



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

Centro de Ciências Agrárias

Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos

Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos

**AVALIAÇÃO BIOQUÍMICA E ESTRUTURAL DE CARNES DE
FRANGO *WOODEN BREAST* E APLICAÇÃO EM
PRODUTOS CÁRNEOS**

BRUNA CAROLINE GERONIMO

Londrina
2021

BRUNA CAROLINE GERONIMO

**AVALIAÇÃO BIOQUÍMICA E ESTRUTURAL DE CARNES DE
FRANGO *WOODEN BREAST* E APLICAÇÃO EM
PRODUTOS CÁRNEOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, nível Doutorado, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutora em Ciência de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Lourenço Soares

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

G377 Geronimo, Bruna Caroline.
AVALIAÇÃO BIOQUÍMICA E ESTRUTURAL DE CARNES DE FRANGO WOODEN BREAST E APLICAÇÃO EM PRODUTOS CÂRNEOS / Bruna Caroline Geronimo. - Londrina, 2021.
114 f. : il.

Orientador: Profa. Dra. Adriana Lourenço Soares.
Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Análise sensorial - Tese. 2. Anomalia - Tese. 3. Degeneração - Tese. 4. Piridinolina - Tese. I. Soares, Profa. Dra. Adriana Lourenço . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. III. Título.

CDU 641.1

BRUNA CAROLINE GERONIMO

**AVALIAÇÃO BIOQUÍMICA E ESTRUTURAL DE CARNES DE FRANGO *WOODEN*
BREAST E APLICAÇÃO EM PRODUTOS CÁRNEOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, nível Doutorado, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutora em Ciência de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Lourenço
Soares Russo
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Profa. Dra. Marta Suely Madruga
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Profa. Dra. Cristiane Canan
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná -Campus Medianeira

Profa. Dra. Elza louko Ida
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Alexandre Oba
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 21 de setembro de 2021.

*A Deus pelo dom da vida e por me conceder a graça
de vivenciar mais este sonho!*

*Aos meus pais, José Luiz e Maria de Lourdes, pelo
amor incondicional, por sempre acreditarem em
meus sonhos e pelo apoio em todos os momentos.*

*À minha irmã, Cíntia, por toda parceria, incentivo
e amizade.*

*Ao meu esposo, Henrique, pelo companheirismo,
amor e por acreditar e apoiar os meus sonhos!*

A vocês dedico!

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Profa. Dra. Adriana Lourenço Soares pela preciosa orientação, incentivo, ensinamentos e pelo grande exemplo de profissionalismo.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa para desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos pela confiança e condições oferecidas para desenvolvimento deste trabalho.

Aos docentes do Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência de Alimentos pelos valiosos ensinamentos e ajuda dispensada.

À Profa. Dra. Sandra Helena pelo auxílio no planejamento e desenvolvimento da análise sensorial.

À Lar Cooperativa Agroindustrial de Rolândia/PR e JAGUAFRANGOS de Jaguapitã/PR pela disponibilização das amostras cárneas e a todos os funcionários que auxiliaram na coleta.

À profa Dra. Margarida Masami Yamaguchi da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Londrina/PR) pela disponibilização do laboratório, pelos ensinamentos e acompanhamento na elaboração de produtos cárneos.

Ao grupo de carnes, pela amizade e grande auxílio na parte experimental, pelo auxílio nas coletas, trabalho em equipe, companheirismo e crescimento pessoal.

Às alunas de Iniciação Científica, em especial à Rebeca Katagiri pela amizade e apoio no desenvolvimento do trabalho.

À minha família por sempre me apoiar e incentivar os meus estudos, por estar ao meu lado mesmo na distância, pelo amor incondicional, por serem meus maiores e melhores exemplos de vida.

À Deus por sempre me fortalecer, proteger e iluminar em todos os momentos.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram com o desenvolvimento deste trabalho!

GERONIMO, Bruna Caroline. **Avaliação bioquímica e estrutural de carnes de frango *wooden breast* e aplicação em produtos cárneos**. 2021. 114 fls. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

Resumo

O *wooden breast* (*WB*), anomalia associada ao rápido crescimento das aves, compromete o *pectoralis major* de frangos de corte, caracterizado principalmente por dureza palpável, presença de áreas pálidas, protuberância na região caudal e cranial e presença de pequenas hemorragias. Assim, o presente estudo teve como objetivo investigar parâmetros bioquímicos, estruturais e tecnológicos de filés *WB*, avaliar a aceitação dos consumidores e aplicar estes filés na elaboração de produtos cárneos. Os filés de frango foram caracterizados quanto a composição química aproximada, medida de cor e pH, dimensões, perda por cozimento, capacidade de retenção de água (CRA), força de cisalhamento, quantificação do teor de colágeno (total e solúvel), ligações cruzadas do colágeno (piridinolinas), caracterização do perfil de aminoácidos, análise sensorial (teste de comparação pareada direcional, aceitação e intenção de compra) e aplicação em hambúrguer e mortadela de frango. Foram observadas alterações nas dimensões dos filés *WB* como aumento de 24,50% e 87,21% da altura da região cranial e caudal, respectivamente. Filés *WB* também apresentaram uma redução da CRA com conseqüente aumento da perda por cozimento, um aumento do valor de pH, luminosidade e conteúdo de umidade e lipídios, e redução no conteúdo de proteínas e cinzas. Além disso, os resultados indicaram que a bioquímica do colágeno está diretamente relacionada com o desenvolvimento do *WB*, havendo um aumento de 17,32% de colágeno total e diminuição de 30,96% de piridinolinas, ou seja, menor número de ligações cruzadas do colágeno. A incidência da anomalia refletiu diretamente em filés com uma baixa aceitação e 56,6% dos consumidores afirmaram que certamente/possivelmente não comprariam este filé. Os principais defeitos apontados para o *WB* foram presença pronunciada de estrias, aspecto gorduroso, aparência de carne dura e de difícil preparo, cor não uniforme e abaulamento, resultados indicam o quanto o consumidor está atento às variações no padrão de qualidade dos filés de frango comercializados. Histologicamente, foi possível observar comprometimento das fibras musculares em todas os filés avaliados, inclusive naqueles filés visualmente considerados normais. Foi identificado maior fibroplasia, processo inflamatório e resíduo de fibras necróticas em filés *WB*. Simultaneamente, a incidência da anomalia refletiu diretamente na composição dos aminoácidos, indicando a presença de degeneração das fibras musculares, stress oxidativo, alterações no metabolismo de glicose e lipídios e ocorrência de processos inflamatórios. Para elaboração de hambúrgueres e mortadelas, apresentou estabilidade dos parâmetros tecnológicos e sem comprometimento do rendimento e parâmetros de qualidade. Assim, a destinação de filés *WB* na elaboração de produtos cárneos pode ser uma excelente alternativa comercial para reduzir os impactos econômicos gerados ao setor.

Palavras-chave: análise sensorial, anomalia, degeneração, histologia, piridinolinas.

GERONIMO, Bruna Caroline. **Biochemical and structural evaluation of wooden breast chicken meat and application in meat products.** 2021. 114 fls. Tesis (Doctorate in Food Science) – State University of Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

The *wooden breast (WB)*, an anomaly associated with the rapid growth of chickens, affects the pectoralis major of broilers, mainly characterized by palpable hardness, presence of pale areas, a bulge in the caudal and cranial region, and the presence of small hemorrhages. Thus, this study aimed to investigate biochemical, structural, and technological parameters of *WB* fillets, assess consumer acceptance, and apply these fillets in the preparation of meat products. The chicken fillets were characterized for approximate chemical composition, color and pH measurement, dimensions, cooking loss, water holding capacity (WHC), shear force, quantification of collagen content (total and soluble), cross-linking of collagen (pyridinolines), characterization of the amino acid profile, sensory analysis (directional paired comparison, acceptance, and purchase intention) and application in chicken hamburger and mortadella. Changes in the dimensions of the *WB* fillets were observed, such as an increase of 24.50% and 87.21% in the height of the cranial and caudal regions, respectively. *WB* fillets also showed a reduction in WHC, with a consequent increase in cooking loss, an increase in pH value, luminosity and moisture and lipid content, and a reduction in protein and ash content. In addition, the results indicated that the collagen biochemistry is directly related to the development of *WB*, with an increase of 17.32% in total collagen and a decrease of 30.96% in pyridinolines, which is, a lower number of cross-links of the collagen. The incidence of the anomaly was directly reflected in fillets with a low acceptance, and 56.6% of consumers declared that they certainly/possibly would not buy this fillet. The main problems mentioned for *WB* were the strong presence of stripes, fatty aspect, tough meat appearance, difficult preparation, non-uniform color, and bulging. All observations indicate how much the consumer is aware of the variations in the standard of quality of chicken breasts, corroborating the results observed. Histologically, it was possible to observe impairment of muscle fibers in all the fillets evaluated, including those that were visually considered normal. Greater fibroplasia, inflammatory process, and residue of necrotic fibers were identified in *WB* fillets. Simultaneously, the incidence of the anomaly reflected directly on the amino acid composition, indicating the presence of degeneration of muscle fibers, oxidative stress, alterations in glucose and lipid metabolism, and the occurrence of inflammatory processes. To the preparation of hamburgers and bologna, it showed stability of technological parameters and without compromising yield and quality parameters. Thus, the destination of *WB* fillets in the preparation of meat products can be an excellent commercial alternative to reduce the economic impacts generated in the sector.

