta pela linhagem A x Hampshire. A composição racial, além do peso da carcaça e sexo, tem efeito significativo sobre o peso e proporção da maioria dos cortes cárneos (Xie et al., 2022). Animais da raça Pietrain são mais magros e possuem maiores rendimentos gerais de corte em comparação com raça de suínos que se assemelha a Hampshire (raça Duroc), assim como, maior rendimento de pernil em linhas de Pietrain em comparação com outras raças já foi documentado em estudos anteriores (Lowell et al., 2019). Indicando que possivelmente um maior rendimento de pernil seja uma característica marcante da raça Pietrain, o que provavelmente explica o maior rendimento de pernil encontrado nos animais da linhagem B em relação aos animais da linhagem C, apesar de apresentarem menores pesos de carcaça quente e fria.

Ao compreender que diferentes raças apresentam características pré-determinadas em certas áreas da composição da carcaça e parâmetros de qualidade da carne (Miao et al., 2009), e que em toda a cadeia de negócios da suinocultura os cortes da carne são fundamentais na promoção da valorização econômica do setor (Xie et al., 2022). Torna-se de fundamental importância, levar em consideração o efeito das linhagens no peso e proporção dos diferentes cortes da carne suína, principalmente nos cortes que são processados em produtos cárneos de alto valor econômico, como o presunto.

Por outro lado, entende-se que neste estudo, foi encontrado pouco efeito da linhagem sobre as características de carcaça. A raça Hampshire é geralmente utilizada como uma linha genética semelhante à raça Duroc (Ruusunen et al., 2012), que apresenta elevado valor de espessura de toucinho e conteúdo de gordura na carcaça (Edwards et al., 1992; Alonso et al., 2009). Desta forma, esperava-se que animais da linhagem C apresentassem maiores espessuras de toucinho e menor porcentagem de carne magra em comparação com a linhagem B, que possui a raça Pietrain em sua composição, uma vez que os animais da raça Pietrain são usados para satisfazer as demandas de um mercado com foco em carne magra (Schwab et al., 2006). Uma possível explicação para isso, é que as linhagens B e C compartilham uma linhagem comum, assim, existe a possibilidade de que o uso de suínos mestiços em vez de raça pura silencie as características de carcaça e qualidade, únicas para cada linha de machos (Lowell et al., 2019). Outra possível explicação seria que os objetivos de criação mudaram tanto a capacidade de crescimento magro do Hampshire, quanto melhoraram a qualidade da gordura do Pietrain. Normalmente, poucas diferenças são observadas em suínos comerciais para características de carcaça, uma vez que há muito tempo o objetivo da

suinocultura é concentrado em resultados semelhantes; crescimento rápido e magreza da carcaça (Ruusunen et al., 2012).

### 3.2 Qualidade da carne

Houve interação significativa entre sexo e grupo genético para variável comprimento de sarcômero (Tabela 2). Os machos da linhagem C apresentaram maiores valores de comprimento de sarcômero (1,99  $\mu\text{m}$ ) em relação aos machos da linhagem B e às fêmeas da linhagem C (1,94  $\mu\text{m}$  e 1,92  $\mu\text{m}$ , respectivamente), dados representados na Tabela 3. Entende-se que o sexo teve influência sobre o grupo genético. Vários estudos já relataram as diferenças encontradas na qualidade da carne entre machos castrados cirurgicamente e fêmeas suínas. É conhecido que a castração provoca diferenças expressivas na gordura intramuscular e no perfil de ácidos graxos (Pérez-Ciria et al., 2021).

Essas variações podem estar associadas a alterações proteômicas na carne. Um estudo anterior relatou que a castração de machos e fêmeas suínas gerou grandes alterações proteômicas em presunto curado (López-Pedrouso et al., 2022). Os autores sugeriram que as diferenças proteômicas do presunto se deram principalmente pelas diferenças no proteoma presentes na carne fresca. De acordo com esse estudo, proteínas estruturais que compõe os sarcômeros foram diferencialmente alteradas pelo efeito da castração, sugerindo que o sistema de calpaína pode levar à degradação muscular diferencial durante o início do *post-mortem*, tendo uma maior atuação em animais castrados.

As calpaínas são proteases de cisteína dependentes de cálcio e apresentam-se em duas formas:  $\mu$ -calpaína e m-calpaína, dentre as calpaínas, a  $\mu$ -calpaína é uma das principais responsáveis por várias das alterações *post mortem* que promovem a fragmentação miofibrilar (Oliveira et al., 2019), assim, os autores concluíram que a castração animal parece ter uma forte influência na degradação estrutural de proteínas (López-Pedrouso et al., 2022), o que pode explicar o maior comprimento de sarcômero apresentado pelos machos castrados cirurgicamente da linhagem C em relação às fêmeas da mesma linhagem. Neste contexto, o maior efeito do sexo é observado na linhagem C (Linhagem A x Hampshire). Em sua composição a linhagem C possui linha genética de Hampshire, geralmente essa raça e animais advindos de seus cruzamentos apresentam pH final da carne mais baixo do que várias outras raças (Ruusunen, 1994; Ruusune et al., 2012).

**Tabela 2.** Valores de pH, luminosidade (L\*), intensidade de vermelho (a\*), intensidade de amarelo (b\*), escore de marmoreio, capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cozimento (PPC), força de cisalhamento (FC) e comprimento de sarcômero (CS) da carne de suínos de diferentes sexos e grupos genéticos.

Variáveis	Sexo		Grupo genético (GG)			EPM*	P value		
	Macho	Fêmea	Linhagem A	Linhagem B	Linhagem C		Sexo	GG	Sexo*GG
<b>pH</b>	5,57	5,53	5,53	5,54	5,57	0,0189	0,0986	0,3287	0,9024
<b>Valor de L*</b>	55,10	55,35	55,39	55,62	54,66	0,5463	0,6965	0,4245	0,5646
<b>Valor de a*</b>	9,25	8,69	9,36	8,69	8,88	0,2947	0,0921	0,2483	0,7123
<b>Valor de b*</b>	2,17	2,15	2,27	2,42	1,79	0,2086	0,9458	0,0800	0,6988
<b>Marmoreio</b>	2,74a	2,48b	2,43b	2,57ab	2,82a	0,1111	0,0403	0,0409	0,4924
<b>CRA (%)</b>	75,65	76,15	75,81	76,25	75,56	0,5863	0,4219	0,7001	0,0945
<b>PPC (%)</b>	26,68	28,25	26,84	27,25	28,30	0,9014	0,1269	0,4944	0,9906
<b>FC (kgf)</b>	3,68b	3,90a	3,68b	3,66b	4,04a	0,9556	0,0402	0,0061	0,1193
<b>CS (µm)</b>	1,96a	1,94b	1,95	1,95	1,95	0,0070	0,0186	0,7568	0,0002

Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

\*EPM = Erro padrão da média

**Tabela 3.** Desdobramento da interação entre o sexo e o grupo genético para comprimento de sarcômero.

Comprimento de sarcômero (µm)	Sexo*Grupo genético						P-value	EPM*
	Linhagem A		Linhagem B		Linhagem C			
	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea		
	1,95aAB	1,95aAB	1,94aB	1,95aAB	1,99aA	1,92bB	0,0002	0,0070

Médias seguidas por letras distintas nas linhas (minúsculas para sexo dentro do grupo genético e maiúsculas para sexo entre os grupos genéticos) diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

\*EPM = Erro padrão da média

O pH da carne é um dos fatores que influenciam a ativação da  $\mu$ -calpaína (Huff-Lonergan et al., 1996), o declínio mais rápido do pH causa ativação da  $\mu$ -calpaína mais cedo, o que leva a uma perda mais precoce de sua atividade proteolítica. Assim, valores ligeiramente mais baixos de pH possivelmente estimulam a ativação mais rápida da  $\mu$ -calpaína (Bee et al., 2007), o que pode gerar menores taxas de fragmentação miofibrilar, devido à perda precoce de ação da enzima. Desta forma, apesar de não ter tido diferença estatística para valores de pH final entre as linhagens, animais da linhagem C possivelmente

apresentam uma tendência para um declínio mais rápido de pH *post mortem*, e com isso, eventualmente podem apresentar menor atividade da calpaína. Desta forma, a ação da calpaína em machos castrados da linhagem C possivelmente foi mais expressiva do que nas fêmeas da mesma linhagem, explicando as diferenças encontradas para comprimento de sarcômero.

Essas diferenças também podem explicar a maior força de cisalhamento encontrados na linhagem C (4,04 kgf) em relação às linhagens A e B (3,68 kgf e 3,66 kgf, respectivamente) e o maior valor de comprimento de sarcômero e menor força de cisalhamento dos machos castrados cirurgicamente (1,96  $\mu\text{m}$  e 3,68 kgf, respectivamente) em comparação com as fêmeas (1,94  $\mu\text{m}$  e 3,90 kgf, respectivamente), Tabela 2. A estrutura do sarcômero causa importantes efeitos na qualidade da carne (Ertbjerg & Puolanne, 2017). Assim, já é bem estabelecido que o aumento do comprimento dos sarcômeros favorece a redução da força de cisalhamento (Zhou et al., 2018) e melhora a maciez da carne (Smulders et al., 1990), corroborando com os resultados encontrados.

Houve diferença estatística para escore de marmoreio entre os sexos (Tabela 2), os machos castrados cirurgicamente apresentaram maior escore de marmoreio (2,74) do que as fêmeas (2,48). Existe uma assimetria das curvas de crescimento e composição corporal entre os machos castrados cirurgicamente e fêmeas suínas. Os machos castrados crescem e atingem maturidade fisiológica a uma taxa mais rápida do que as fêmeas (Lee et al., 2013). Assim, no início da deposição de gordura nos machos castrados, as fêmeas suínas ainda estão crescendo e se desenvolvendo (Xie et al., 2022). Com isso, suínos machos castrados cirurgicamente apresentam carcaças com maior conteúdo de gordura (Čandek-Potokar et al., 2017), que fêmeas. O que está de acordo com a maior espessura de toucinho e menor porcentagem de carne magra apresentados pelos machos castrados neste estudo. No entanto, não houve diferença significativa entre os sexos para conteúdo de gordura (Tabela 4).

Entre os grupos genéticos, também houve diferença estatística para escore de marmoreio. A linhagem C apresentou maiores valores de escore de marmoreio (2,82) em comparação com a linhagem A (2,43). Levando em consideração que a linhagem C foi desenvolvida usando o cruzamento com uma linha genética Hampshire, esperava-se maior escore de marmoreio e conteúdo de gordura para esta linhagem. Geralmente, a raça Hampshire e seus cruzamentos apresentam maior conteúdo de gordura intramuscular em comparação com outras raças (Monin e Sellier 1985; Sheard et al., 2005; Ruusunen, 2012), no

entanto, apesar dos maiores valores de escore de marmoreio encontrados na linhagem C, não houve diferença estatística para conteúdo de gordura entre as linhagens (Tabela 4).

Não houve diferenças estatísticas entre os grupos genéticos, sexo e a interação entre eles para as variáveis pH, luminosidade ( $L^*$ ), intensidade de vermelho ( $a^*$ ), intensidade de amarelo ( $b^*$ ), capacidade de retenção de água (CRA) e perda de peso por cozimento (PPC).

Os resultados da composição química e do colágeno da carne suína entre os grupos genéticos, sexo e a interação sexo e grupo genético estão representados na Tabela 4. Houve interação ( $P < 0,05$ ) entre os fatores sexo e grupo genético para colágeno total, solúvel e insolúvel. Os machos da linhagem B apresentaram os maiores valores de colágeno total e insolúvel (0,69% e 0,58%, respectivamente) do que fêmeas da mesma linhagem (0,26% e 0,21%, respectivamente), do que machos e fêmeas da linhagem A (0,18% e 0,13%; 0,15% e 0,12%, respectivamente), e do que machos e fêmeas da linhagem C (0,47% e 0,39%; 0,19 e 0,16%, respectivamente). Os machos da linhagem C tiveram maiores valores de colágeno total e insolúvel (0,47% e 0,39%, respectivamente) que fêmeas da mesma linhagem (0,19 e 0,16%, respectivamente), e que machos e fêmeas da linhagem A (0,18% e 0,13%; 0,15% e 0,12%, respectivamente). Já os machos da linhagem A apresentaram os maiores valores de colágeno solúvel (30,32%) que fêmeas da mesma linhagem (18,08%), que machos da linhagem B (17,10%) e que fêmeas e machos da linhagem C (17,32% e 16,99%, respectivamente), Tabela 5.

**Tabela 4.** Valores de proteína, gordura, umidade, matéria mineral (MM), colesterol, colágeno total, colágeno solúvel e colágeno insolúvel da carne de suínos de diferentes sexos e grupos genéticos.