Keywords: sensorial analysis, anomaly, degeneration, histology, pyridinolines

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1. Biochemical and technological characteristics of wooden breast chicken fillets and their consumer acceptance

TABLE 1. Physical, chemical and technological parameters in normal and <i>WB</i> chicken fillets.....	66
TABLE 2. Approximate centesimal composition of normal and <i>WB</i> fillets.	66
TABLE 3. Total, soluble and pyridinoline collagen in normal and <i>WB</i> chicken fillets.	67
TABLE 4. Acceptance and purchase intention of normal chicken fillets and <i>WB</i> through pictures taken individually.	67

ARTIGO 2. Filés de frango *wooden breast*: alterações morfológicas das fibras musculares e do perfil de aminoácido e viabilidade de uso na elaboração de produtos cárneos

TABELA 1. Escores médios considerando a degeneração/necrose (a), fibroplasia (b), inflamação (c) em filé <i>WB</i> e normal.....	100
TABELA 2. Análise do perfil de aminoácidos, resultados em g/100g de proteína ..	101
TABELA 3. Composição química aproximada dos hambúrgueres e mortadelas elaboradas com filés normais e com <i>WB</i>	102
TABELA 4. Rendimento de cocção (%) e encolhimento (%) dos hambúrgueres elaborados com filé normal e com <i>WB</i> durante o período de armazenamento	102
TABELA 5. Cor (L^* , a^* e b^*) dos hambúrgueres elaborados com filé normal e com <i>WB</i> armazenados a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1, 30, 60 e 90 dias.....	103
TABELA 6. Cor (L^* , a^* e b^*) das mortadelas elaboradas com filé normal e com <i>WB</i> armazenados a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1, 30, 60 e 90 dias.....	104
TABELA 7. Valores de pH, atividade de água e capacidade de retenção de água (CRA) para os hambúrgueres e mortadelas elaboradas com filé normal (N) e com <i>WB</i> armazenados a 4°C por 1, 30, 60 e 90 dias.....	105
TABELA 8. Oxidação lipídica (mg de malonaldeído . kg^{-1} de amostra) para os hambúrgueres e mortadelas elaboradas com filé normal e com <i>WB</i> armazenados a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1, 30, 60 e 90 dias.....	106
TABELA 9. Análise do perfil de textura (TPA) para os hambúrgueres elaborados com filé normal e com <i>WB</i> armazenados a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1, 30, 60 e 90 dias.....	107
TABELA 10. Análise do perfil de textura (TPA) para as mortadelas elaboradas com filé normal e com <i>WB</i> armazenados a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1, 30, 60 e 90 dias.....	108

Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 ESTRUTURA DO TECIDO MUSCULAR	17
3.2 COLÁGENO	19
3.3 FRANGOS COM <i>WOODEN BREAST</i>	22
3.4 IMPLICAÇÕES DO <i>WB</i> SOBRE AS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DA CARNE	28
3.4.1 Qualidade da carne	28
3.4.2 Valor nutritivo	29
3.4.3 Aparência da carne	29
3.4.4 Maciez	31
3.4.5 Capacidade de retenção de água	32
3.5 PERFIL DE AMINOÁCIDOS	33
REFERÊNCIAS	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
ARTIGO CIENTÍFICO 1	42
ARTIGO CIENTÍFICO 2	68
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
ANEXOS	110
QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO SENSORIAL	111
COMITÊ DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS	114
COMITÊ DE ÉTICA EM SERES HUMANOS	115

1 INTRODUÇÃO

A produção e exportação de frangos de cortes do Brasil é referência no mercado internacional. Desde 2003, o Brasil assumiu e manteve-se no posto de maior exportador mundial de carne de frangos (ABPA 2004; 2021). Atualmente, o país ocupa a terceira posição de maior produtor de carne frango. No ano de 2020, o Brasil exportou 4,231 milhões de toneladas de carne de frango e o consumo *per capita* foi equivalente a 45,27 kg/hab. Neste mesmo ano, a produtividade de aves somou 13,845 milhões de toneladas e foi responsável por movimentar US\$ 6,097 bilhões na economia brasileira. Dentre os estados exportadores, o Paraná ocupa a liderança na cadeia produtiva, sendo responsável por 35,47% dos abates e 40,19% do total das exportações (ABPA, 2021).

A carne de frango atende às necessidades de diversos grupos de consumidores da sociedade moderna, devido à facilidade de preparo de refeições rápidas e diversas com baixo custo, propriedades sensoriais desejáveis (sabor e maciez), propriedades nutritivas, além de possuir consumo livre de confrontos religiosos ou culturais, fatores determinantes para aumentar consideravelmente a demanda por carne de frango frente as outras fontes de proteína animal ofertadas no mercado (VALCESCHINI, 2006; PETRACCI et al., 2015; ABPA, 2021). Diante deste cenário, a avicultura foi impulsionada a desenvolver inovações para atender a crescente massa de consumidores, que associadas contribuíram para alcançar maior taxa de crescimento e rendimento de carcaça, melhor taxa de conversão alimentar e sanidade. Dentre as inovações, foi realizada seleção e melhoramento genético para obtenção de aves com maior rendimento peito e perna, fornecimento regular da alimentação de acordo com a idade, melhoramento na ambiência e manejo nos aviários (HAVENSTEIN; FERKET; QURESHI, 2003; PETRACCI et al., 2015).

Comprovando a eficiência das inovações desenvolvidas, a avicultura obteve excelentes resultados no desempenho de crescimento e composição corporal dos frangos de corte, além de reduzir pela metade o tempo de criação necessário para proporcionar aves com peso comercial de abate (PETRACCI, SOGLIA, & BERRI, 2017; TALLENTIRE, LEINONEN, & KYRIAZAKIS, 2018). Em 1925, a idade de abate era de 112 dias com peso médio aproximado de 1,2 kg, atualmente os frangos são abatidos com aproximadamente 40 dias de idade, apresentando peso médio acima

de 2,8 kg. Destaca-se ainda, um maior desempenho na conversão alimentar, passando de 4,7 para 1,80, redução da taxa de mortalidade de 18% para 4,0% e aumento de 5% do rendimento da carne do peito (National Chicken Council, 2016; AVISITE, 2018).

Apesar dos benefícios observados ao setor ao longo dos últimos anos, foram reportadas anormalidades no peito de frango que ainda não possuem etiologia totalmente esclarecida, mas podem estar associadas ao rápido crescimento destas aves, principalmente devido à hipertrofia do peito de frango. A hipertrofia das fibras musculares induzida pelo aumento da taxa de crescimento do peito de frango, resulta em um aumento do diâmetro e comprimento da fibra muscular, redução na densidade capilar e menor capilarização, com conseqüente alterações na via glicolítica (HOVING-BOLIN et al., 2020). Além disso, pode estar associada à um suprimento inadequado de nutrientes e oxigênio às células musculares, e eliminação inadequada de produtos metabólicos intermediários, que podem comprometer a funcionalidade da fibra e resultar em uma desregulação homeostática (PETRACCI et al., 2015).

Dentre as anormalidades observadas, destaca-se o *wooden breast (WB)* ou “peito amadeirado”, caracterizado essencialmente por apresentar dureza palpável, áreas pálidas, protuberância na região caudal e cranial, fluido translúcido ou de coloração citrina sob a superfície e presença de pequenas hemorragias (SIHVO et al., 2014, DALLE ZOTTE et al., 2017), razões pela qual são, na maioria dos casos, condenados total ou parcialmente pela indústria. Além disso, apresenta alterações nas propriedades nutritivas, com redução do teor proteico e aumento do teor de gordura (MUDALAL et al., 2014; MAZZONI et al., 2015; MUDALAL et al., 2015; SOGLIA et al., 2016a, SOGLIA et al., 2016b) e alterações tecnológicas, apresentando menor capacidade de retenção de água, com conseqüente prejuízo econômico ao setor produtivo devido à redução de rendimento do corte *in natura* e processados (MUDALAL et al., 2015; SOGLIA et al., 2016b).

As alterações na aparência, propriedades nutritivas e tecnológicas podem ser explicadas pela ocorrência de mudanças estruturais das fibras musculares dos frangos afetados pelo *WB*. Histologicamente, *WB* apresenta degeneração moderada a severa das fibras musculares, seguida por regeneração, acúmulo na deposição de colágeno no perimísio, variação no diâmetro das fibras musculares, processo inflamatório e acúmulo de gordura intramuscular (SIHVO et al., 2014; MAZZONI et al., 2015; SOGLIA et al., 2016a; VELLEMAN; CLARK; TONNIGES, 2017).

Considerando a importância da produção avícola sobre a economia nacional e as perdas econômicas decorrentes da ocorrência de *WB* torna-se importante aprofundar os conhecimentos sobre esta anomalia em relação às suas alterações bioquímicas e estruturais. Torna-se imprescindível também investigar a percepção e aceitação dos consumidores perante frangos afetados pelo *WB*, obtendo informações palpáveis sobre o real impacto da comercialização destes filés. Além disso, oferecer alternativas viáveis para destinações destes filés às indústrias para minimizar os prejuízos econômicos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar os parâmetros bioquímicos, estruturais e tecnológicos de peitos de frango *wooden breast* (*WB*), avaliar a aceitação e intenção de compra pelos consumidores e aplicar estes filés na elaboração de hambúrgueres e mortadelas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar e comparar os filés *WB* e normais quanto à composição química aproximada, pH, cor (L^* , a^* e b^*), dimensões (altura da região cranial, altura da região caudal, largura e comprimento) força de cisalhamento, capacidade de retenção de água e perda de peso por cozimento.
- Quantificar o teor de colágeno (total e solúvel) e de piridinolinas de filés *WB* e normais.
- Avaliar as alterações estruturais dos filés de frango *WB* e normais por meio de microscopia ótica
- Analisar e comparar o perfil dos aminoácidos das fibras musculares de filés *WB* e normais.
- Aplicar o teste de comparação pareada unilateral para verificar a percepção dos consumidores em relação à palidez dos filés de frango *WB* e investigar a aceitação e intenção de compra dos consumidores.
- Elaborar hambúrgueres e mortadelas com filés de frango *WB* e normais
- Avaliar os parâmetros de qualidade e tecnológicos durante período de armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias após elaboração).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

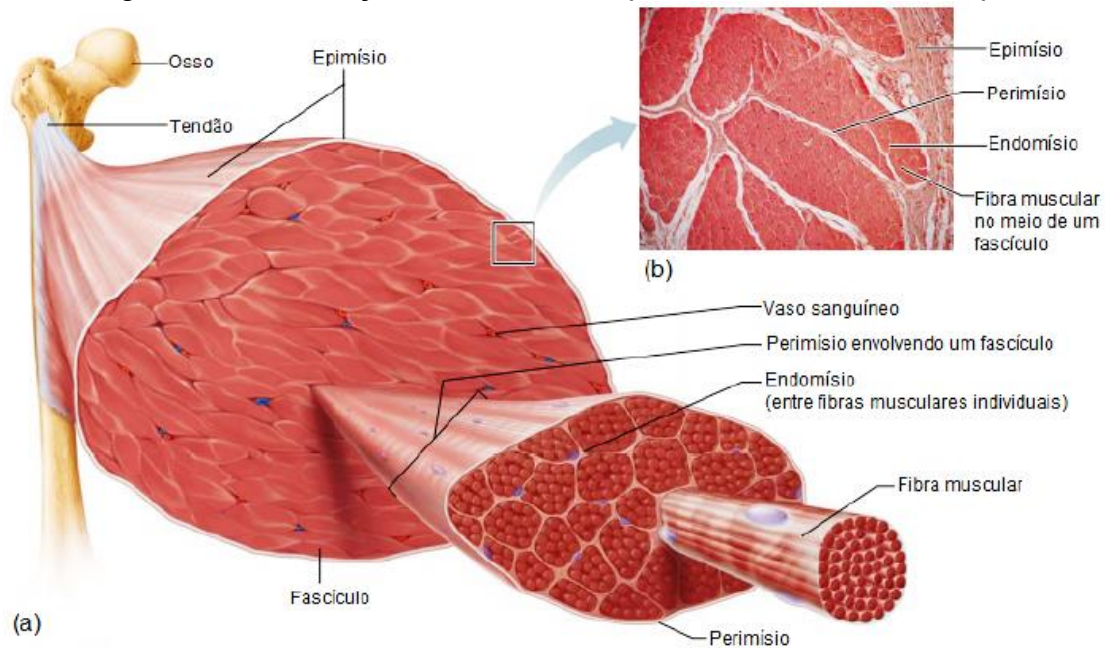
3.1 ESTRUTURA DO TECIDO MUSCULAR

Uma das características pertinentes a anomalia denominada por *wooden breast* (WB) é a mudança estrutural do músculo ocasionada pela degeneração das fibras musculares seguida por um processo de regeneração destas fibras, com conseqüente acúmulo de tecido conjuntivo, processo denominado por fibrose. Durante o processo de degeneração das fibras musculares ocorre a deposição de gordura intramuscular, processo denominado por lipidose (SIHVO et al., 2014, MAZZONI et al., 2015; TROCINO et al., 2015; SOGLIA et al., 2016a). Além disso, considerando que a qualidade da carne é diretamente influenciada pela quantidade de tecido muscular, adiposo, conjuntivo, nervoso é imprescindível conhecer a estrutura do tecido muscular como um todo para melhor compreender o mecanismo da anomalia, e suas principais alterações no músculo.

O tecido muscular é uma estrutura complexa e hierárquica conforme representado na Figura 1. A fibra muscular é a unidade estrutural do músculo, a qual é caracterizada por ser uma célula longa, estreita e multinucleada, sendo revestida individualmente por uma rede fina de tecido conjuntivo denominado por endomísio. Os feixes são envoltos por um tecido conjuntivo denominado por perimísio, o qual contém nervos e vasos sanguíneos. Circuncidando e separando o conjunto desses feixes encontra-se o tecido conjuntivo denominado por epimísio, responsável pela separação das fibras musculares. Esses tecidos conjuntivos tem o papel fundamental de manter unido e fornecer sustentação aos tecidos, e o colágeno apresenta-se como principal constituinte (LAWRIE, 2005; MARIEB; HOEHN 2012).

As fibras musculares esqueléticas são constituídas por miofibrilas, as quais são circuncidadas pelo retículo sarcoplasmático e apresentam invaginações dos túbulos transversos (T), sendo estas responsáveis pelo aspecto estriado do músculo e pelo processo de contração muscular (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2004; COSTANZO, 2014). A miofibrila apresenta-se de forma estriada e é constituída por arranjo ordenado de miofilamentos, sendo eles os filamentos finos e filamentos grossos.

Figura 1 - (a) Representação da organização estrutural do músculo esquelético (b) Fotomicrografia de uma seção transversal de parte de um músculo esquelético (30x)

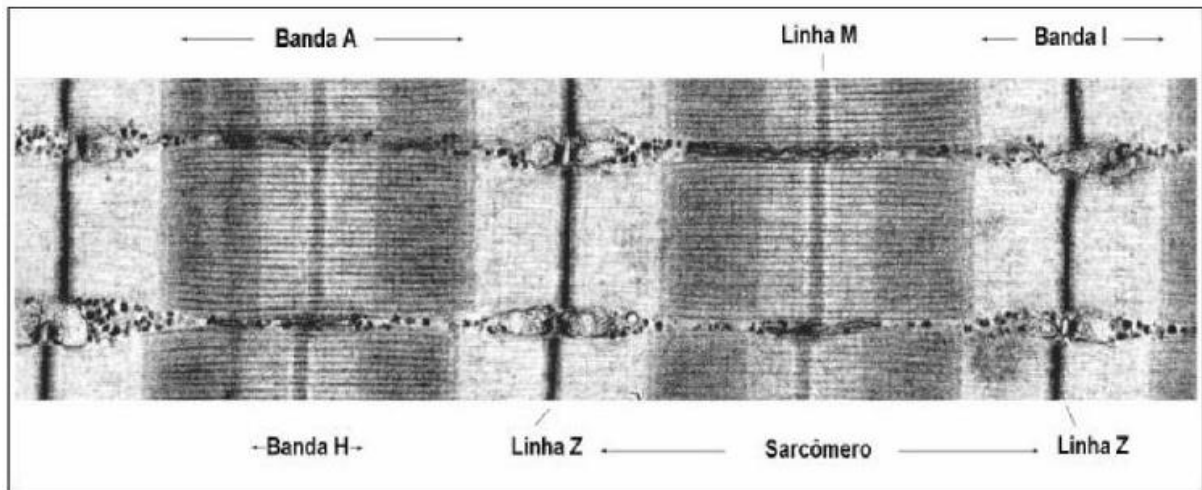


Fonte: MARIEB; HOEHN (2012)

Os miofilamentos finos, também conhecidos por Banda I, correspondem às bandas claras e são constituídos essencialmente pela proteína actina. Enquanto os filamentos grossos, denominados por Banda A, correspondem a feixes de moléculas de alto peso molecular, representam às bandas escuras e são constituídos pela proteína miosina (LAWRIE, 2005). As proteínas actina e miosina se alinham paralelamente, e em algumas regiões ocorrem sobreposições, e conseqüentemente, a formação de áreas mais claras e mais escuras, originando a aparência estriada do músculo esquelético (Figura 2) (RAMOS; GOMIDE, 2017). No centro da banda A, localiza-se a banda H, e no centro da banda I, a linha Z. A distância entre duas linhas Z é denominada por sarcômero, corresponde a menor unidade estrutural do músculo e é responsável pelo processo de contração e relaxação muscular (LAWRIE, 2005).