Variáveis	Sexo		Grupo genético (GG)			EPM*	P value		
	Macho	Fêmea	Linhagem A	Linhagem B	Linhagem C		Sexo	GG	Sexo*GG
<b>Proteína (%)</b>	24,73a	23,91b	24,41	24,28	24,28	0,2749	0,0379	0,9517	0,8956
<b>Gordura (%)</b>	3,23	3,11	3,32	3,05	3,14	0,1536	0,4827	0,4483	0,4703
<b>Umidade (%)</b>	70,32	70,24	69,89	70,37	70,58	0,2696	0,7905	0,1711	0,3336
<b>MM (%)</b>	1,55b	1,85a	1,90a	1,60b	1,60b	0,0745	0,0007	0,0039	0,1410
<i>Colágeno</i>									
<b>Total (%)</b>	0,45a	0,20b	0,16c	0,48a	0,33b	0,0173	<.0001	<.0001	<.0001
<b>Solúvel (%)</b>	21,58	18,58	24,20a	18,28ab	17,15b	1,8682	0,1137	0,0185	0,0158
<b>Insolúvel (%)</b>	0,37a	0,17b	0,13c	0,40a	0,28b	0,0212	<.0001	<.0001	<.0001

Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\*EPM = Erro padrão da média

**Tabela 5.** Desdobramento da interação entre o sexo e o grupo genético para colágeno total, solúvel e insolúvel.

Colágeno (%)	Sexo*Grupo genético						P-value	EPM*
	Linhagem A		Linhagem B		Linhagem C			
	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea		
<b>Total</b>	0,18aC	0,15aC	0,69aA	0,26bC	0,47aB	0,19bC	<.0001	0,0173
<b>Solúvel</b>	30,32aA	18,08bB	17,10aB	19,45aAB	17,32aB	16,99aB	0,0158	1,8682
<b>Insolúvel</b>	0,13aC	0,12aC	0,58aA	0,21bC	0,39aB	0,16bC	<.0001	0,0212

Médias seguidas por letras distintas nas linhas (minúsculas para sexo dentro do grupo genético e maiúsculas para sexo entre os grupos genéticos) diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\*EPM = Erro padrão da média

Como mencionado anteriormente, inúmeros estudos já relataram as diferenças encontradas na qualidade da carne entre machos castrados e fêmeas suínas. Esses animais possuem diferentes curvas de crescimento e composição corporal (Xia et al., 2022), o que resulta em variações na qualidade da carne entre os sexos. No entanto, em relação ao conteúdo de colágeno na carne, existem contradições na literatura. Estudos anteriores, mostraram que o conteúdo total de colágeno e sua solubilidade não foram afetados pelo sexo em suínos e bovinos (Klastrup et al., 1984; Burson et al., 1986; Mandell et al., 1997; Aaslyng et al., 2018; Akit et al., 2018), entretanto, pesquisas realizadas em carne bovina relataram efeitos do sexo na solubilidade e conteúdo total de colágeno (Cross et al., 1984; Gerrard et al., 1987). Os autores relataram que os machos inteiros apresentaram aumento da síntese de colágeno próximo à puberdade, em relação a machos castrados. Esse mecanismo não é bem esclarecido, porém, pode levar ao aumento do conteúdo de colágeno intramuscular, ocasionando um aumento adicional de reticulação e, conseqüentemente, de colágeno insolúvel (Blanco et al., 2013). Efeito que não foi observado neste estudo, uma vez que os machos castrados apresentaram maior conteúdo de colágeno total e insolúvel em relação às fêmeas, nas linhagens B e C.

Não foram encontrados relatos sobre efeito do sexo no conteúdo de colágeno entre machos castrados e fêmeas, como também, não há conhecimento prévio sobre as diferenças existentes entre os sexos para o conteúdo de colágeno na carne suína (Aaslyng et al., 2018). O que é um reflexo da falta de estudos aprofundados sobre colágeno, nesta espécie animal (Li et al., 2022), resultando na necessidade da realização de novos estudos para investigação

dos possíveis fatores que contribuem para essas diferenças. Por outro lado, os resultados para o conteúdo de colágeno entre os diferentes sexos sofrem efeito da raça (Blanco et al., 2013), o que poderia explicar as diferenças encontradas entre os sexos para o conteúdo de colágeno total, solúvel e insolúvel dentro das linhagens na presente pesquisa.

Raças que apresentam maior conteúdo de colágeno ao nascimento sofrem maior efeito da castração que animais de raças que apresentam menor conteúdo de colágeno ao nascimento (Boccard et al., 1979), isso reflete em diferenças no conteúdo de colágeno entre animais castrados e inteiros dentro dessas raças. Neste contexto, os resultados sugerem que as linhagens B e C possuem maior síntese de colágeno em relação à linhagem A, o que possivelmente pode explicar os maiores valores encontrados para conteúdo de colágeno total e insolúvel nos machos castrados das linhagens B e C em comparação com a linhagem A.

A diversidade genética existente entre as raças resulta em variações na qualidade da carne (Albertí et al., 2008). Assim, apesar de todos os animais possuírem uma linhagem em comum, os cruzamentos realizados atribuíram variações na qualidade da carne, apresentando diferenças entre as linhagens para síntese de colágeno. A linhagem A é uma linha genética pura sintética marcada por suas características de máxima rentabilidade, eficiência de crescimento e valor de carcaça. É conhecido que raças de maturação precoce apresentam maior conteúdo de colágeno total e insolúvel, enquanto raças de maturação tardia e que apresentam rápido crescimento durante o período de engorda apresentam maior conteúdo de colágeno solúvel (Monsón et al., 2004; Blanco et al., 2013). Desta forma, os resultados sugerem que as linhagens B e C são mais precoces em relação à linhagem A, o que poderia explicar os maiores valores de colágeno solúveis apresentados pela linhagem A em relação às demais.

Houve diferença significativa entre os sexos para as variáveis de proteína e matéria mineral. Os machos castrados apresentaram maiores valores de proteína e menores valores de matéria mineral (24,73 %, 1,55 %, respectivamente) em comparação com as fêmeas (23,91 %, 1,85 %, respectivamente).

Em relação ao conteúdo de proteína da carne, estudos anteriores relataram resultados conflitantes entre machos castrados e fêmeas suínas. Pesquisadores relataram que não houve diferença estatística para o número de proteínas na carne suína entre machos castrados e fêmeas (Paredi et al., 2019). Enquanto, vários outros estudos mostraram maior conteúdo de proteína na carne de fêmeas suínas em relação a machos castrados (Weatherup et al., 1998; Beattie et al., 1999; Latorre et al., 2004; Correa et al., 2006). Nesses estudos, os autores

associaram o menor valor de proteína na carne de machos castrados à maior deposição de gordura intramuscular nesses animais. O que não foi observado no nosso estudo, uma vez que os machos castrados apresentaram maior conteúdo de proteína na carne, assim como, não houve diferença estatística para conteúdo de gordura entre os sexos. Por outro lado, corroborando com os resultados da presente pesquisa, um estudo anterior relatou que machos castrados apresentaram maior concentração de proteína na carne em relação a fêmeas suínas (Kwasiborski et al., 2008). Neste estudo, com base em uma análise proteômica do músculo *Longissimus lumborum*, os autores afirmaram que os elevados níveis de proteínas miofibrilares, como a actina e isoformas de proteínas da cadeia leve de miosina 2, atribuíram aos machos castrados um aumento na extraibilidade dessas proteínas no músculo *post-mortem*.

As proteínas actina e miosina formam o complexo actomiosina que apresenta pontes cruzadas de forte ligação (Bremel & Weber, 1972). Na força iônica utilizada no estudo para extração das proteínas, o complexo de actomiosina foi pouco solúvel e, portanto, teve uma extração limitada em relação às proteínas de actina e miosina não complexadas. Os autores ainda afirmaram que a actina e miosina extraídas apresentam uma relação inversa à quantidade de complexo actomiosina, sugerindo que menos complexos foram formados em amostras de machos castrados, o que pode explicar o maior conteúdo de proteína nos machos.

A formação do complexo actomiosina é dependente dos níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  intracelular (Gordon et al., 2000), desta forma, o estudo citado indicou que os machos castrados possuíam níveis mais baixos de  $\text{Ca}^{2+}$  intracelular *post-mortem*. Os níveis intracelulares de  $\text{Ca}^{2+}$  aumentam com a presença de estradiol e testosterona (Rubio-Gayosso et al., 2000; Estrada et al., 2006). Sendo assim, os autores sugeriram que possivelmente a ausência de testosterona em machos castrados explica os níveis mais baixos do  $\text{Ca}^{2+}$  em relação a fêmeas, e que essas diferenças entre os sexos poderiam estar presente nos animais vivos. Isso demonstra que variações na qualidade da carne suína, como o conteúdo de proteína, entre machos castrados e fêmeas podem estar associadas a alterações proteômicas nos músculos (López-Pedrouso et al., 2022). No entanto, a análise de quantificação de proteína da presente pesquisa difere do estudo citado (Kwasiborski et al., 2008). Desta forma, sugerimos que para maiores esclarecimentos das diferenças observadas no presente estudo, é necessário a realização de novas pesquisas aprofundadas sobre as características distintas existentes entre machos castrados e fêmeas suínas e seus possíveis efeitos no conteúdo de proteína da carne.

Menor conteúdo de matéria mineral na carne de machos castrados em comparação com a carne de fêmeas suínas também foi relatado em estudo anterior (Melo et al., 2014). A influência do sexo nos parâmetros de qualidade da carne é causada pela variação nas deposições de proteína e gordura corporal entre os diferentes sexos (Akit et al., 2018). Assim, o desenvolvimento muscular e a deposição de gordura são importantes para a qualidade química da carne (Krunt et al., 2022). A quantidade de matéria mineral na carne magra possui relação inversa com o conteúdo de gordura (USDA, 1986), e sabe-se que suínos machos castrados cirurgicamente apresentam carcaças com maior conteúdo de gordura (Čandek-Potokar et al., 2017a), em relação as fêmeas. O que estar de acordo com a maior espessura de toucinho e menor porcentagem de carne magra apresentados pelos machos castrados neste estudo. Assim, apesar de não ter tido diferença significativa entre os sexos para conteúdo de gordura, os machos apresentaram maior valor de gordura (3,23) na carne. Desta forma, as diferenças existentes para as curvas de crescimento e composição corporal entre machos castrados e fêmeas suínas (Xia et al., 2022), possivelmente provocaram variações no conteúdo de matéria mineral entre os sexos.

Entre os grupos genéticos houve diferença estatística para matéria mineral. A linhagem A apresentou maior valor de matéria mineral (1,90%) em relação às linhagens B e C (1,60% e 1,60%, respectivamente). As linhagens B e C foram formadas através de cruzamentos realizados com a linhagem A e linhas genéticas Pietrain e Hampshire, assim, os resultados sugerem que os cruzamentos realizados tiveram efeito no conteúdo de matéria mineral, atribuindo a carne dos suínos da linhagem B e C os menores valores. Os cruzamentos resultam em complementaridade de características entre as raças e maximiza a heterose (Costa, 2014). Assim, a indústria deve ficar atenta às exigências do mercado e considerar o desenvolvimento de novas estratégias e/ou programas de melhoramento, para garantir a produção de carne suína com as características esperadas (Kim et al., 2020).

### **3.3 Análise sensorial**

A média das notas de todas as variáveis analisadas no painel sensorial foram entre 6 e 7 (Tabela 6). Estas notas indicam que os provadores gostaram ligeiramente e regularmente das amostras de carne. Não houve diferença e interação estatística para nenhuma das variáveis. Isso indica que, no geral, a maioria dos provadores não observou diferenças sensoriais entre as amostras, mostrando que, possivelmente, o consumidor não seja capaz de

perceber diferenças sensoriais entre as carnes das linhagens em estudo, o que é visto de forma positiva, uma vez que as notas demonstram boa aceitação. Isso pode ser reflexo das melhorias na qualidade da carne suína empregadas nos programas de melhoramento genético, feitas para atender os requisitos do mercado consumidor em termos de qualidade da carne. A carne suína é uma das principais fontes de proteína consumidas pela população mundial (Kim et al., 2020), assim, atender as exigências do consumidor é essencial para a indústria suinícola se manter no mercado.