As proteínas miofibrilares representam de 50 a 60% das proteínas do tecido muscular, além de serem responsáveis pelo processo de contração do músculo, tais como a actina e miosina. As proteínas deste grupo apresentam grande influência sobre os parâmetros de qualidade da carne, pois correspondem à fração solúvel das proteínas musculares em sais, exercendo papel importante sobre a maciez e capacidade de retenção de água (STRASBURG; XIONG; CHIANG, 2010; GOMIDE; RAMOS; FONTES, 2013).

Figura 2 – Organização estrutural da miofibrila



Fonte: CRAIG (2008)

As proteínas sarcoplasmáticas representam aproximadamente 30% das proteínas musculares. Neste grupo estão presentes as enzimas que exercem função sobre o metabolismo celular, tais como a creatina quinase e as enzimas glicolíticas. Algumas proteínas presentes neste grupo apresentam solubilidade em água, como as albuminas, e outras solubilidade em soluções salinas diluídas, como as globulinas (STRASBURG; XIONG; CHIANG, 2010; GOMIDE; RAMOS; FONTES, 2013).

As proteínas pertencentes a classe estroma estão em menor quantidade, representando aproximadamente de 10 a 20% das proteínas musculares, de acordo com a idade e espécie do animal. Possuem como principais características a função de sustentação muscular, gelatinização sob aplicação de calor, insolubilidade em água e em solução salina e solubilidade em meios ácidos e básicos. Dentre as proteínas pertencentes a este grupo estão o colágeno, a elastina e a reticulina (STRASBURG; XIONG; CHIANG, 2010; GOMIDE; RAMOS; FONTES, 2013).

3.2 COLÁGENO

Considerando que a estrutura muscular de frangos acometidos pelo *WB* apresenta maior deposição de colágeno (TROCINO et al., 2015; SOGLIA et al., 2016a; SOGLIA et al., 2016b) e, ainda, para melhor compreensão sobre as principais alterações em carnes com *WB* como o aumento da rigidez, é importante conhecer a estrutura do colágeno.

O colágeno corresponde a uma proteína fibrosa encontrada em todo o reino animal, apresenta-se como uma molécula alongada denominada por tropocolágeno, ou seja, sua estrutura é composta por três cadeias polipeptídicas helicoidais, as quais apresentam sequências repetidas de Gli-X-Y, onde o Gli representa o aminoácido glicina, o qual corresponde a um terço dos aminoácidos que compõem a molécula, o X corresponde normalmente a prolina e Y a hidroxiprolina. A estabilidade térmica da tripla hélice está diretamente relacionada com a quantidade de prolina e hidroxiprolina em sua estrutura (PEARSON et al., 1985; LAWRIE, 2005; RICARD-BLUM, 2011).

A hidroxiprolina é um derivado da prolina e está presente em proteínas do tecido conjuntivo (colágeno, elastina e reticulina), além disso, na molécula de colágeno, a quantidade de hidroxiprolina não se altera e é de aproximadamente 14%, permitindo que este aminoácido seja utilizado para quantificar o teor de colágeno nos tecidos, em particular, na carne e nos produtos cárneos (RAMOS; GOMIDE, 2017).

A composição dos aminoácidos e seus arranjos estruturais são características que diferem os 29 tipos de colágenos conhecidos atualmente (SODERHALL et al., 2007). Dentre os colágenos existentes, os do tipo I, III e V são classificados como colágenos estriados, sendo o do tipo I predominantemente presente em grande quantidade nos tecidos conjuntivos dos mamíferos (OLIVO; SHIMOKOMAKI, 2002; STRASBURG; XIONG; CHIANG, 2010; RICARD-BLUM, 2011). São classificados em 5 grupos de acordo com sua estrutura: colágeno fibroso, colágeno formador de rede, colágeno filamentoso e colágeno formador de fibrilas, sendo o último o grupo no qual pertence 90% dos tipos de colágeno existentes, responsáveis por desempenhar papel estrutural dos tecidos (RICARD-BLUM, 2011).

O colágeno é uma proteína fibrosa, com estrutura relativamente simples, apresentando resistência e elasticidade devido a organização de suas cadeias de forma paralela a um eixo. Além disso, a molécula apresenta insolubilidade em água devido à grande concentração e disposição de aminoácidos hidrofóbicos no interior da molécula e na superfície (DAMODARAN, PARKIN, FENNEMA, 2010).

Ainda que o colágeno represente de 2 a 5% do total das proteínas musculares da carne, ele é responsável por alterações significativas na textura durante o cozimento (RAMOS; GOMIDE, 2017). De acordo Soglia et al. (2016a, 2016b), filés com *WB* apresentam maior deposição de colágeno, sendo um dos fatores que influenciam na maciez da carne. A maciez por sua vez, é um atributo extremamente importante por influenciar diretamente na palatabilidade da carne, e

consequentemente, na aceitação e satisfação do consumidor. Além de influenciar na maciez da carne, produtos processados oriundos de carnes com elevados níveis de colágeno podem apresentar alterações desagradáveis, tais como a formação indesejável de gelatina e aspecto granulado ou fragmentado (RAMOS; GOMIDE, 2017).

As ligações do colágeno presentes em carnes de animais mais jovens são lábeis, e são facilmente rompidas em temperaturas de aquecimento (60 a 75 °C), variações de pH ou sob ação de agentes desnaturantes, tornando a carne mais macia devido ao encolhimento de suas fibras (retraimento das fibras inelásticas do colágeno), e, posteriormente, à conversão do colágeno em gelatina. Na conversão em gelatina ocorre hidrólise parcial do colágeno devido ao desdobramento da hélice triplíce da molécula. Entretanto, com o avanço da maturidade fisiológica e cronológica do animal, o músculo do animal é condicionado a um aumento da atividade física, tornando as ligações cruzadas mais estruturadas, numerosas e resistentes ao calor (CORÓ; YOUSSEF; SHIMOKOMAKI, 2002; DAMODARAN, PARKIN, FENNEMA, 2010 RAMOS; GOMIDE, 2017). Assim sendo, considerando que animais mais velhos possuem um número maior de ligações cruzadas termoestáveis, a cocção desta carne deve atingir temperaturas superiores a temperatura de cocção de carnes provenientes de animais mais jovens, suficientemente capazes de quebrar ou desestabilizar essas ligações e tornar a carne mais macia (RAMOS; GOMIDE, 2017).

O colágeno não gelatinizado durante o aquecimento contribui positivamente para a diminuição da maciez da carne, devido à formação de uma barreira que compromete a ruptura do tecido muscular na mastigação. Nas ligações cruzadas, três moléculas de colágeno são conectadas, tornando-o mais estável, insolúvel e resistente ao calor. Em suma, o aumento da rigidez da carne não está relacionado somente ao conteúdo de colágeno, mas com a quantidade e estabilidade das ligações cruzadas oriundas da associação de cetoaminas, tais como as piridinolinas (RAMOS; GOMIDE, 2017). As piridinolinas correspondem a principal forma de ligação cruzada encontrada, caracterizada e identificada por ser um composto fluorescente (CORÓ; YOUSSEF; SHIMOKOMAKI et al., 1999). Ainda, à medida que a concentração de piridinolinas aumenta, a solubilidade do colágeno diminui, e este aumento está associado ao avanço da idade dos animais e possui relação direta à diminuição da maciez da carne (YOUNG et al., 1994; CORÓ et al., 2002).

Em um estudo desenvolvido por Coró et al. (2002), foi possível verificar que houve um aumento da força de cisalhamento e do conteúdo de piridinolinas presentes no músculo de frangos da linhagem *Ross*, concomitantemente à redução da solubilidade do colágeno com o avanço da idade dessas aves. O aumento da força de cisalhamento do peito de frango apresentou maior associação com o aumento do conteúdo de ligações cruzadas de piridinolinas do que com a síntese de colágeno. Além disso, o aumento da concentração de piridinolinas foi diretamente relacionado com a redução da solubilidade do colágeno.

Em função da relação estabelecida entre a textura da carne e o conteúdo de piridinolinas, análises objetivas (instrumentais) e subjetivas (sensoriais) são realizadas em conjunto para avaliar o grau de maciez da carne (MONTEIRO; SHIMOKOMAKI, 2000). É importante ressaltar que ainda não há pesquisas que relacionem o *WB* com o conteúdo de piridinolinas, possibilitando a associação do aumento da rigidez com a formação de ligações cruzadas do colágeno e maiores esclarecimentos sobre as alterações estruturais dos músculos afetados pela anomalia.