**Tabela 6.** Análise sensorial da carne de suínos de diferentes sexos e grupos genéticos.

Variáveis	Sexo		Grupo genético (GG)			EPM*	P value		
	Macho	Fêmea	Linhagem A	Linhagem B	Linhagem C		Sexo	GG	Sexo*GG
<b>Aparência</b>	6,47	6,52	6,46	6,58	6,45	0,1566	0,6958	0,6425	0,2170
<b>Aroma</b>	6,83	6,78	6,70	6,93	6,79	0,1518	0,6672	0,3144	0,9821
<b>Sabor</b>	6,64	6,63	6,52	6,75	6,64	0,1670	0,9028	0,3879	0,8060
<b>Textura</b>	6,96	6,87	6,92	6,93	6,91	0,1542	0,4587	0,9868	0,8235
<b>Aceitação</b>	6,88	6,80	6,79	6,87	6,85	0,1449	0,4992	0,8478	0,4716

\*EPM = Erro padrão da média

#### 4. CONCLUSÃO

Apesar das diferenças existentes nas características de carcaça e qualidade físico-química da carne entre os sexos e grupos genéticos, a qualidade sensorial da carne não foi influenciada, apresentando uma boa aceitação pelo painel sensorial, o que é favorável para o mercado. Neste sentido, as linhagens comerciais estudadas possuem qualidade da carne aceitável pelo mercado consumidor. O que possivelmente, é resultado do melhoramento genético aplicado nas linhagens atuais para atender os requisitos de qualidade exigidos pelos consumidores.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aaslyng, M. D., Jensenb, H., & Karlsson, A. H. (2018). The gender background of texture attributes of pork loin. *Meat Science*, 136, 79–84. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.10.018>

- Akit, H., Collins, C., Fahri, F., Hung, A., D'Souza, D., Leury, B., & Dunshea, F. (2018). Dietary lecithin improves feed efficiency without impacting meat quality in immunocastrated male pigs and gilts fed a summer ration containing added fat. *Animal Nutrition*, 4, 203-9. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.01.008>
- Albertí, P., Panea, B., Sañudo, C., Olleta, J. L., Ripoll, G., Ertbjerg, P., Christensen, M., Gígl, S., Failla, S., Concetti, S., Hocquette, J. F., Jailler, R., Rudel, S., Renand, G., Nute, G. R., Richardson, R. I., & Williams, J. L. (2008). Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livestock Science*, 114, 19-30. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.04.010>
- Alonso, V., Del Mar Campo, M., Espanol, S., Roncalés, P., & Beltrán, A. (2009). Effect of crossbreeding and gender on meat quality and fatty acid composition in pork. *Meat Science*, 81, 209-217.
- AMSA - American Meat Science Association. (2015). Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat. 2 ed. Champaign, p.19.
- AOAC (2005) 'Official methods of analysis.' 18th edn. (Association of Analytical Chemists: Washington, DC).
- Beattie, V.E., Weatherup, R.N., Moss, B.W., & Walker, N. (1999). The effect of increasing carcass weight of finishing boars and gilts on joint composition and meat quality. *Meat Science*, 52, 205-211. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00169-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00169-7)
- Bee, G., Anderson, A. L., Lonergan, S. M., & Huff-Lonergan, E. (2007). Rate and extent of pH decline affect proteolysis of cytoskeletal proteins and water-holding capacity in pork. *Meat Science*, 76, 359-365. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.12.004>
- Blanco, M., Jurie, C., Micol, D., Agabriel J., Picard, B., & Garcia-Launay, F. (2013). Impact of animal and management factors on collagen characteristics in beef: a meta-analysis approach. *Animal*, 7(7), 1208-1218. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000177>
- Bligh, G. E., & Dyer, J. W. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37, 911-917.
- Boccard, R. L., Naudé, R. T., Cronje, D. E., Smit, M. C., Venter, H. J., & Rossouw, E. J. (1979). The influence of age, sex and breed of cattle on their muscle characteristics. *Meat Science*, 3, 261-280. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(79\)90003-2](https://doi.org/10.1016/0309-1740(79)90003-2)
- Boler, D. D., Puls, C. L., Clark, D. L., Ellis, M., Schroeder, A. L., Matzat, P.D., & Dilger, A. C. (2014). Effects of immunological castration (Improvest) on changes in dressing percentage and carcass characteristics of finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 91, 359-368, <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6863>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2003). Instrução normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003. Oficializar os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água. Secretaria de Defesa Agropecuaria, Brasil, 1-194.
- Bremel, R.D., & Weber, A. (1972). Cooperation within actin filament in vertebrate skeletal muscle. *Nature – New Biology*, 238 (82), 97-101. <https://doi.org/10.1038/newbio238097a0>
- Čandek-Potokar, M., Škrlep, M., & Zamaratskaia, G. (2017). Immunocastration as Alternative to Surgical Castration in Pigs. In: CARREIRA, R. P. *Theriogenology*, 6, 109-126.

- Cavalcanti, E. N. F., Giampietro-Ganeco, A., Mello, J. L. M., Fidelis, H. A., Oliveira, R. F., Pereira, M. R., Villegas-Cayllahua, E. A., Souza, R. A., Souza, P. A., & Borba, H. (2021) Breast meat quality of turkey breeder hens at disposal age affected by deep pectoral myopathy. *Poultry Science*, 100, 101259. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101259>
- Channon, H. A., Kerr, M. G., & Walker, P. J. (2004) Effect of Duroc content, sex and ageing period on meat and eating quality attributes of pork loin. *Meat Science* 66, 881– 888. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.08.010>
- Correa, J. A., Faucitano, L., Laforest, J. P., Rivest, J., Marcoux, M., & Gariépy, C. (2006). Effects of slaughter weight on carcass composition and meat quality in pigs of two different growth rates. *Meat Science*, 72, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.06.006>
- Costa, A. R. C. (2014). *Estruturas piramidais de melhoramento genético. Produção de suínos: teoria e prática*. Brasília: Coordenação editorial Associação Brasileira de Criadores de Suínos; Coordenação Técnica da Integrall Soluções em Produção Animal, p. 60-63.
- Cross, H. R., Schanbacher, B. D., & Crouse, J. D. (1984). Sex, age and breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. *Meat Science*, 10(3), 187-195. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(84\)90021-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(84)90021-4)
- Edwards, D. B., Bates, R. O., & Osburn, W. (2003). Evaluation of Duroc-vs. Pietrain-sired pigs for carcass and meat quality measures. *Journal of Animal Science*, 81, 1895-1899.
- Edwards, S.A., Wood, J.D., Moncrieff, C.B., & Porter, S.J. (1992). Comparison of the Duroc and Large White as terminal sire breeds and their effect on pigmeat quality. *Animal Production*, 54, 289-297.
- Ertbjerg, P., & Puolanne, E. (2017). Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Science*, 132, 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.261>
- Estrada, M., Varshney, A., & Ehrlich, B.E. (2006). Elevated testosterone induces apoptosis in neuronal cells. *Journal of Biological Chemistry*, 281, 25492-25501. <https://doi.org/10.1074/jbc.M603193200>
- Frederick, B. R., Van, H. E., & See, M. T. (2006). Effects of pig age at market weight and magnesium supplementation through drinking water on pork quality. *Journal of Animal Science*, 84, 1512-1519. <https://doi.org/10.2527/2006.8461512x>
- Gerrard, D. E., Jones, S. J., Aberle, E. D., Lemenager, R. P., Diekman, M. A., & Judge M. D. (1987). Collagen stability, testosterone secretion and meat tenderness in growing bulls and steers, *Journal of Animal Science*, 65, 1236-1242. <https://doi.org/10.2527/jas1987.6551236x>
- Gordon, A.M., Homsher, E., & Regnier, M. (2000). Regulation of contraction in striated muscle. *Physiological Reviews*, 80(2), 853-924. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.2.853>
- Hamm, R. (1961). Biochemistry of meat hydration. *Advances in Food Research*, 10, 355-463.
- Huff-Lonergan, E. Mitsuhashi, T., Beekman, D. D., Parrish Jr., F. C., Olson, D. G., & Robson, R. M. (1996). Proteolysis of specific muscle structural proteins by  $\mu$ -calpain at

- low pH and temperature is similar to degradation in postmortem bovine muscle. *Journal of Animal Science*, 74, 993-1008. <https://doi.org/10.2527/1996.745993x>
- Hugenschmidt, G., Hadorn, R., Scheeder, M. R. L., Silacci, P., Scherrer, D., & Wenk, C. (2010). The effects of early post-mortem pH and ultimate pH on level and amount of destructured zones in cooked cured hams. *Meat Science*, 85, 632-639. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.03.016>
- Kim, J. A., Cho, E. S., Jeong, Y. D., Choi, Y. H., Kim, Y. S., Choi, J. w., Kim, J. S., Jang, A., Hong, J. K., & Sa, S. J. (2020). The effects of breed and gender on meat quality of Duroc, Pietrain, and their crossbred. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(3), 409-419. <https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.3.409>
- Kowalski, E., Aluwé, M., Vossen, E., Millet, S., Ampe, B., & Smet, S. (2021). Quality characteristics of fresh loin and cooked ham muscles as affected by genetic background of commercial pigs. *Meat Science*, 172, 108352. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108352>
- Krunt, O., Zita, L., Kraus, A., Bureš D., Needham, T., & Volek, Z. (2022). The effect of housing system on rabbit growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of different muscles. *Meat Science*, 193, 108953. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108953>
- Kwasiborski, A., Sayd, T., Chambon, C., Santé-Lhoutellier, V., Rocha, D., & Terlouw, C. (2008). Pig Longissimus lumborum proteome: Part I: Effects of genetic background, rearing environment and gender. *Meat Science*, 80(4), 968-981. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.04.028>
- Latorre, M. A., Lazaro, R., Valencia, D. G., Medel, P., & Mateos, G. G. (2013). The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *Journal of Animal Science*, 82(2), 526-533. <https://doi.org/10.2527/2004.822526x>
- Latorre, M. A., Lázaro, R., Valencia, D. G., Medel, P., Mateos, G. G. (2004). The effects of sex and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *Journal of Animal Science*, 82, 526-533. <https://doi.org/10.1093/ansci/82.2.526>
- Lawrie, R. A. (2006). The eating quality of meat. In R. A. Lawrie, & D. Ledward (Eds.), *Lawrie's Meat Science*, 7, 279–341. Woodhead Publishing Limited.
- Lebret, B., & Čandek-Potokar, M. (2022)a. Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part I. Carcass and fresh meat. *Animal*, 16(Supp 1), 100402. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100402>
- Lebret, B., & Čandek-Potokar, M. (2022)b. Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part II. Processed pork products. *Animal*, 16(Supp 1), 100383. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100383>
- Lee, J. W., Kil D. Y., Keever, B. D., Killefer, J., McKeith, F. K., Sulabo, R. C., & Stein, H. H. (2013). Carcass fat quality of pigs is not improved by adding corn germ, beef tallow, palm kernel oil, or glycerol to finishing diets containing distillers dried grains with soluble. *Journal of Animal Science*, 91, 2426-2437. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5328>

- Li, X., Ha, M., Warner, R. D., & Dunshea, F. R. (2022). Meta-analysis of the relationship between collagen characteristics and meat tenderness. *Meat Science*, 185, 108717. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108717>
- Lonergan, S. M., Huff-Lonergan, E., Rowe, L. J., Kuhlers, D. L., & Jungst, S. B. (2001). Selection for lean growth efficiency in Duroc pigs influences pork quality. *Journal of Animal Science*, 79, 2075-2085. <https://doi.org/10.2527/2001.7982075x>
- Lopez-Pedrouso, M., Lorenzo, J. M., Pérez-Ciria, L., Ripoll, G., Latorre, M. A., & Franco, D. (2022). A proteomic approach for in-depth characterization and understanding the impact of immunocastration on dry-cured ham of male and female pigs. *Food Research International*, 154, 111020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111020>
- Lowell, J. E., Schunke, E. D., Harsh, B. N., Bryan, E. E., Stahl, C. A., Dilger, A. C., & Boler, D. D. (2019). Growth performance, carcass characteristics, fresh belly quality, and commercial bacon slicing yields of growing-finishing pigs from sire lines intended for different industry applications. *Meat Science*, 154, 96-108. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.010>
- Melo, D. S., Faria, P. B., Cantarelli, V. S., Rocha, M. F. M., Pinto, A. M. B. G., & Ramos, E. M. (2014). Qualidade da carne de suínos com uso de glicerina na alimentação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 66(2), 583-592. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-41626204>
- Miao, Z. G., Wang, L. J., Xu, Z. R., Huang, J. F., & Wang, Y. R. (2009). Developmental changes of carcass composition, meat quality and organs in the Jinhua pig and Landrace. *Animal*, 3, 468-473. <https://doi.org/10.1017/S1751731108003613>
- Monin, G., & Sellier, P. (1985). Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate post-mortem period: The case of the Hampshire breed. *Meat Science*, 13, 49-63. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(85\)80004-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(85)80004-8)
- Monsón, F., Sañudo, C., & Sierra, I. (2004). Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Science*, 68, 595-602. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.05.011>
- Morales, J. I., Cámara, L., Berrocoso, J. D., López, J. P., Mateos, G. G., & Serrano, M. P. (2011). Influence of sex and castration on growth performance and carcass quality of crossbred pigs from 2 large white sire lines. *Journal of Animal Science*, 89(11), 3481-3489. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3357>
- NATIONAL PORK PRODUCERS COUNCIL. *Pork quality standards*. Des Moines: NPPC, 1999.
- O'Neill, D. J., Lynch, P. B., Troy, D. J., Buckley, D. J., & Kerry, J. P. (2003). Effects of PSE on the quality of cooked hams. *Meat Science*, 64, 113-118. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00117-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00117-1)
- Oliván, M., González, J., Bassols, A., Díaz, F., Carreras, R., Mainau, E., Arroyo, L., Peña, R., Potes, Y., Coto-Montes, A., Hollung, K., & Velarde, A. (2018). Effect of sex and RYR1 gene mutation on the muscle proteomic profile and main physiological biomarkers in pigs at slaughter. *Meat Science*, 141, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.018>
- Oliveira, L. G., Delgado, E. F., Steadham, E. M., Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2019). Association of calpain and calpastatin activity to postmortem myofibrillar protein

- degradation and sarcoplasmic proteome changes in bovine *Longissimus lumborum* and *Triceps brachii*. *Meat Science*, 155, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.015>
- Paredi, G., Moria, F., Marino, M. G., Raboni, S., Marchi, L., Galati, S., Buschini, A., Fiego, D. P. L., & Mozzarelli, A. (2019). Is the protein profile of pig *Longissimus dorsi* affected by gender and diet?. *Journal of Proteomics*, 206, 103437. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2019.103437>
- Pauly, C., Luginbuhl, W., Ampuero, S., & Bee, G. (2012). Expected effects on carcass and pork quality when surgical castration is omitted - Results of a meta-analysis study. *Meat Science*, 92, 858-862. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.06.007>
- Pegolo, S., Cecchinato, A., Savoia, S., Di Stasio, L., Paucullo, A., Brugiapaglia, A., Bittante, G., & Albera, A. (2020). Genome-wide association and pathway analysis of carcass and meat quality traits in Piemontese young bulls. *Animal*, 14, 243-252. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001812>
- Pérez-Ciria, L., Miana-Mena, F. J., López-Mendoza, M. C., Álvarez-Rodríguez, J., & Latorre, M. A. (2021). Influence of immunocastration and diet on meat and fat quality of heavy female and male pigs. *Animals*, 11(12), 1-19. <https://doi.org/10.3390/ani11123355>
- Rubio-Gayosso, I., Sierra-Ramirez, A., Garcia-Vasquez, A., Martinez-Martinez, A., Munoz-Garcia, O., Morato, T., & Ceballos-Reyes, G. (2000). 17- $\beta$ -Estradiol increases intracellular calcium concentration through a short-term and nongenomic mechanism in rat vascular endothelium in culture. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 36(2), 196-202.
- Ruusunen, M. (1994). *Muscle histochemical properties of different pig breeds in relation to meat quality*. Diss. EKT-series 968, University of Helsinki. Department of Food Technology, 77, 4.
- Ruusunen, M., Puolanne, E., Sevon-Aimonen, M.-L., Partanen, K., Voutilainen, L., & Niemi, J. (2012). Carcass and meat quality traits of four different pig crosses. *Meat Science*, 90, 543–547. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.09.010>
- SAS Institute. (2002). *User's guide: Statistics*. Release 9.1. SAS Institute Inc, Cary, NC.
- Schwab, C.R., Baas, T.J., Stalder, K.J., Mabry, J.W. (2006). Effect of long-term selection for increased leanness on meat and eating quality traits in Duroc swine. *Journal of Animal Science*, 84, 1577-1583. <https://doi.org/10.2527/2006.8461577x>
- Sheard, R., Nute, G. R., Richardson, R. I., & Wood, J. D. (2005). Effects of breed and marination on the sensory attributes of pork from Large White and Hampshire-sired pigs. *Meat Science*, 70, 699–707. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108158>
- Silveira, E. T. F., Hagiwara, M. M. H., & Neto, P. M. (2014). Manual de industrialização dos suínos. Capítulo 10. Desossa e embalagem. Associação Brasileira de Criadores de Suínos, coordenação editorial, 158.
- Smulders, F. J. M., B. B. Marsh, D. R. Swartz, R. L. Russell, & M. E. Hoenecke. (1990). Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Science*, 28, 349–363. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(90\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0309-1740(90)90048-B)
- Trefan, L., Doeschl-Wilson, A., Rooke, J. A., Terlouw, C., & Bunger, L. (2013). Meta-analysis of effects of gender in combination with carcass weight and breed on pork quality. *Journal of Animal Science*, 91, 1480-1492. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5200>

- USDA. (1986). Composition of foods: beef products, raw, processed, prepared. *Agriculture handbook*. Human nutrition information service, United States Department of Agriculture, 8–13.
- Weatherup, R. N., Beattie, V. E., Moss, B. W., Kilpatrick, D. J., & Walker, N. (1998). The effects of increasing slaughter weight on the production performance and meat quality of finishing pigs. *Animal Science*, 67, 591-600.
- Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., & Koohmaraie, M. (2005). Shear Force Procedures for Meat Tenderness Measurement. Roman L. Hruska U. S. Meat Animal Research Center. *Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture*. Clay Center, p.6.
- Xia, J. Q., Liu, D. Y., Liu, J., Jiang, X. P., Wang, L., Yang, S., & Liu, D. (2022). Sex effects on carcass characteristics, meat quality traits and meat amino acid and fatty acid compositions in a novel Duroc line pig. *Journal Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1–7. <https://doi.org/10.1111/jpn.13680>
- Xie, L., Qin, J.-t., Rao, L., Cui, D.-s., Tang, X., Xiao, S.-j., Zhang, Z.-y., & Huang, L.-s. (2022) Effects of carcass weight, sex and breed composition on meat cuts and carcass trait in finishing pigs. *Journal of Integrative Agriculture*, <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.122>
- Zhou, C-Y., Y. Wang, P. Dao-Dong, S. Yang-Ying, & J-X. Cao. (2018). The effect of ATP marination on the depolymerization of actin filament in goose muscles during postmortem conditioning. *Poultry Science*, 97, 684–694. <https://doi.org/10.3382/ps/pex318>
- Zomeño, C., Gispert, M., Brun, Albert., Carabús, A., Soler, J., & Fonti-Furnols, M. (2022). Productive performance and in vivo body composition across the growing and finishing period and carcass traits in pigs of four sex types. *Meat Science*, 192, 108909. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108909>

**CAPÍTULO 3 – Variação intramuscular da qualidade físico-química e sensorial no músculo *Longissimus thoracis et lumborum* de suínos de três linhagens comerciais**

*Este capítulo foi redigido segundo as normas editoriais do periódico  
“Meat Science”*

- *Processamento e Produtos*

VARIAÇÃO INTRAMUSCULAR DA QUALIDADE DO MÚSCULO LONGISSIMUS  
THORACIS ET LUMBORUM

**Variação intramuscular da qualidade físico-química e sensorial no músculo longissimus  
thoracis et lumborum de suínos de três linhagens comerciais \*\***

Érika Nayara Freire Cavalcanti<sup>a2</sup>, Aline Giampietro-Ganeco<sup>b</sup>, Juliana L. M. Mello<sup>a</sup>, Heloisa  
A. Fidelis<sup>a</sup>, Daniel Rodrigues Dutra<sup>a</sup>, Ana Veronica Lino Dias<sup>a</sup>, Rodrigo F. Oliveira<sup>c</sup>, Mateus  
R. Pereira<sup>a</sup>, Erick A. Villegas-Cayllahua<sup>a</sup>, Pedro A. Souza<sup>a</sup> and Hirasilva Borba<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental; Universidade Estadual Paulista–  
UNESP, Jaboticabal, Brasil, 14884-900; <sup>b</sup>Departamento de Engenharia de Alimentos,  
Universidade de São Paulo–USP, Pirassununga, Brasil, 13635-900; <sup>c</sup>Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias - CCTA, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy  
Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil, 28013-602

\*\*Declarações de interesse: nenhuma.

---

<sup>2</sup> Autor correspondente: [erikanayara@gmail.com](mailto:erikanayara@gmail.com)

**RESUMO:** Este estudo analisou a variação intramuscular na qualidade físico-química e sensorial do músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de suínos de três linhagens comerciais. Foram utilizadas 180 carcaças de suínos, machos castrados e fêmeas, provenientes de três genótipos: Linhagem A (Pietrain x duroc x large white x landrace); Linhagem B (Linhagem A x linha genética Pietran) e Linhagem C (Linhagem A x linha genética Hampshire), com idade de 168 dias e peso médio de 125 kg, abatidos em abatedouro comercial. O músculo LTL foi seccionado em duas porções (*longissimus thoracis* -LT (porção cranial) e *longissimus lumborum* - LL (porção caudal)). Foram analisados pH, cor (L\*, a\* e b\*), capacidade de retenção de água, perda de peso por cozimento, força de cisalhamento (FC), comprimento de sarcômero, umidade, conteúdo de proteína, gordura e análise sensorial. A região cranial (LT) apresentou maior valor (P<0,05) de L\* e menores valores (P < 0,05) de FC e umidade. Já a região caudal (LL) teve melhor aceitação no painel sensorial. A carne dos machos possui maior (P<0,05) intensidade de vermelho, proteína, FC e aceitação pelo painel sensorial. As linhagens A e B apresentaram maior (P<0,05) intensidade de amarelo e FC. Todas as interações (sexo e grupo genético; sexo e região; grupo genético e região; sexo, grupo genético e região) foram significativas para comprimento de sarcômero. Também houve diferença (P<0,05) entre os sexos e grupos genéticos para luminosidade da carne. Conclui-se que o genótipo suíno, o sexo e região anatômica, influenciam a variação da qualidade química da carne ao longo do músculo LTL, por outro lado, a qualidade sensorial da carne não foi influenciada pelo diferentes genótipos estudados, apenas do sexo e região anatômica.

**Palavras-chave:** genótipo, lombo suíno, região anatômica do músculo

## 1. INTRODUÇÃO

Cada músculo esquelético possui propriedades contráteis e metabólicas específicas, que são influenciadas por sua localização anatômica e papel fisiológico (Lebret & Čandek-Potokar, 2022). Neste contexto, entende-se que cada músculo é único em termos de características fisiológicas, morfológicas, biológicas e bioquímicas (McDonald et al., 1997; Konhilas et al., 2002). Sendo assim, uma grande variação dos parâmetros de qualidade da carne é observada entre os músculos, uma vez que essas características únicas influenciam expressivamente esses parâmetros durante a conversão do músculo em carne (Gap-Don et al., 2019).

Em pesquisas científicas, geralmente usa-se um único músculo como unidade básica de análise, e o *m. longissimus thoracis et lumborum*, devido ao seu grande valor comercial, se destaca em pesquisas de análise de qualidade da carne. Desta forma, apesar de existir variação dos parâmetros de qualidade da carne entre os diferentes músculos dentro de uma carcaça, em análise de carne suína, o *m. longissimus thoracis et lumborum* (LTL) é frequentemente utilizado como músculo de referência (Borzuta et al. 2001; Van Oeckel & Warnants, 2003; Kowalsk et al., 2021).

É importante ressaltar, que devido ao seu comprimento e variação intramuscular, a localização anatômica do músculo LTL deve ser bem considerada, geralmente, esse músculo é distinguido em duas porções: *longissimus thoracis* (LT) e *longissimus lumborum* (LL) (Gap-Don et al., 2019). As propriedades biológicas e bioquímicas de cada porção anatômica deste músculo já são bem estabelecidas (LT: Borzuta et al. 2001; Kim, et al., 2013; LL: Kwasiborski et al., 2008a; Te Pas et al., 2013). Estudos também comprovaram que existem variações consideráveis de qualidade da carne ao longo do *m. longissimus thoracis et lumborum* (Van Oeckel & Warnants, 2003; Gap-Don et al., 2019). No entanto, as variações intramusculares do músculo LTL ainda não foram totalmente analisadas e esclarecidas.

Nesse caso, o entendimento das variações dos parâmetros de qualidade da carne entre as porções: LT e LL do músculo LTL, resulta em dados importantes para estabelecimento de medidas de qualidade nas diferentes regiões do músculo. Sendo assim, estudos como este, tornam-se essenciais para indústria e futuras pesquisas na área da ciência da carne.

O conceito de qualidade da carne é bastante complexo e envolve vários atributos sensoriais, como cor, maciez e suculência, principais influenciadores da aceitação do

consumidor (Grunert et al., 2014). Vários fatores influenciam a qualidade da carne, entre eles, o genótipo é um dos principais (Zheng et al., 2018).