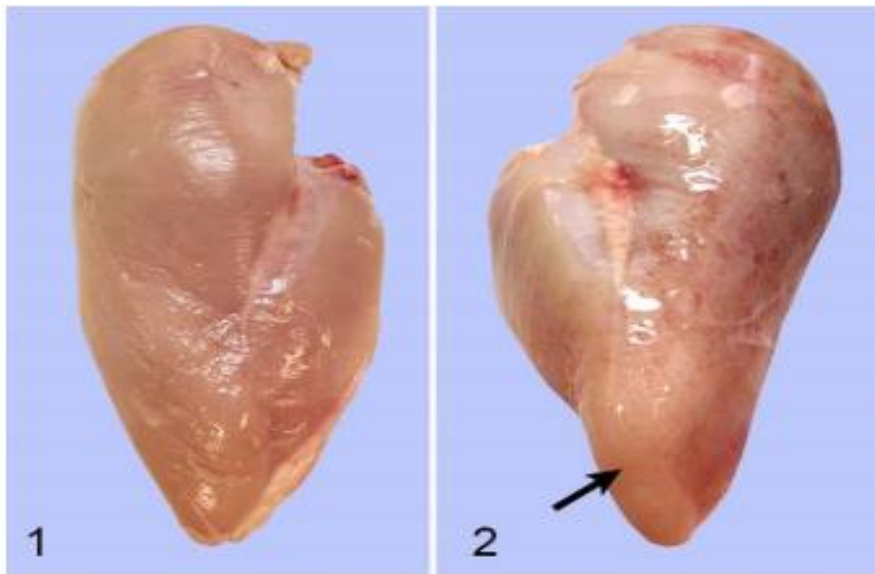
3.3 FRANGOS COM *WOODEN BREAST*

Recentemente reportado e ainda com etiologia indefinida, o *wooden breast* (*WB*), ou peito amadeirado, apresenta alterações macroscopicamente visíveis devido a alterações em sua estrutura muscular. Dentre elas, uma das características predominantes a qual originou-se o seu nome, está a rigidez palpável com diferentes graus de severidade do *pectoralis major* (SIHVO et al., 2014; SIHVO et al., 2017). Além disso, os peitos de frangos apresentam áreas pálidas, presença de fluido viscoso superficial translúcido ou de coloração citrina, abaulamento na região cranial e protuberância na região caudal (Figura 3) (SIHVO et al., 2014).

A rigidez característica de frangos acometidos pelo *WB* pode ser compreendida a partir de análises histológicas, nas quais foram verificadas a ocorrência de fibrose, ou seja, acúmulo de tecido conjuntivo, com consequente aumento na deposição de colágeno, um dos fatores influentes na textura da carne (SIHVO et al., 2014). Além disso, frangos com *WB* apresentam degeneração moderada a severa das fibras musculares, necrose, redução do número de fibras, diâmetros irregulares, hipóxia muscular e baixos níveis de glicogênio muscular, responsáveis pela alteração da taxa de glicose e processos bioquímicos que

favorecem o aumento da rigidez de músculos afetados pela anomalia (SIHVO et al., 2014; MAZZONI et al., 2015; TROCINO et al., 2015; VELLEMAN; CLARK, 2015; ABASHT et al., 2016; SIHVO et al., 2017; SOGLIA et al., 2016a). Constatou-se ainda, a presença de linfócitos T nas fibras musculares de filés *WB* confirmando a ocorrência de processo inflamatório, que pode estar associado a genética destes frangos de rápido crescimento (MAZZONI et al., 2015).

Figura 3 - Fotografias de filé de frango normal (1) e *WB* (2).



Fonte: SIHVO et al. (2014)

Petracci et al. (2017) reportaram que as linhagens de frangos de corte de rápido crescimento e rendimento de carcaça apresentam o *pectoralis major* composto inteiramente por fibras do tipo IIB, ou seja, fibras de contração rápidas, sugerindo que esta condição pode aumentar a suscetibilidade ao desenvolvimento de anormalidades musculares. Ainda, as fibras musculares de frangos de rápido crescimento apresentam uma redução do número de células satélites, resultando em uma capacidade reduzida para regeneração muscular (CLARK; VELLEMAN, 2016; DAUGHTRY et al., 2018). Ambos os estudos suportam a hipótese de que o *WB* esteja correlacionado com a seleção genética para obtenção de frangos com melhores taxa de crescimento e rendimento de peito (PETRACCI et al., 2019).

De Brot et al. (2016) observaram em filés *WB* degeneração e necrose polifásica multifocal, caracterizada por hianização, fibrose intersticial, fragmentação e/ou mineralização do músculo esquelético, presença de miotubo (células

multinucleadas) indicando regeneração muscular. Verificaram também a presença de quantidades moderadas de material proteico dentro do interstício, o qual pode ser interpretado como edema, e ainda, quantidades variáveis de tecido adiposo ao redor dos vasos sanguíneos e no interstício, substituindo as fibras musculares.

Devido as alterações nas estruturas das fibras musculares ocorrem alterações indesejáveis sob os aspectos nutritivos e tecnológicos. Filés com *WB* apresentam redução do conteúdo proteico e de minerais, e, concomitantemente apresentam aumento do teor de umidade e lipídios, resultados que podem estar associados ao processo de degeneração das fibras musculares e ao aumento na deposição de gordura intramuscular (MAZZONI et al., 2015). Mazzoni et al. (2015) e Soglia et al., (2016a), observaram uma redução da capacidade de retenção de água em filés com *WB*, resultado que pode ser explicado devido a redução do conteúdo de proteínas, em particular, redução das proteínas miofibrilares, que são as principais responsáveis pela retenção de água na carne (XIONG, 2004).

Para obter maiores esclarecimentos sobre a anomalia, Sihvo et al. (2017) investigaram a incidência e o grau de severidade de acordo com a idade de abate (10, 18, 24, 35 e 45 dias). O grau de severidade foi designado a partir do comprometimento do peito de frango, sendo classificado como manifestação focal aqueles que apresentaram aumento da rigidez na região cranial ou caudal, e como manifestação difusa aqueles que apresentaram rigidez do músculo inteiro. Os primeiros casos de *WB* foram verificados em frangos abatidos com 18 dias, sendo de manifestação focal leve em 28% do total das aves avaliadas. Nas idades subsequentes foram observados maior grau de severidade de *WB*, com manifestação difusa. Desta forma, constaram que a idade das aves pode influenciar na incidência da anomalia, e ainda, que o *WB* se inicia com menor grau de severidade, comprometendo o filé em regiões pontuais, e com o avançar da idade das aves, a manifestação torna-se difusa, comprometendo o filé como um todo.

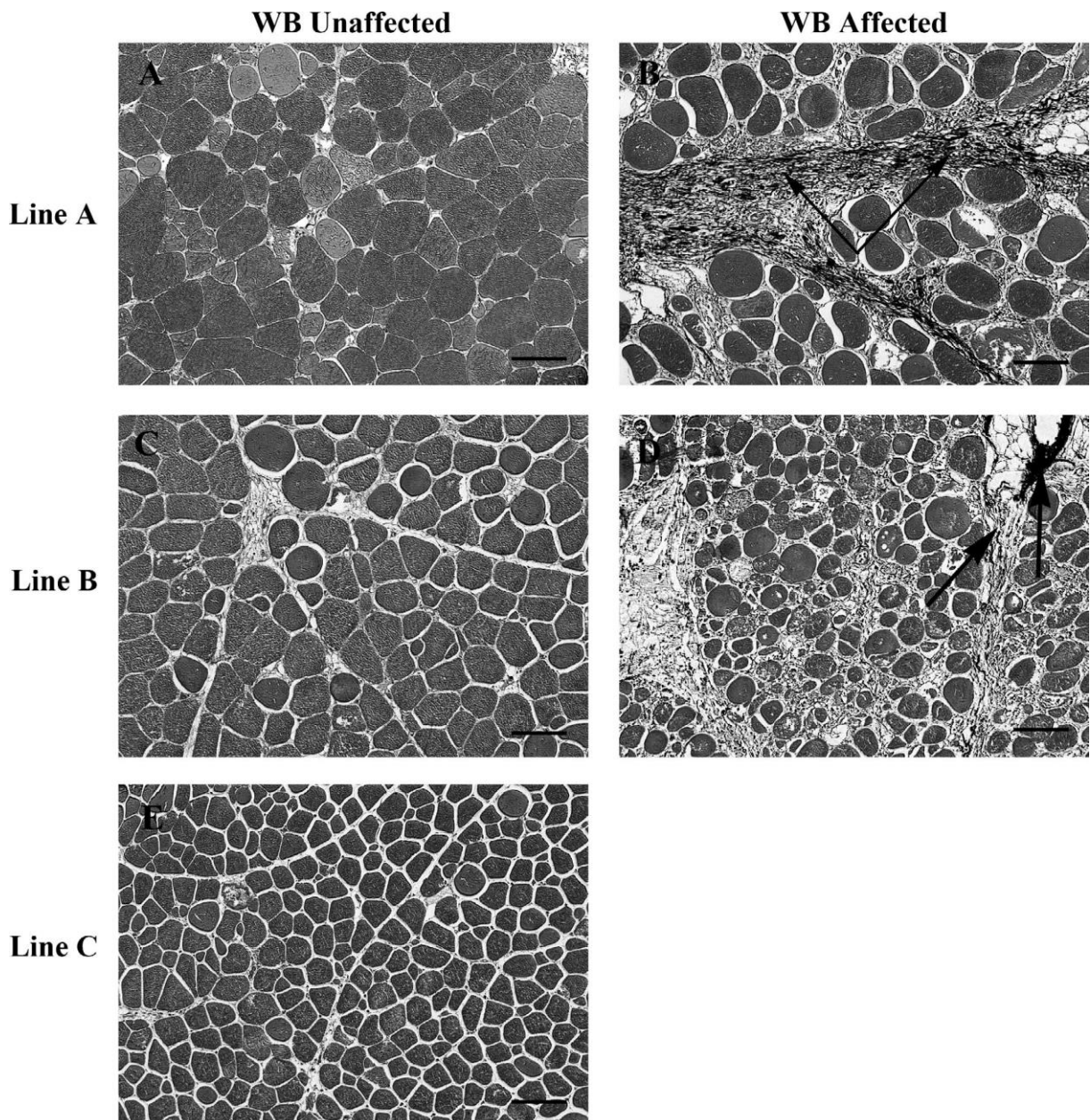
Trocino et al. (2015) avaliaram o efeito do genótipo, gênero e regime alimentar das aves e sua influência sobre a qualidade da carne e incidência do *WB*. Verificaram que apenas o gênero exerceu influência significativa sob a incidência da anomalia, ocorrendo em maior proporção em machos. Além disso, estes apresentam melhor conversão alimentar e maior peso final e quando comparados com as fêmeas.