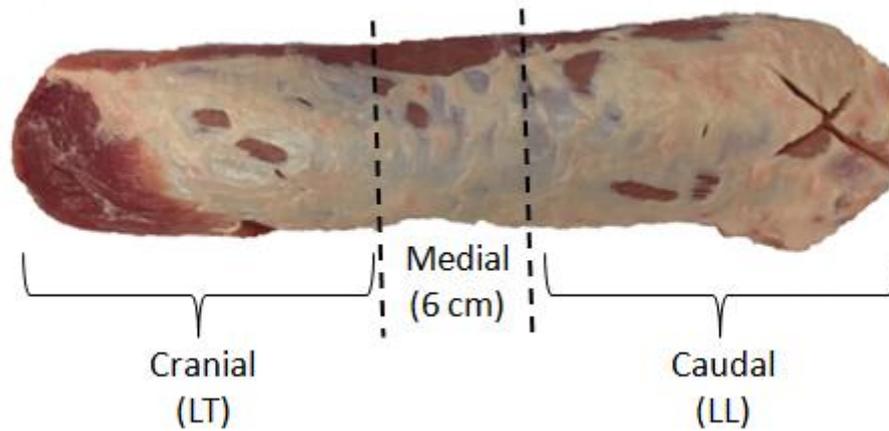
Até o momento, não há relatos se o genótipo do suíno afeta a variação na qualidade da carne ao longo do LTL. Neste contexto, questiona-se, se existe diferença na variação da qualidade da carne ao longo do LTL entre animais de diferentes genótipos. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a variação da qualidade físico-química e sensorial em diferentes porções do *m. longissimus thoracis et lumborum* de suínos de linhagens comerciais distintas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Coleta das amostras e desenho experimental

Para o estudo foram utilizadas 180 carcaças de suínos (30 carcaças por linhagem e sexo), machos castrados cirurgicamente e fêmeas, provenientes de três genótipos: Linhagem A (linha genética pura sintética compostas por Pietrain, Duroc, Large White e Landrace, com características de máxima rentabilidade, eficiência de crescimento e valor de carcaça) Linhagem B (Híbrido linhagem A x Pietrain, com características de combinação entre conformação de carcaça, eficiência de crescimento e robustez) e Linhagem C (Híbrido linhagem A x Hampshire, com características de combinação entre máxima rentabilidade, eficiência de crescimento e robustez), com idade de 168 dias e peso médio de 125 kg, abatidos em abatedouro comercial (Estado de Minas Gerais, Brasil) inspecionado pelo Serviço de Inspeção Federal.

De cada meia carcaça direita foi retirado o lombo inteiro (músculo *longissimus thoracis et lumborum*) 24 horas após o abate. O músculo *longissimus thoracis et lumborum* (LTL) foi seccionado em duas porções: *longissimus thoracis* - LT (porção cranial) e *longissimus lumborum* - LL (porção caudal). Para separação definitiva dos músculos (LT e LL) foi retirado 6 cm da porção medial de cada amostra, garantindo a presença de um único músculo por região (Figura 1). Também foram removidos os resíduos na borda de cada lombo.



**Figura 1.** Foto representativa da divisão do músculo em *longissimus thoracis* (LT) e *longissimus lumborum* (LL).

Cada músculo (LT e LL) foi subdividido do sentido cranial para o caudal, em cinco cortes de 2,5 cm de espessura para diferentes medidas de qualidade da carne. O primeiro corte foi destinado para análises de pH, coloração e composição química (umidade, gordura e proteína), o segundo corte para escore de marmoreio e composição química, o terceiro corte de cada músculo foi embalado a vácuo e armazenado a -18 °C para análise sensorial, o quarto corte foi destinado para análises de perda de peso por cocção e força de cisalhamento e o quinto corte para capacidade de retenção de água e comprimento de sarcômero. As análises físico-químicas e sensoriais da carne foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos de Origem Animal (LaOra) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus Jaboticabal, São Paulo, Brasil (21°08’S, 48°11’W, 583 m altitude).

## 2.2 Análises de qualidade da carne

O pH foi determinado em duplicata em cada músculo (LT e LL), utilizando um pHmetro digital (Testo 205, Testo Inc., Sparta, NJ, EUA), munido de eletrodo de penetração, por meio da inserção direta no músculo.

A coloração foi determinada através do colorímetro Minolta Chrome Meter modelo CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japão), que utiliza o sistema CIELAB. Foram avaliados parâmetros como luminosidade ( $L^*$ ), intensidade de vermelho ( $a^*$ ) e intensidade de amarelo ( $b^*$ ) nas duas porções do músculo *longissimus thoracis et lumborum*: cranial

(*longissimus thoracis*) e caudal (*longissimus lumborum*). A avaliação foi realizada em três pontos diferentes de cada amostra para melhor uniformidade dos resultados.

A capacidade de retenção de água foi determinada por meio da aplicação de pressão sobre o tecido muscular de acordo com a metodologia descrita por Hamm (1961). Os resultados foram expressos em porcentagem.

A perda de peso por cozimento da carne foi realizada de acordo com a metodologia descrita no Manual de Cozimento e Avaliação Sensorial da Carne (AMSA, 2015). Foi utilizado um grill (George Foreman GBZ80) para o cozimento da amostra até atingir 71°C no seu centro geométrico. A temperatura foi verificada com o auxílio de um termopar (FE-MUX, Flyever Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda., São Carlos-SP, Brasil), que fornece a temperatura de cada bife em tempo real. As amostras foram pesadas antes e após o cozimento.

A força de cisalhamento foi analisada segundo o método descrito por Wheeler et al. (2005). Foram cortados cilindros de 1,27 cm de diâmetro, os quais foram submetidos ao corte perpendicularmente à orientação das fibras musculares pelo dispositivo “Warner-Bratzler” acoplado ao texturômetro (Texture Analyser TA-XT2i, Stable Micro Systems, Godalming, UK).

A análise de comprimento de sarcômero foi realizada utilizando microscopia de contraste de fases. 0.5 g de amostra foi homogeneizado em Turrax (MA 102, Marconi, Equipamento de laboratório Ltd)) com 30mL de solução mista KCl 0.08 mol/L e KI 0.08 mol/L (50:50), em velocidade superior a 15000 rpm, por 30 segundos com o objetivo de romper as membranas celulares e facilitar a remoção das miofibrilas para suspensão. Foi depositada uma gota do homogenato em lâmina para microscópio e coberta por lamínula. Em seguida foi realizada a leitura em microscópio de contraste de fase (Novel BM2100) em ampliação de 1000x (objetiva 100x, ocular 10x).

Na composição química foi avaliada a umidade (método nº 950.46) e proteína (método nº 977.14) conforme procedimentos preconizados pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005) e Gordura pela metodologia descrita por Bligh e Dyer, (1959).

### **2.3 Análise sensorial**

A análise sensorial foi realizada com 114 provadores não treinados, que foram submetidos ao teste de aceitação em cabines de análise sensorial. As amostras foram

preparadas de acordo com a metodologia descrita no Manual de Cozimento e Avaliação Sensorial da Carne (AMSA, 2015), em grill (George Foreman GBZ80), bifes de aproximadamente 2,5 cm foram cozidos até atingirem 71°C no seu centro geométrico, em seguida, cada bife foi cortado em seis pedaços. Em cada sessão do painel sensorial foram avaliadas três amostras de carne suína (1 sexo/3 linhagens/1 região do músculo LTL), servidas aleatoriamente e codificadas com números de três dígitos. Os provadores limpavam a boca com um biscoito e água, antes de degustar cada amostra. Cada avaliador manifestou sua opinião para as amostras considerando os atributos: cor, sabor, odor, textura e aceitação global. Para o teste de aceitação foi utilizada uma escala hedônica de nove pontos, com isso os provadores atribuíram às amostras as seguintes notas: 1 - desgostei muitíssimo, 2 - desgostei muito, 3 - desgostei regularmente, 4 - desgostei ligeiramente, 5 – indiferente, 6 - gostei ligeiramente, 7 - gostei regularmente, 8 - gostei muito e 9 - gostei muitíssimo. O teste de aceitação foi realizado após análise de conformidade dos parâmetros microbiológicos estabelecidos pela legislação brasileira de coliformes totais e termotolerantes a 45°C/g (Todas as amostras apresentaram  $< 3,0 \times 10^0$  e  $< 3,0 \times 10^0$ , respectivamente); *Salmonella* spp ausente em 25g (Todas as amostras foram ausentes de *salmonella* spp); *Staphylococcus* coagulase positiva/g (Fêmeas da linhagem B –  $1,0 \times 10^3$ , demais amostras -  $< 1,0 \times 10^2$ ); bactérias mesófilas/g (Todas as amostras -  $< 1,0 \times 10^2$ ) e bactérias psicotróficas/g (Machos da linhagem A –  $2,9 \times 10^4$ ; fêmeas da linhagem A –  $1,0 \times 10^5$ ; machos da linhagem C -  $3,0 \times 10^2$ , demais amostras -  $< 1,0 \times 10^2$ ) (Brasil, 2003).

#### 2.4 Análise estatística

Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado em um trifator 3x2x2 composto por três grupos genéticos (Linhagens A, B e C), dois sexos (macho castrados cirurgicamente e fêmea) e região do músculo (*longissimus thoracis* - LT (porção cranial) e *longissimus lumborum* - LL (porção caudal)), com 30 repetições por tratamento, totalizando 360 amostras. Os dados foram analisados pelo Covtest do SAS 9.3, considerando efeito fixo sexo, grupo genético, região do músculo e interação entre todos os fatores: sexo e grupo genético, grupo genético e região do músculo e sexo e região do músculo. As médias foram ajustadas pelo Tukey a 5% de significância.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Qualidade da carne

Os resultados da qualidade física da carne entre os grupos genéticos e sexo comparados entre as diferentes regiões do músculo *longissimus thoracis et lumborum* (LTL): região cranial (*longissimus thoracis* - LT) e região caudal (*longissimus lumborum* - LL), estão representados na Tabela 1. Houve interação ( $P=0,0410$ ) entre o sexo e grupo genético para a variável de luminosidade ( $L^*$ ) (Tabela 2). As fêmeas da linhagem A apresentaram o maior valor de  $L^*$  (55,62), em relação às fêmeas da linhagem C (53,34). A linhagem C foi formada através de cruzamentos da Linhagem A com uma linha genética Hampshire. Sabe-se que apesar da raça Hampshire e seus cruzamentos, geralmente, apresentarem pH da carne mais baixo que outras raças, a cor de sua carne é caracterizada como sendo escura e vermelha (Monin, & Sellier, 1985; Ruusunen, 1994). Por outro lado, estudos anteriores relataram que fêmeas suínas apresentaram menores valores de luminosidade da carne em relação a machos castrados (Xia et al., 2022; Xie et al., 2022), além de um declínio mais rápido do pH muscular que machos suínos (Oliván et al., 2018). Sabe-se que a cor da carne é influenciada pelo pH, um rápido declínio do pH resulta em maiores valores de luminosidade na superfície da carne (Ruusunen et al., 2012). Assim, possivelmente, a linhagem teve efeito sobre o sexo, atribuindo às fêmeas da linhagem C os menores valores de  $L^*$ .

Houve interação significativa entre sexo e grupo genético; sexo e região do músculo e entre sexo, grupo genético e as diferentes regiões do músculo para variável comprimento de sarcômero (Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente). Nos resultados de interação entre sexo e grupo genético, os machos da linhagem C apresentaram maior valor de comprimento de sarcômero (1,96  $\mu\text{m}$ ) em relação às fêmeas da mesma linhagem (1,93  $\mu\text{m}$ ). Na interação entre sexo e região do músculo, os machos da região cranial apresentaram os maiores valores de comprimento de sarcômero (1,96 $\mu\text{m}$ ) que as fêmeas da mesma região (1,94 $\mu\text{m}$ ) e que os machos e as fêmeas da região caudal (1,94 $\mu\text{m}$  e 1,94 $\mu\text{m}$ , respectivamente).

Nos resultados para interação entre sexo, grupo genético e região do músculo, os machos da linhagem C da região cranial apresentaram maior comprimento de sarcômero (1,99  $\mu\text{m}$ ) em comparação com a fêmea da linhagem C e o macho da linhagem B da mesma região muscular (1,92  $\mu\text{m}$  e 1,94  $\mu\text{m}$ , respectivamente), e com os machos das linhagens A e C e a fêmea da linhagem C da região caudal (1,94  $\mu\text{m}$ , 1,93  $\mu\text{m}$  e 1,94  $\mu\text{m}$ , respectivamente).

**Tabela 1.** Valores de pH, luminosidade (L\*), intensidade de vermelho (a\*), intensidade de amarelo (b\*), capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cozimento (PPC), força de cisalhamento (FC) e comprimento de sarcômero (CS) da carne de suínos de diferentes sexos, grupos genéticos e regiões do músculo *longissimus thoracis et lumborum*: região cranial (*longissimus thoracis* (LT)) e região caudal (*longissimus lumborum* (LL)).

Variáveis	Região		Sexo		Grupo genético (GG)			EPM	P value						
	Cranial	Caudal	Macho	Fêmea	Linhagem A	Linhagem B	Linhagem C		Região	Sexo	GG	S*GG	S*R	GG*R	S*GG*R
<b>pH</b>	5,55	5,55	5,56	5,53	5,54	5,54	5,57	0,01315	0,9377	0,0536	0,1506	0,2508	0,6514	0,7945	0,5615
<b>Valor de L*</b>	55,23a	54,19b	54,66	54,76	55,04	55,05	54,04	0,5164	<b>0,0160</b>	0,8024	0,0874	<b>0,0410</b>	0,7497	0,8503	0,6197
<b>Valor de a*</b>	8,98	8,70	9,11a	8,56b	9,22	8,59	8,70	0,1698	0,2541	<b>0,0198</b>	0,0684	0,3994	0,9578	0,9598	0,9367
<b>Valor b*</b>	2,16	2,10	2,14	2,13	2,22ab	2,41a	1,76b	0,1484	0,7258	0,9493	<b>0,0060</b>	0,3401	0,9745	0,9786	0,9481
<b>CRA (%)</b>	75,88	75,52	75,48	75,91	75,66	75,65	75,78	0,4057	0,4365	0,3584	0,9698	0,3540	0,5244	0,9255	0,8858
<b>PPC (%)</b>	27,46	27,75	27,22	27,99	27,57	26,92	28,34	0,6024	0,6745	0,2621	0,2447	0,0712	0,8075	0,3603	0,5312
<b>FC (kgf)</b>	3,80b	4,15a	3,87b	4,07a	3,87b	3,82b	4,23a	0,7575	<b>&lt;.0001</b>	<b>0,0228</b>	<b>0,0002</b>	0,6031	0,2420	0,4389	0,6128
<b>CS (µm)</b>	1,95	1,94	1,95	1,94	1,94	1,95	1,94	0,0100	0,1604	0,9140	0,1770	<b>0,0110</b>	<b>0,0305</b>	0,3279	<b>0,0016</b>

Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

\*EPM = Erro padrão da média

**Tabela 2.** Desdobramento da interação entre o sexo e o grupo genético para a variável de luminosidade (L\*) e Comprimento de sarcômero.

	Sexo*Grupo genético						P-value	EPM*
	Linhagem A		Linhagem B		Linhagem C			
	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea		
<b>Valor de L*</b>	54,47aAB	55,62aA	54,76aAB	55,34aAB	54,74aAB	53,34aB	<b>0,0410</b>	0.5535

Médias seguidas por letras distintas nas linhas (minúsculas para sexo dentro do grupo genético e maiúsculas para sexo entre os grupos genéticos) diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

\*EPM = Erro padrão da média

**Tabela 3.** Desdobramento da interação entre o sexo e o grupo genético para comprimento de sarcômero.

		Sexo*Grupo genético						P-value	EPM*
		Linhagem A		Linhagem B		Linhagem C			
		Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea		
<b>Comprimento de sarcômero (<math>\mu\text{m}</math>)</b>		1,95aAB	1,94aAB	1,94aAB	1,95aAB	1,96aA	1,93bB	0,0110	0.0068

Médias seguidas por letras distintas nas linhas (minúsculas para sexo dentro do grupo genético e maiúsculas para sexo entre os grupos genéticos) diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\*EPM = Erro padrão da média

**Tabela 4.** Desdobramento da interação da qualidade química da carne entre o sexo e as diferentes regiões do músculo para variável comprimento de sarcômero.

		Sexo*Região do músculo				P-value	EPM*
		Região Cranial (LT)		Região Caudal (LL)			
		Macho	Fêmea	Macho	Fêmea		
<b>Comprimento de sarcômero (<math>\mu\text{m}</math>)</b>		1,96aA	1,94bB	1,94bB	1,94bB	0,0305	0,0055

Médias seguidas por letras distintas nas linhas (minúsculas para sexo dentro da região do músculo e maiúsculas para sexo entre as regiões do músculo) diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\*EPM = Erro padrão da média

**Tabela 5.** Desdobramento da interação entre sexo, grupo genético e as diferentes regiões do músculo *longissimus thoracis et lumborum*: região cranial (*longissimus thoracis* (LT)) e região caudal (*longissimus lumborum* (LL)) para variável comprimento de sarcômero.

	Sexo*Grupo genético*Região do músculo												EPM*	P value
	Região Cranial (LT)						Região Caudal (LL)							
	Linhagem A		Linhagem B		Linhagem C		Linhagem A		Linhagem B		Linhagem C			
	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea		
<b>Comprimento sarcômero (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	1,95AB	1,95AB	1,94B	1,95AB	1,99A	1,92B	1,94B	1,95AB	1,95AB	1,95AB	1,93B	1,94B	0,0100	0,0016

Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\*EPM = Erro padrão da média

O sexo teve influência sobre o grupo genético. Diferenças na qualidade da carne são bem documentadas entre machos castrados e fêmeas suínas (Xie et al., 2022). Essas diferenças entre os sexos podem estar associadas á alterações proteômicas na carne. Um estudo anterior mostrou que alterações proteômicas em presunto curado de suínos foram causadas pela castração de machos e fêmeas, os autores relataram que proteínas estruturais que compõe os sarcômeros foram diferencialmente alteradas pelo efeito da castração, sugerindo que o sistema de calpaína pode levar à degradação muscular diferencial entre animais castrados e inteiros, com maior atuação presente em animais castrados (López-Pedrouso et al., 2022).

As calpaínas são proteases de cisteína dependentes de cálcio, entre as formas de calpaínas, a  $\mu$ -calpaína é uma das principais responsáveis pela fragmentação miofibrilar (Oliveira et al., 2019). Desta forma, a castração animal possivelmente possui efeito na degradação estrutural de proteínas (López-Pedrouso et al., 2022). O que pode explicar o maior valor de comprimento de sarcômero apresentado pelos machos castrados da linhagem C em comparação com as fêmeas da mesma linhagem.

O maior efeito do sexo é observado na linhagem C. A ação da  $\mu$ -calpaína é influenciada pelo pH da carne (Huff-Lonergan et al., 1996). Valores ligeiramente mais baixos de pH podem ocasionar menores taxas de fragmentação miofibrilar pela enzima, devido à perda precoce da sua atuação. Isso ocorre devido a ativação precoce da  $\mu$ -calpaína em casos de declínio mais rápido de pH, o que leva a uma perda mais rápida de sua ação proteolítica (Bee et al., 2007). Como dito anteriormente, a linhagem C foi formada através de cruzamentos com uma linha genética Hampshire. É bem documentado que a raça Hampshire e seus cruzamentos, geralmente, apresentam pH final da carne mais baixo do que outras inúmeras raças (Ruusunen, 1994; Ruusune et al., 2012). Desta forma, apesar da variável pH não ter apresentado diferença estatística entre as linhagens, possivelmente, os suínos da linhagem C apresentam tendência para um declínio mais rápido de pH *post mortem* em relação aos animais das linhagens A e B, e com isso, eventualmente podem apresentar menor atividade da calpaína. Desta forma, a ação da calpaína em machos castrados da linhagem C possivelmente foi mais expressiva do que nas fêmeas da mesma linhagem.

O efeito do sexo e linhagem genética foi mais acentuado na região cranial do LTL. Em um estudo anterior variações intramusculares na qualidade da carne de suínos foram associadas à abundância diferencial do proteoma (Kim et al., 2019). Neste estudo, foi realizado análise proteômica no músculo *longissimus thoracis et lumborum*, mostrando que a região cranial (*longissimus thoracis*) do músculo apresentou abundância de proteínas chaperona (Hsp27) e miofibrilares (isoformas de cadeia pesada de miosina 1 (miosina-1), e 2 (miosina-2), cadeias leves de miosina 2 (MLC2) e 1 (rápida; MLC1f) e beta-tropomiosina (TPM2)) em relação as regiões medial e caudal (*longissimus lumborum*). Essas proteínas foram relacionadas negativamente aos valores de força de cisalhamento na região cranial, que apresentou maior maciez, mostrando menor resistência da fibra ao corte. Essa maior maciez na região cranial resultou das ações proteolíticas que envolvem essas proteínas (Lana & Zolla, 2016), o que possivelmente explica as diferenças encontradas para comprimento de sarcômero. Essas diferenças também podem explicar a menor força de cisalhamento na região cranial (3,80 kgf) em relação à região caudal (4,15 kgf), como também, a menor força de cisalhamento dos machos castrados (3,87 kgf) em comparação com as fêmeas suínas (4,07 kgf), e a maior força de cisalhamento encontrada na linhagem C (4,23 kgf) em relação às linhagens A e B (3,87 kgf e 3,82 kgf, respectivamente). É bem estabelecido que o aumento do comprimento do sarcômero melhora a maciez da carne (Smulders et al., 1990), favorecendo a redução da força de cisalhamento (Zhou et al., 2018).

Observou-se que a região cranial (LT) do músculo LTL apresentou maiores valores de L\* (55,23) em relação à região caudal (LL) (54,19). Como mencionado anteriormente, a

região cranial do LTL possui abundância de miosina-1, miosina-2, TPM2 e Hsp27, essas proteínas foram positivamente relacionadas à luminosidade ( $L^*$ ) (Kim et al., 2019). Assim, a maior quantidade dessas proteínas, possivelmente, ocasionou os maiores valores de luminosidade na região cranial.

Em relação ao sexo, os machos castrados obtiveram maiores valores de intensidade de vermelho ( $a^*$ ) (9,11) em relação às fêmeas (8,56), o que corrobora com resultados de estudos anteriores (Latorre et al., 2003; Alonso et al., 2015). A carne de machos castrados possui maior conteúdo de mioglobina do que a carne de fêmeas suínas (Cisneros et al., 1996), e é conhecido que o maior conteúdo de mioglobina na carne está intimamente relacionado com o maior valor de  $a^*$  (Bekhit & Faustman, 2005; Kim et al., 2010).

A linhagem B apresentou os maiores valores de intensidade de amarelo ( $b^*$ ) (2,41) em comparação com a linhagem C (1,76). Sabe-se que a cor da carne é influenciada pelo grupo genético (Kim et al., 2020), como também, é conhecido que cada raça e cruzamento apresenta uma grande heterogeneidade em suas características (Ruusunen, 1994). Assim, ao comparar características entre suínos comerciais, seus resultados são dependentes das raças cruzadas que são comparadas (Ruusunen et al., 2012). Desta forma, as diferenças encontradas entre as linhagens B e C para cor da carne, podem ser reflexo da variação nas características das fibras musculares e parâmetros físico-químicos da carne das raças introduzidas em cada linhagem.

A linhagem B é formada por: Linhagem A x Linha genética Pietrain e a Linhagem C que é formada pela Linhagem A x Linha genética Hampshire. Em estudos anteriores ambas as raças Pietrain e Hampshire apresentaram pH mais baixo em comparação com outras raças (Ruusunen, 1994; Ruusunen et al., 2012; Wojtysiak et al., 2016), isso ocorreu devido a um potencial glicolítico presentes nesses animais (Monin & Sellier, 1985; Wojtysiak et al., 2016). Sabe-se que o pH possui importante efeito na cor da carne (Li et al., 2013). Menores valores de pH resulta em maiores valores de luminosidade (Ruusunen et al., 2012). Desta forma, animais Pietrain demonstraram maiores valores de  $L^*$  que animais de outras raças (Wojtysiak et al., 2016). Em contraste, como dito anteriormente, apesar da raça Hampshire e seus cruzamentos, geralmente, apresentarem pH da carne mais baixo que outras raças, a cor de sua carne é caracterizada como sendo escura e vermelha (Monin, & Sellier, 1985; Ruusunen, 1994). No presente estudo não houve diferença estatística para os valores de  $L^*$  entre as linhagens, no entanto, a linhagem B obteve os maiores valores. É conhecido que o amarelecimento ( $b^*$ ) da carne é positivamente correlacionado com luminosidade (Li et al., 2013), assim, a particularidade da raça Pietrain para os valores de  $L^*$  possivelmente atribuiu aos animais da Linhagem B maiores valores de  $b^*$  em relação aos animais da linhagem C.