Velleman e Clark (2015) obtiveram informações importantes sobre a incidência da anomalia ao avaliarem três linhas de frango, sendo 2 destas linhas

frangos de crescimento rápido (linhas A e B), ambas com incidência do *WB*, e uma linha de frangos com crescimento mais lento (linha C), não possuindo *WB* aparente. Histologicamente, apenas as linhas A e B apresentaram fibrose, entretanto com distribuição e arranjo das fibrilas de colágeno diferiram entre si. Na linha A, as fibras de colágeno estavam compactadas, mais densas e paralelas, enquanto na linha B, estavam com distribuição variável e difusa, e na linha C, apresentaram fibras sem nenhuma deformidade, indicando a ausência da anomalia (Figura 4). De acordo com os autores, as fibras compactadas dos frangos da linha A pode ser decorrente da expressão da decorina proteoglicana da matriz celular. A decorina, exerce a função de reguladora da ligação cruzada do colágeno, corresponde a um pequeno proteoglicano de repetição extracelular rica em leucina, que se liga nas fibras de colágeno a partir de sua proteína central (VELLEMAN et al., 1996). Foi encontrada em níveis mais elevados em filés de frango pertencentes à linha A, ocasionando em fibras de colágeno com empacotamento mais estreito, paralelas e mais compactas devido aos altos níveis de ligação cruzada. As ligações cruzadas do colágeno ocorrem de forma progressiva e está associada ao endurecimento da carne (CORÓ et al., 2002; VELLEMAN; CLARK, 2015). Além disso, filés *WB* das linhas A e B apresentaram menor diâmetro das fibras musculares quando comparados com filés normais. Enquanto o diâmetro das fibras musculares dos filés afetados pela anomalia das linhas A e B variaram entre $46,2 \pm 1,97$ e $41,6 \pm 1,32$ mm, respectivamente, a linha C, com frangos de crescimento mais lento, sem incidência do *WB*, apresentou um diâmetro médio de $56,2 \pm 1,20$ mm.

A seleção de frangos de rápido crescimento e desenvolvimento de peito, alcançados principalmente devido à hipertrofia, resultou em alterações histológicas como fragmentação da fibra muscular e espaçamento reduzido do tecido conjuntivo endomisial e perimisial, conforme pode ser observado na Figura 4 (WILSON; NIEBERG; BUHR, 1990; VELLEMAN; CLARK, 2015). Esta redução no espaçamento limita o espaço disponível para capilares, assim, o ácido láctico produzido pela respiração anaeróbica não é efetivamente removido do músculo, ocasionando em uma diminuição do valor de pH e danos musculares (VELLEMAN; CLARK, 2015). Além disso, foi observado em filés *WB* ruptura da miofibrila e degeneração grave e infiltração de macrófagos, sendo estes mediadores da inflamação, e quando não controlados, podem resultar em destruição tecidual e fibrose (VELLEMAN; CLARK, 2015).

Figura 4 – Histologia do peito de frango: as imagens A (frango não *WB*) e B (frango *WB*) são correspondentes à linha A, as imagens C (frango não *WB*) e D (frango *WB*) são correspondentes à linha B, e imagem E corresponde ao frango pertencente a linha C. As setas indicam a coloração de colágeno no espaço do tecido conjuntivo perimisial.



Fonte: VELLEMAN; CLARK (2015)

Ainda, como consequência da hipertrofia, ocorre um suprimento inadequado de sangue e oxigênio ao tecido muscular, levando ao desenvolvimento de hipóxia (SIHVO et al., 2018; HOVING-BOLINK et al., 2020). O expressivo aumento no

desenvolvimento do peito de frango, principalmente em relação à espessura, pode comprimir a artéria peitoral, reduzindo ainda mais o transporte de nutrientes e oxigenação do músculo. Comprometendo ainda mais as condições de hipóxia, filés *WB* apresentam uma redução da densidade dos vasos sanguíneos e inchaço dos tecidos, provavelmente decorrente devido ao acúmulo de compostos com propriedades osmóticas, como a taurina e alanina (BOERBOOM et al., 2018).

Algumas estratégias para redução da incidência do *WB* foram investigadas. Meloche et al. (2018) estudaram o efeito da redução da densidade de nutrientes na dieta das aves sobre a incidência de frangos *WB*. Ao todo, foram examinados 7 tratamentos. Apenas em um dos tratamentos a alimentação das aves era constituída por 100% das recomendações de aminoácidos digeríveis e densidade de energia metabolizável (controle). As aves foram avaliadas quanto a incidência de *WB* em dois tempos diferentes de abate divididas em 2 experimentos (exp), exp 1= 36 dias de idade, exp 2 = 49 dias de idade. No exp 1, frangos que receberam dieta de densidade reduzida (90 e 95% da densidade recomendada) no período inicial (8 a 14 dias de idade) apresentaram aumento na incidência de *WB* severo em relação ao controle. Trocino et al. (2015) justificaram este fato como o crescimento compensatório no período após a restrição, sendo este o período de recuperação, com intensa aceleração do crescimento muscular do peito de frango, exacerbando a severidade da anomalia. Além disto, Velleman, Coy e Emmerson (2014) constataram que os genes adipogênicos são afetados pela ingestão reduzida de nutrientes na fase inicial, com conseqüente aumento na deposição de gordura intramuscular do peito de frango. Tais resultados sugerem uma conexão entre a aceleração compensatório do crescimento e a incidência de anomalias (MELOCHE et al., 2018). No exp 2, frangos alimentados com 90% da densidade alimentar recomendada de 1 a 48 dias de idade (até abate), apresentaram redução na incidência de *WB* severo em relação ao controle. Entretanto, apesar de apresentarem um aumento na taxa de conversão alimentar, apresentaram menor eficiência de crescimento que pode ter limitado o crescimento muscular do peito de frango, impedindo o surgimento do *WB*. Desta forma, os autores concluíram que, apesar da redução da incidência da anomalia ao reduzir o fornecimento da densidade de energia ao longo da vida do frango, houve um comprometimento da eficiência de crescimento e desempenho, não correspondendo a uma prática viável para redução da incidência da anomalia.

Córdova-Noboa et al. (2018) avaliaram os efeitos da suplementação com ácido guanidinoacético (GAA) de frangos alimentados à base de milho ou sorgo quanto ao desempenho, rendimento de carcaça e corte, qualidade da carne e anomalias peitorais. Foram divididos em dois tratamentos: com e sem adição de GAA (600 g/ton). Frangos abatidos aos 50 dias de idade alimentados com dietas contendo GAA melhoraram a taxa de conversão alimentar tanto para milho quanto para sorgo. Aos 55 dias, a alimentação a base de milho com GAA proporcionou maior rendimento no peito em comparação ao milho sem GAA, além de reduzir o grau de severidade de *WB*. Aos 51 dias, a suplementação resultou em frangos sem *WB*. Considerando que o surgimento do *WB* pode estar relacionado com uma redução do nível de glicogênio no músculo (MUDALAL et al., 2015) a eficiência da suplementação com GAA como precursor da creatina na prevenção ou redução da incidência do *WB* pode ser decorrente do aumento na concentração de metabólitos envolvidos no metabolismo de energia muscular (creatina, fosfocreatina, ATP) e o aumento do conteúdo de creatina e glicogênio. Além disso, a suplementação dietética melhorou o desempenho e aumentou o rendimento da carne de peito destas aves.

3.4 IMPLICAÇÕES DO *WB* SOBRE AS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DA CARNE

3.4.1 Qualidade da carne

Os consumidores estão cada mais atentos e exigentes quanto a qualidade do produto ofertado ao mercado. A excelência da produção avícola brasileira é imprescindível para que atualmente as exportações atinjam países nobres e exigentes quanto a qualidade dos produtos importados (ABPA, 2021) e sua manutenção no mercado depende do fornecimento de carne com padrões de qualidade estáveis.