Tendo em vista, que a aceitação do produto e intenção de compra pelos consumidores são influenciadas pelos atributos de qualidade (Pegolo et al., 2020), e que a cor da carne é um dos principais atributos sensoriais que influencia a aceitação do consumidor (Grunert et al., 2014), torna-se de fundamental importância levar em consideração o efeito e as particularidades de cada linhagem, sexo e região do músculo na coloração da carne suína, para assim, melhor atender o mercado consumidor.

Não foi observada diferença significativa para as interações: sexo e região do músculo; grupo genético e região do músculo e sexo, grupo genético e região do músculo para nenhuma das variáveis de qualidade física da carne.

Houve diferença estatística para conteúdo de proteína entre os sexos (Tabela 6). Os machos castrados obtiveram os maiores valores de proteína (24,72%) em comparação com as fêmeas (23,63%). Foram encontrados resultados conflitantes na literatura para o conteúdo de proteína na carne, entre machos castrados e fêmeas suínas. A maioria dos estudos relata maior conteúdo de proteína na carne de fêmeas suínas em relação a machos castrados (Latorre et al., 2004, Weatherup et al., 1998; Correa et al., 2006). Enquanto outros, não encontraram diferença significativa para a quantidade de proteínas na carne suína entre machos castrados e fêmeas (Paredi et al., 2019).

Em contraste a estes estudos, um estudo anterior mostrou que os suínos machos castrados apresentaram maior concentração de proteína na carne que as fêmeas (Kwasiborski et al., 2008b), corroborando com os resultados da presente pesquisa. No estudo, com base em uma análise proteômica do músculo *Longissimus lumborum* foi relatado que maiores níveis de proteínas miofibrilares, como a actina e isoformas de proteínas da cadeia leve de miosina 2, atribuíram aos machos castrados um aumento na extraibilidade dessas proteínas. Isso ocorreu porque a força iônica utilizada para extração das proteínas no estudo, apresentou uma extração limitada do complexo de actomiosina em relação às proteínas de actina e miosina não complexadas, devido a pouca solubilidade apresentada pelo complexo.

O complexo actomiosina é formado mediante a presença de  $\text{Ca}^{2+}$  intracelular (Gordon et al., 2000). Os níveis intracelulares de  $\text{Ca}^{2+}$  aumentam com a presença de estradiol e testosterona (Estrada et al., 2006, Rubio-Gayosso et al., 2000). Assim, os autores afirmaram que a ausência de testosterona em machos castrados explica os níveis mais baixos do  $\text{Ca}^{2+}$  em relação às fêmeas do estudo. Desta forma, variações na qualidade da carne suína, como o conteúdo de proteína, entre machos castrados e fêmeas podem estar associadas a alterações proteômicas (López-Pedrouso et al., 2022). No entanto, na presente pesquisa foi utilizado método de quantificação de proteína diferente do método usado no estudo citado (Kwasiborski et al., 2008b).

**Tabela 6.** Valores de proteína, gordura e umidade da carne de suínos de diferentes sexos, grupos genéticos e regiões do músculo *longissimus thoracis et lumborum*: região cranial (*longissimus thoracis* (LT)) e região caudal (*longissimus lumborum* (LL)).

Variáveis	Região		Sexo		Grupo genético (GG)			EPM*	P value						
	Cranial	Caudal	Macho	Fêmea	Linhagem A	Linhagem B	Linhagem C		Região	Sexo	GG	S*GG	S*R	GG*R	S*GG*R
<b>Proteína (%)</b>	24,32	24,03	24,72a	23,63b	24,31	24,05	24,17	0,1510	0,1810	<.0001	0,6114	0,2133	0,2133	0,8481	0,5011
<b>Gordura (%)</b>	3,17	3,07	3,21	3,02	3,23	3,08	3,04	0,1053	0,3834	0,1191	0,3936	0,7080	0,5879	0,6445	0,5816
<b>Umidade (%)</b>	70,28b	70,71a	70,63	70,62	70,41	70,77	70,71	0,2456	0,0004	0,9525	0,2838	0,0551	0,7220	0,2512	0,0664

Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

\*EPM = Erro padrão da média

Houve diferença significativa entre as regiões para umidade. A região cranial apresentou menor umidade (70,28%) em relação à região caudal (70,71%). Sendo o principal constituinte da carne, a água representa aproximadamente 75% do peso da carne (Borisova & Oreshkin, 1992; Schäfer et al., 2002). Assim, apesar da região cranial apresentar maior umidade que a região caudal, a porcentagem de umidade apresentada entre as regiões é considerada normal para o músculo LTL de suínos (Li et al., 2013). Não houve diferença estática entre os sexos, grupos genéticos e regiões do músculo, como também, nenhuma interação para gordura.

### 3.1 Análise sensorial

Os resultados da análise sensorial entre diferentes grupos genéticos e sexos, em que também foram comparados diferentes regiões do músculo *longissimus thoracis et lumborum* (LTL): região cranial (*longissimus thoracis*) e região caudal (*longissimus lumborum*), estão representados na Tabela 7. Não houve diferença estatística nas interações para nenhuma das variáveis sensoriais. Por outro lado, a região caudal (LL) do músculo LTL apresentou as melhores pontuações para as variáveis: aparência, sabor e aceitação da carne (6,80, 7,18 e 7,07, respectivamente) em comparação com a região cranial (LT) (6,50, 6,64 e 6,83, respectivamente). Essas diferenças podem ser explicadas pelas variações apresentadas na qualidade físico-química da carne entre as diferentes regiões do LTL. Os resultados do presente estudo mostram que a região caudal apresenta menores valores de  $L^*$  e maiores valores de força de cisalhamento e umidade que a região cranial.

Para os consumidores, a maciez e a suculência, são os parâmetros de qualidade sensorial da carne mais influentes na avaliação de sua experiência alimentar da carne suína (Enfält et al., 1997). No entanto, apesar das diferenças encontradas entre as regiões para força de cisalhamento, não houve diferença significativa para as pontuações de textura entre LT e LL. Isso significa que a maioria dos provadores não observou diferenças sensoriais para a maciez das amostras de ambas as regiões do LTL, as quais apresentaram boa aceitação para a textura da carne, de acordo com as pontuações, que foram entre 6 (gostei ligeiramente) e 7 (gostei regularmente).

Também é importante ressaltar, que apesar das diferenças estatísticas encontradas para umidade entre as diferentes regiões do LTL, a porcentagem apresentada entre as regiões foi considerada normal para o músculo LTL de suínos (Li et al., 2013). Assim, possivelmente, a diferença instrumental para maciez da carne, como as diferenças nos valores de umidade apresentada entre as regiões, não influenciaram as pontuações e a aceitação das amostras pelos provadores. Em contraste, os valores de luminosidade ( $L^*$ ) da carne são negativamente correlacionados com o sabor e a aceitabilidade (Cameron et al., 1990). O que pode explicar as maiores pontuações da região caudal para sabor e aceitação, uma vez que essa região apresentou menor valor de  $L^*$ , demonstrando ter uma menor luminosidade que a região cranial.

A cor da carne é uma das principais características que influenciam a aceitação do consumidor (Grunert et al., 2014) e suas decisões de compra (Mancini & Hunt, 2005). Sendo assim, os valores de luminosidade, possivelmente, também influenciaram as pontuações para aparência da carne pelos provadores, atribuindo as melhores notas para a região caudal.

**Tabela 8.** Análise sensorial da carne de suínos de diferentes sexos e grupos genéticos da carne de suínos de diferentes sexos, grupos genéticos e regiões do músculo *longissimus thoracis et lumborum*: região cranial (*longissimus thoracis* (LT)) e região caudal (*longissimus lumborum* (LL)).

Variáveis	Região		Sexo		Grupo genético (GG)			EPM*	P value						
	Cranial	Caudal	Macho	Fêmea	Linhagem A	Linhagem B	Linhagem C		Região	Sexo	GG	S*GG	S*R	GG*R	S*GG*R
<b>Aparência</b>	6,50b	6,80a	6,57	6,60	6,53	6,62	6,61	0,06084	0,0045	0,7421	0,6288	0,5995	0,8008	0,5339	0,2609
<b>Aroma</b>	6,80	6,98	6,71	6,61	6,60	6,75	6,63	0,06093	0,2166	0,2202	0,3419	0,6547	0,5435	0,6879	0,7393
<b>Sabor</b>	6,64b	7,07a	6,71	6,64	6,59	6,70	6,73	0,06536	<.0001	0,4539	0,4340	0,2552	0,5697	0,3899	0,7904
<b>Textura</b>	6,92	7,12	6,81	6,65	6,67	6,76	6,76	0,06269	0,1238	0,0683	0,6407	0,5742	0,4404	0,6383	0,5271
<b>Aceitação</b>	6,83b	7,18a	7,09a	6,92b	6,93	7,02	7,07	0,05709	<.0001	0,0368	0,3437	0,4033	0,2722	0,6885	0,4322

Médias seguidas por letras distintas (nas linhas) diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

\*EPM = Erro padrão da média

Em relação ao sexo, a carne dos machos teve melhor aceitação (7,09) que a carne das fêmeas (6,92). Como dito anteriormente, a maciez e a suculência são os parâmetros de qualidade sensorial mais influentes para os consumidores durante uma experiência alimentar de carne suína (Enfält et al., 1997). Assim, apesar do presente estudo não ter apresentado diferença estatística para as variáveis sensoriais entre os sexos, os machos castrados apresentaram as maiores pontuações para aroma, sabor e textura (6,71, 6,71 e 6,81, respectivamente) em relação às fêmeas (6,61, 6,64 e 6,65, respectivamente).

Essa avaliação dos provadores, provavelmente, atribuiu à carne de machos castrados maior aceitação geral pelo painel sensorial que a carne de fêmeas. No entanto, é importante considerar que apesar das diferenças apresentadas entre as regiões do músculo LTL para aparência, sabor e aceitação e entre os sexos para aceitação da carne, a média de todas as notas destas variáveis analisadas no painel sensorial foram entre 6 e 7. Mostrando, que os provadores gostaram ligeiramente e regularmente das amostras de carne, ou seja, tiveram uma boa aceitação pelo painel sensorial, independente das preferências existentes entre os provadores.

Não houve diferença estatística entre os grupos genéticos para nenhuma das variáveis analisadas, isto indica que, possivelmente, o consumidor não seja capaz de perceber diferenças sensoriais entre as carnes das linhagens em estudo. O que é visto de forma positiva para indústria e consumidores, já que as notas demonstraram boa aceitação para as carnes de todas as linhagens comerciais. Esse resultado da avaliação sensorial entre as linhagens pode ser o reflexo das melhorias na qualidade da carne, aplicadas em programas de melhoramento genético para suínos comerciais. Assim, os novos objetivos de criação de suínos, certamente vêm atendendo às expectativas de um mercado consumidor que visa a qualidade da carne (Lowell et al., 2019).

#### **4. CONCLUSÃO**

Variações intramusculares da qualidade físico-química e sensorial da carne foram encontradas no músculo LTL suíno. A região cranial (LT) é mais clara, mais macia e possui menor umidade, já a região caudal (LL) apresentou melhor aceitação e qualidade sensorial. Também foram encontradas diferenças na qualidade da carne entre os sexos. Assim, conclui-se que o sexo e região anatômica do músculo, influenciam a variação da qualidade físico-química e sensorial da carne ao longo do músculo LTL. Por outro lado, o genótipo suíno influencia apenas a variação da qualidade físico-química da carne, e não a sua qualidade sensorial ao longo do músculo LTL. O que possivelmente, é reflexo das melhorias na qualidade da carne, aplicadas nos programas de melhoramento genético para suínos comerciais, já que as carnes apresentaram boa aceitação pelo painel sensorial, o que favorece o mercado consumidor, e por sua vez, a indústria suinícola.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, V., Muela, E., Gutiérrez, B., Calanche, J. B., Roncalés, P., & Beltrán, J. A. (2015). The inclusion of Duroc breed in maternal line affects pork quality and fatty acid profile. *Meat Science*, 107, 49–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.04.011>
- AMSA - American Meat Science Association. (2015). Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat. 2 ed. Champaign, p.19.
- AOAC. (2005). ‘Official methods of analysis.’ 18th edn. (*Association of Analytical Chemists: Washington, DC*).
- Bee, G., Anderson, A. L., Lonergan, S. M., & Huff-Lonergan, E. (2007). Rate and extent of pH decline affect proteolysis of cytoskeletal proteins and water-holding capacity in pork. *Meat Science*, 76, 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.12.004>
- Bekhit, A. E. D., & Faustman, C. (2005). Metmyoglobin reducing activity. *Meat Science*, 71, 407-439. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.032>
- Bligh, G. E., & Dyer, J. W. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37, 911–917.
- Borisova, M. A., & Oreshkin, E. F. (1992). On the water conditions in pork meat. *Meat Science*, 31, 257-265. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(92\)90056-A](https://doi.org/10.1016/0309-1740(92)90056-A)
- Borzuta, K., Strzelecki, J., Grzeskowiak, E., Lisiak, D., & Wichlacz, H. (2001). Quantitative share and topographic distribution of PSE meat in pork carcass. *In Proceedings 47th ICoMST, Kraków, Poland*. 1,196–197.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2003). Instrução normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003. Oficializar os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água. *Secretaria de Defesa Agropecuaria, Brasil*, 1-194.
- Cameron, N. (1990). Genetic and phenotypic parameters for carcass traits, meat and eating quality traits in pigs. *Livestock Production Science*, 26, 119–135. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(90\)90061-A](https://doi.org/10.1016/0301-6226(90)90061-A)
- Cisneros, F., Ellis, M., McKeith, F. K., McCaw, J., & Fernando, R. L. (1996). Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *Journal of Animal Science*, 74, 925-933. <https://doi.org/10.2527/1996.745925x>
- Correa, J. Á., Faucitano, L., Laforest, J. P., Rivest, J., Marcoux, M., Gariépy, C. (2006). Effects of slaughter weight on carcass composition and meat quality in pigs of two

- different growth rates. *Meat Science*, 72, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.06.006>
- Enfält, A.-C. Lundström, K., Hansson, I., Lundeheim, N., & Nyström, P.-E. (1997). Effects of outdoor rearing and sire breed on carcass composition and sensory and technological meat quality. *Meat Science*, 45, 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(96\)00101-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(96)00101-5)
- Estrada, M., Varshney, A., & Ehrlich, B.E. (2006). Elevated testosterone induces apoptosis in neuronal cells. *Journal of Biological Chemistry*, 281, 25492-25501. <https://doi.org/10.1074/jbc.M603193200>
- Gap-Don, K., Jin-Yeon, J., Han-Sul, Y., & Sun, J. H. (2019). Differential abundance of proteome associated with intramuscular variation of meat quality in porcine longissimus thoracis et lumborum muscle. *Meat Science*, 149, 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.012>
- Gordon, A.M., Homsher, E., & Regnier, M. (2000). Regulation of contraction in striated muscle. *Physiological Reviews*, 80(2), 853-924. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.2.853>
- Grunert, K. G., Hieke, S., & Wills., J. (2014). Sustainability labels on food products: consumer motivation, understanding and use. *Food Policy*, 44, 177-189.
- Hamm, R. (1961). Biochemistry of meat hydration. *Advances in Food Research*, 10, 355-463.
- Huff-Lonergan, E. Mitsuhashi, T., Beekman, D. D., Parrish Jr., F. C., Olson, D. G., & Robson, R. M. (1996). Proteolysis of specific muscle structural proteins by  $\mu$ -calpain at low pH and temperature is similar to degradation in postmortem bovine muscle. *Journal of Animal Science*, 74, 993-1008. <https://doi.org/10.2527/1996.745993x>
- Kim, G. D., Ryu, Y. C., Jeong, J. Y., Yang, H. S., & Joo, S. T. (2013). Relationship between pork quality and characteristics of muscle fibers classified by the distribution of myosin heavy chain isoforms. *Journal of Animal Science*, 91, 5525-5534.
- Kim, G. D., Jeong, J. Y., Hur, S. J., Yang, H. S., Jeon, J. T., & Joo, S. T. (2010). The relationship between meat color (CIE L\* and a\*), myoglobin content, and their influence on muscle fiber characteristics and pork quality. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 30, 626-633. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2010.30.4.626>
- Kim, G.-D., Jeong, J.-Y., Yang, H.-S., & Hur, S. J. (2019). Differential abundance of proteome associated with intramuscular variation of meat quality in porcine

- longissimus thoracis et lumborum muscle. *Meat Science*, 149, 85–95.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.012>
- Kim, J. A., Cho, E. S., Jeong, Y. D., Choi, Y. H., Kim, Y. S., Choi, J. w., Kim, J. S., Jang, A., Hong, J. K., & Sa, S. J. (2020). The effects of breed and gender on meat quality of Duroc, Pietrain, and their crossbred. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(3), 409-419. <https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.3.409>
- Konhilas, J. P., Irving, T. C., & Tombe, P. P. (2002). Length-dependent activation in three striated muscle types of the rat. *Journal of Physiology*, 544, 225-236.
- Kowalski, E., Aluwé, M., Vossen, E., Millet, S., Ampe, B., & De Smet, S. (2021). Quality characteristics of fresh loin and cooked ham muscles as affected by genetic background of commercial pigs. *Meat Science*, 172, 108352.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108352>
- Kwasiborski, A., Sayd, T., Chambon, C., Santé-Lhoutellier, V., Rocha, D., & Terlouw, C. (2008a). Pig longissimus lumborum proteome: Part II: Relationships between protein content and meat quality. *Meat Science*, 80, 982-996.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.04.032>
- Kwasiborski, A., Sayd, T., Chambon, C., Santé-Lhoutellier, V., Rocha, D., & Terlouw, C. (2008b). Pig Longissimus lumborum proteome: Part I: Effects of genetic background, rearing environment and gender. *Meat Science*, 80(4), 968-981.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.04.028>
- Lana, A., & Zolla, L. (2016). Proteolysis in meat tenderization from the point of view of each single protein: A proteomic perspective. *Journal of Proteomics*, 147, 85-97.  
<https://doi.org/10.1016/j.jprot.2016.02.011>
- Latorre, M. A., Lázaro, R., Gracia, M. I., Nieto, M., & Mateos, G. G. (2003). Effect of sex and terminal sire genotype on performance, carcass characteristics, and meat quality of pigs slaughtered at 117 kg body weight. *Meat Science*, 65, 1369–1377.  
[https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00059-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00059-7)
- Latorre, M. A., Lázaro, R., Valencia, D. G., Medel, P., Mateos, G. G. (2004). The effects of sex and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *Journal of Animal Science*, 82, 526-533.  
<https://doi.org/10.1093/ansci/82.2.526>
- Lebret, B., & Čandek-Potokar, M. (2022). Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part I. Carcass and fresh meat. *Animal*, 16(1), 100402.  
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100402>

- Li, Y. X., Cabling, M. M., Kang, H. S., Kim, T. S., Yeom, S. C., Sohn, Y. G., Kim, S. H., Nam K. C., Seo, K. S. (2013). Comparison and Correlation Analysis of Different Swine Breeds Meat Quality. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(7), 905-910. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12622>
- Lopez-Pedrouso, M., Lorenzo, J. M., Pérez-Ciria, L., Ripoll, G., Latorre, M. A., & Franco, D. (2022). A proteomic approach for in-depth characterization and understanding the impact of immunocastration on dry-cured ham of male and female pigs. *Food Research International*, 154, 111020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111020>
- Lowell, J. E., Schunke, E. D., Harsh, B. N., Bryan, E. E., Stahl, C. A., Dilger, A. C., & Boler, D. D. (2019). Growth performance, carcass characteristics, fresh belly quality, and commercial bacon slicing yields of growing-finishing pigs from sire lines intended for different industry applications. *Meat Science*. 154, 96-108. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.010>
- Mancini, R. A. & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 100–121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
- McDonald, K. S., Wolff, M. R., & Moss, R. L. (1997). Sarcomere length dependence of the rate of tension redevelopment and submaximal tension in rat and rabbit skinned skeletal muscle fibres. *Journal of Physiology*, 501, 607-621.
- Monin, G., & Sellier, P. (1985). Pork of low technological quality with normal rate of muscle pH fall in the immediate post-mortem period: The case of the Hampshire breed. *Meat Science*, 13, 49-63. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(85\)80004-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(85)80004-8)
- Olivána, M., González, J., Bassols, A., Díaz, F., Carreras, R., Mainau, E., Arroyo, L., Peña, R., Potes, Y., Coto-Montes, A., Hollunge, K., Velarde, A. (2018). Effect of sex and RYR1 gene mutation on the muscle proteomic profile and main physiological biomarkers in pigs at slaughter. *Meat Science*, 141, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.018>
- Oliveira, L. G., Delgado, E. F., Steadham, E. M., Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2019). Association of calpain and calpastatin activity to postmortem myofibrillar protein degradation and sarcoplasmic proteome changes in bovine Longissimus lumborum and Triceps brachii. *Meat Science*, 155, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.015>
- Paredi, G., Moria, F., Marino, M. G., Raboni, S., Marchi, L., Galati, S., Buschini, A., Fiego, D. P. L., & Mozzarelli, A. (2019). Is the protein profile of pig Longissimus dorsi affected by gender and diet?. *Journal of Proteomics*, 206, 103437. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2019.103437>

- Pegolo, S., Cecchinato, A., Savoia, S., Di Stasio, L., Pauciullo, A., Brugiapaglia, A., Bittante, G., & Albera, A. (2020). Genome-wide association and pathway analysis of carcass and meat quality traits in Piemontese young bulls. *Animal*, 14, 243-252. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001812>
- Rubio-Gayosso, I., Sierra-Ramirez, A., Garcia-Vasquez, A., Martinez-Martinez, A., Munoz-Garcia, O., Morato, T., & Ceballos-Reyes, G. (2000). 17- $\beta$ -Estradiol increases intracellular calcium concentration through a short-term and nongenomic mechanism in rat vascular endothelium in culture. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 36(2), 196-202.
- Ruusunen, M. (1994). *Muscle histochemical properties of different pig breeds in relation to meat quality*. Diss. EKT-series 968, University of Helsinki. Department of Food Technology, 77, 4.
- Ruusunen, M., Puolanne, E., Sevon-Aimonen, M.-L., Partanen, K., Voutilainen, L. & Niemi, J. (2012) Carcass and meat quality traits of four different pig crosses. *Meat Science*, 90, 543–547. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.09.010>
- SAS Institute. (2002). User's guide: Statistics. Release 9.1. SAS Institute Inc, Cary, NC.
- Schäfer, A., Rosenvold, K., Purslow, P. P., Andersen, H. J., & Henckel, P. (2002). Physiological and structural events post mortem of importance for drip loss in pork. *Meat Science*, 61, 355-366. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00205-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00205-4)
- Smulders, F. J. M., B. B. Marsh, D. R. Swartz, R. L. Russell, & M. E. Hoenecke. (1990). Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Science*, 28, 349–363. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(90\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0309-1740(90)90048-B)
- Te Pas, M. F. W., Kruijt, L., Pierzchala, M., Crump, L. E., Boeren, S., Keuning, E., et al. (2013). Identification of proteomic biomarkers in M. Longissimus dorsi as potential predictors of pork quality. *Meat Science*, 95, 679-687.
- Van Oeckel, M. J., & Warnants, N. (2003). Variation of the sensory quality within the m. longissimus thoracis et lumborum of PSE and normal pork. *Meat Science*, 63, 293-299. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00085-2](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00085-2)
- Weatherup, R. N., Beattie, V. E., Moss, B. W., Kilpatrick, D. J., & Walker, N. (1998). The effects of increasing slaughter weight on the production performance and meat quality of finishing pigs. *Animal Science*, 67, 591-600.
- Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., & Koohmaraie, M. (2005). *Shear Force Procedures for Meat Tenderness Measurement*. Roman L. Hruska U. S. Meat Animal Research Center. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. Clay Center, p.6.

- Wojtysiak, D., Gorska, M., & Wojciechowska, J. (2016). Muscle fibre characteristics and physico-chemical parameters of m. semimembranosus from Puławska, Polish Large White and Pietrain pigs. *Folia Biologica*, 64, 197-204. [https://doi.org/10.3409/fb64\\_3.197](https://doi.org/10.3409/fb64_3.197)
- Xia, J. Q., Liu, D. Y., Liu, J., Jiang, X. P., Wang, L., Yang, S., & Liu, D. (2022). Sex effects on carcass characteristics, meat quality traits and meat amino acid and fatty acid compositions in a novel Duroc line pig. *Journal Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1–7. <https://doi.org/10.1111/jpn.13680>
- Xie, L., Qin, J.-t., Rao, L., Cui, D.-s., Tang, X., Xiao, S.-j., Zhang, Z.-y., & Huang, L.-s. (2022) Effects of carcass weight, sex and breed composition on meat cuts and carcass trait in finishing pigs. *Journal of Integrative Agriculture*, <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.122>
- Zheng, M., Huang, Y., Ji, J., Xiao, S., Ma, J., & Huang, L. (2018). Effects of breeds, tissues and genders on purine contents in pork and the relationships between purine content and other meat quality traits. *Meat Science*. 143, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.022>
- Zhou, C-Y., Y. Wang, P. Dao-Dong, S. Yang-Ying, & J-X. Cao. (2018). The effect of ATP marination on the depolymerization of actin filament in goose muscles during postmortem conditioning. *Poultry Science*, 97, 684–694. <https://doi.org/10.3382/ps/pex318>