De acordo com Becker (2002), há a possibilidade de mensurar a qualidade dos produtos por medidas subjetivas e objetivas. A primeira é referente ao atendimento das expectativas dos consumidores em relação à segurança, satisfação de seus parâmetros sensoriais, atendimento das suas crenças religiosas e valores éticos. Enquanto a segunda, corresponde ao conceito utilizado na ciência da carne e são os parâmetros medidos de forma objetiva.

O primeiro parâmetro de qualidade determinante para escolha do consumidor e aquisição do produto é a aparência, em particular, a cor (RAMOS; GOMIDE, 2017).

Além da aparência, outros atributos são considerados relevantes para atendimento das exigências sensoriais e nutricionais dos consumidores e aceitabilidade da carne, entretanto, alguns deles são conhecidos somente após o preparo da carne, tais como maciez, suculência, capacidade de retenção de água, teor de gordura e tecido conjuntivo (LAWRIE, 2005; RAMOS; GOMIDE, 2017). Estas propriedades funcionais são negativamente comprometidas em frangos com *WB* (SIHVO et al., 2014; MAZZONI et al., 2015; MUDALAL et al., 2015; SOGLIA et al., 2016a) e podem influenciar na aceitação do consumidor, bem como, em sua aplicação em produtos cárneos devido a reduzida capacidade de retenção de água, com consequente redução do rendimento.

3.4.2 Valor nutritivo

Com o aumento da preocupação em consumir alimentos com perfil nutricional saudável, a carne de frango, em particular, o peito de frango, conquistou maior espaço no mercado quando comparada com a carne bovina e suína. A carne de frango atende aos consumidores que buscam uma fonte de proteína animal com alto teor proteico e baixo teor de lipídios, sódio e colesterol (CAVANI et al., 2009).

Entretanto, frangos com *WB* apresentam características que comprometem a integridade e composição da carne. Apresentam redução do teor de proteína e aumento do teor de colágeno, aumentando a proporção colágeno:proteína total, indicando redução do valor nutritivo devido à baixa digestibilidade do colágeno e deficiência em alguns aminoácidos essenciais (MUDALAL et al., 2014).

Alguns filés comprometidos pela anomalia são destinados à fabricação de produtos cárneos processados, que permitem a modificação e ajuste da composição química durante formulação. Entretanto, aqueles que são destinados ao mercado *in natura*, são comercializados com valor nutritivo diferente daquele informado no rótulo e com as expectativas dos consumidores que adquirem o corte (MUDALAL et al., 2014; PETRACCI et al., 2014).

3.4.3 Aparência da carne

Considerando todos os atributos que determinam a qualidade da carne, a aparência é a principal, pois qualquer alteração considerada anormal poderá ter como

resultado imediato a sua rejeição (KUTTAPPAN et al., 2012; RAMOS; GOMIDE, 2017). A aparência da carne é responsável por sua apresentação e corresponde ao primeiro contato do consumidor com o produto, é a partir dela que os consumidores avaliam a sua qualidade, sobrepondo-se das demais características intrínsecas no momento da aquisição (SHIMOKOMAKI et al., 2006; KUTTAPPAN et al., 2012).

Fatores como idade do animal, raça, dieta, teor de gordura intramuscular e de água, condições pré-abate e o tipo de processamento pela qual a carne é submetida alteraram a coloração da carne de frango (CASTILLO, 2006). Outros fatores como a ocorrência de algumas anomalias são capazes de comprometer e modificar a coloração da carne, como é o caso de filés de frango com *WB*, os quais apresentam regiões pálidas em sua superfície (SIHVO et al., 2014; MUDALAL et al., 2015; TROCINO et al., 2015). A despigmentação da carne causa aversão ao consumidor devido à sua associação direta a carnes com baixa qualidade e frescor (MANCINI; HUNT, 2015). Além da alteração da cor, filés com *WB* apresentam outras alterações em sua aparência, como o abaulamento da região cranial, presença de fluido viscoso superficial translúcido ou de coloração citrina, presença de pequenas hemorragias e protuberância na região caudal, e em alguns casos acompanhada pelo *white striping* (*WS*) (SIHVO et al., 2014; DALLE ZOTTE et al., 2017).

É também pela aparência que os consumidores avaliam no momento da compra o aspecto de alimento fresco e saudável, outro fator avaliado nas gôndolas de supermercados é a facilidade de preparo, tornando a carne de frango uma das preferidas dentre as proteínas de fonte animal disponíveis (KENNEDY; STEWARTT-KNOX; MITCHELL, 2014). Desta forma, qualquer condição que afete negativamente a aparência, pode comprometer e influenciar na decisão de compra dos consumidores (KUTTAPAN et al., 2012).

O *WS* também compromete a aparência dos filés de frango com a visualização de linhas brancas, classificado em três categorias de acordo com o grau de severidade da anomalia, sendo normal (sem estriação), moderado (estriação < 1mm) e severo (estriação > 1mm) (KUTTAPAN et al., 2012; KUTTAPAN et al., 2013). Ambas as anomalias estão associadas e relacionadas com o rápido crescimento dos frangos (KUTTAPAN et al., 2013). Filés *WB* apresentam maior dano muscular e presença de processo inflamatório, enquanto filés *WS* apresentam degeneração das fibras musculares sem a ocorrência da inflamação (KUTTAPAN et al., 2013; SIHVO et al., 2014). Assim, Mudalal et al. (2014) identificaram maior dano muscular em filés com

WB e propuseram que a anomalia *WS* ocorre em um primeiro estágio da degeneração muscular e o *WB* em um estágio mais avançado.

Pela avaliação sensorial é possível verificar a qualidade de um alimento, além de tornar possível a identificação de diferenças perceptíveis aos consumidores e detectar variáveis não observadas por métodos analíticos (MUÑOZ; CIVILLE; CARR, 1992). Kuttappan et al. (2012) e Kato et al. (2019) realizam uma avaliação sensorial de aceitação baseado na aparência de filés *WS*, e constataram que, à medida que aumenta o grau de severidade da anomalia, ocorre uma redução significativa da aceitabilidade dos filés de frango. Ainda, mais de 50% dos consumidores alegaram que provavelmente ou definitivamente não comprariam os filés de frango com qualquer grau de severidade, e que os filés *WS* apresentavam aspecto gorduroso. A alta rejeição destes filés pode estar associada principalmente por este aumento no teor de gordura, considerando que, o aumento pelo interesse e consumo da carne de frango está intimamente relacionada com o baixo conteúdo de gordura da carne de frango (Kuttappan et al., 2012).

3.4.4 Maciez

O amaciamento da carne inicia-se logo após o abate do animal, corresponde a um processo de degradação enzimático das proteínas estruturais (LAWRIE, 2005). A maciez corresponde a um atributo físico relacionado com a resistência da carne durante o processo de mastigação, sendo um dos parâmetros fundamentais para avaliação da qualidade da carne pelo consumidor. É influenciada principalmente pela raça do animal, gênero, alimentação, uso de hormônios, idade, conteúdo de gordura, localização do músculo, tecido conjuntivo e manejo pré-abate (RAMOS; GOMIDE, 2017).

De acordo com Ramos e Gomide (2017), na carne *in natura*, a maciez é dependente de três fatores: da dureza intrínseca (*background toughness*), da fase da dureza e da fase de amaciamento. Destas fases, a dureza intrínseca corresponde àquela inerente à carne e não se altera durante o armazenamento, enquanto as fases da dureza e fase de amaciamento ocorrem durante o desenvolvimento do *rigor mortis* e *post mortem*, respectivamente.

A suculência é um dos atributos que influencia diretamente a percepção sensorial da maciez da carne. Objetivamente, a maciez está associada aos seus

componentes musculares, sendo eles o teor e estruturação do tecido conjuntivo e, integridade e compactação dos componentes miofibrilares (RAMOS; GOMIDE; 2017). O tecido conjuntivo exerce papel fundamental na textura e maciez da carne, dentre as proteínas que o compõem, o colágeno corresponde a principal e mais abundante proteína estrutural, entretanto, a maciez não está correlacionada com o teor de colágeno, mas com a quantidade e estabilidade de suas ligações cruzadas (CORÓ, 2002; RAMOS; GOMIDE; 2017).

De acordo com Dransfield e Sosnicki (1999), a taxa de crescimento do frango pode influenciar na maciez da carne devido a alterações no diâmetro das fibras musculares. Além do diâmetro destas fibras, o tamanho dos feixes das fibras musculares também é um fator determinante para a textura (LAWRIE, 2005). Coró et al. (2002) verificaram que o rápido crescimento das aves proporciona um aumento na síntese no colágeno com redução das suas ligações cruzadas, contribuindo, desta forma, para carnes mais macias. A etiologia do *WB* ainda não foi totalmente esclarecida, entretanto, sua incidência pode estar relacionada às alterações realizadas na avicultura, como por exemplo, a seleção genética para obtenção de aves de rápido crescimento, induzindo a hipertrofia das fibras musculares dos filés acometidos pelo *WB*, e conseqüentemente, aumento perceptível da rigidez da carne *in natura*. (DRANSFIELD; SOSNICKI, 1999; PETRACCI; CAVANI, 2012; SIHVO et al., 2014).

O aumento da rigidez da carne influencia diretamente na diminuição da aceitação do consumidor, que por sua vez, de acordo com Boleman et al. (1997), está disposto a pagar mais caro pela garantia da aquisição e consumo de carnes mais macias. Desta forma, há evidências de que o aumento da rigidez de frangos *WB* pode ser um dos fatores determinantes para diminuição da aceitabilidade do consumidor.

3.4.5 Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água (CRA) é uma das medidas capazes de prever outros parâmetros de qualidade da carne, pois pode ser correlacionada com a suculência, cor e maciez (ORDÓÑEZ et al., 2005; RAMOS; GOMIDE, 2017). Fatores como idade do animal, espécie e raça exercem grande influência sobre a CRA (LAWRIE, 2005).

A CRA corresponde a capacidade do músculo em reter totalmente ou parte da água contida em sua estrutura ao ser aplicado forças externas, tais como corte, prensagem, aquecimento e trituração (SHIMOKOMAKI et al., 2006; SARCINELLI; SILVA; VENTURINI, 2007).

Soglia et al. (2016a) e Mazzoni et al. (2015) verificaram que filés com *WB* apresentam menor CRA, este resultado pode ser decorrente do processo de degeneração das fibras musculares no qual ocorre redução do número de fibras e, conseqüentemente, redução de proteínas miofibrilares (MAZZONI et al., 2015). As proteínas miofibrilares, por sua vez, são as principais responsáveis por reter a água durante o armazenamento e processamento da carne (XIONG, 2004). Além disso, o aumento do teor de gordura nos filés *WB*, pode reduzir ainda mais a capacidade da água se manter na estrutura muscular (SOGLIA et al., 2016a).

3.5 PERFIL DE AMINOÁCIDOS

O rápido crescimento das aves, induzido principalmente pela hipertrofia do peito de frango, resultou em fibras com menor capilarização e, conseqüentemente, suprimento inadequado de oxigênio, sendo este um fator predisposto ao desenvolvimento da anomalia (SOGLIA; MAZZONI; PETRACCI, 2019). Além disso, filés com *WB* apresentam lesões em suas fibras musculares decorrentes de processos degenerativos e inflamatórios (VALLEMAN; CLARK, 2015).

A degeneração das fibras musculares compromete negativamente o conteúdo proteico destes filés, com aumento significativo na deposição de colágeno (SOGLIA et al., 2016). Tais alterações podem influenciar na qualidade da proteína da carne, que pode ser mensurada a partir da análise do perfil de aminoácidos (DALLE ZOTTE et al., 2020). A proteína animal, do ponto de vista nutricional, possui alto valor biológico por possuir aminoácidos essenciais em sua composição (ABPA, 2021).

Os aminoácidos são constituídos por uma molécula de carbono ligado a um grupo amino, um grupo carboxila, uma molécula de hidrogênio e um grupo R, são considerados blocos de construção na síntese das proteínas e desempenham funções biológicas importantes aos seres vivos, tais como: catalise enzimática, transporte e armazenamento, movimento coordenado, suporte mecânico, proteção imunológica, formação e transmissão de impulsos nervosos (WU, 2019).

Os aminoácidos são divididos em dois grupos e classificados em: essenciais e não essenciais. Os essenciais são aqueles que precisam ser supridos via dieta, enquanto os não essenciais são produzidos pelo organismo. A essencialidade dos aminoácidos se deve exclusivamente à capacidade do corpo de sintetizá-los, pois todos exercem papel fundamental para o bom funcionamento do organismo. Sendo assim, os aminoácidos essenciais são: valina, leucina, isoleucina, fenilalanina, triptofano, metionina, treonina, histidina e lisina, enquanto os não-essenciais são: glicina, alanina, prolina, serina, cisteína, tirosina, asparagina, glutamina, ácido aspártico e ácido glutâmico (BELITZ; GROSCHE; SCHIEBERLE, 2009).

Assim, os aminoácidos são responsáveis por funções metabólicas e nutricionais, como por exemplo, os aminoácidos cisteína, ácido glutâmico, leucina, prolina e triptofano, possuem papel fundamental para garantir função reprodutiva, imunológica e crescimento ideal. Tirosina e fenilalanina são precursores para sintetizar hormônios da tireoide (SUENAGA et al., 2008). Alanina é responsável por garantir a produção de glicose pelos hepatócitos durante jejum prolongado através da regulação da gliconeogênese e glicólise. Ácido glutâmico e arginina mantêm o ciclo da ureia hepática em estado ativo (MEIJER, 2003).

REFERÊNCIAS

- ABASHT, B.; MUTRYN, M. F.; MICHALEK, R. D.; LEE, W.R. Oxidative stress and metabolic perturbations in wooden breast disorder in chickens. **PLoS One**, v. 11, n. 4, p. e0153750, 2016.
- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2004**. São Paulo. 24 p. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/e5bdca035ce1505cae9c093595b0cb36.pdf>>. Acesso em: 10 abril 2018.
- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2021**. São Paulo. 146 p. Disponível em: <http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Anual_2021_web.pdf>. Acesso em: 12 julho 2021.
- AVISITE, Frango: evolução da produtividade nos últimos 90 anos. **Revista AviSite, Produção Animal – Avicultura**. Versão eletrônica, 2018.
- BAXTER, J. H.; LAI, C.; PHILLIPS, R. R.; DOWLATI, L.; CHIO, J. J.; LUEBBERSA, S. T. et al. Direct determination of methionine sulfoxide in milk proteins by enzyme hydrolysis/high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1157, n. 1-2, p. 10-16, 2007.
- BECKER, T. Defining meat quality. **Meat processing: improving quality**. New York: CRC Press, 2002. 451 p.
- BELITZ, H. D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. **Amino Acids, Peptides, Proteins. Food chemistry**, p. 8-92, 2009.
- BOLEMAN, S. J.; BOLEMAN, S. L.; MILLER, R. K.; TAYLOR, J. F.; CROSS, H. R.; WHEELER, T. L.; KOOHMARAIE, M.; SHACKELFORD, S.D.; MILLER, M. F.; WEST, R. L.; JOHNSON, D. D.; SAVELL, J. W. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. **Journal of animal science**, v. 75, n. 6, p. 1521-1524, 1997.
- CASTILLO, C. J. C. Atributos de qualidade em carcaças e cortes de frangos. In: **Qualidade da Carne**. São Paulo: Varela, p. 133-152, 2006.
- CAVANI, C.; PETRACCI, M.; TROCINO, A.; XICCATO, G. Advances in research on poultry and rabbit meat quality. **Italian Journal of Animal Science**, n. 8, p. 741-750, 2009.
- CLARK, D. L.; VELLEMAN, S. G. Spatial influence on breast muscle morphological structure, myofiber size, and gene expression associated with the wooden breast myopathy in broilers. **Poultry Science**, v. 95, n. 12, p. 2930-2945, 2016.
- CÓRDOVA-NOBOA, H. A.; OVIEDO-RONDÓN, E. O.; SARSOUR, A. H.; BARNES, J.; FERZOLA, P.; RADEMACHER-HEILSHORN, M.; BRAUN, U. Performance, meat

quality, and pectoral myopathies of broilers fed either corn or sorghum based diets supplemented with guanidinoacetic acid. **Poultry Science**, v. 97, n. 7, p. 2479-2493, 2018.

CORÓ, F. A.G.; YOUSSEF, E.Y., SHIMOKOMAKI, M. Age related changes in poultry breast meat collagen pyridinoline and texture. **Journal of food biochemistry**, v. 26, n. 6, p. 533-554, 2002.

CORÓ, F. A. G.; YOUSSEF, E. Y.; SHIMOKOMAKI, M. Carne do zebu: o que está atrás da sua textura? **Revista Nacional da Carne**, n. 271, p. 28-34, 1999.

COSTANZO, L. **Fisiologia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
CRAIG, R. Disponível em <http://www.ks.uiuc.edu/research/z1z2/> Acesso em 20/08/2018.

DALLE ZOTTE A.; TASONIERO G.; PUOLANNE E.; REMIGNON H.; CECCHINATO M.; CATELLI E.; CULLERE M. Effect of “wooden breast” appearance on poultry meat quality, histological traits, and lesions characterization. **Czech Journal of Animal Science**, v. 62, n. 2, p. 51-57, 2017.

DALLE ZOTTE, A.; RICCI, R.; CULLERE, M.; SERVA, L.; TENTI, S.; MARCHESINI, G. Research Note: Effect of chicken genotype and white striping–wooden breast condition on breast meat proximate composition and amino acid profile. **Poultry science**, v. 99, n. 3, p.1797-1803, 2020.

DAMODARAN S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R.; **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre (RS): Artmed; 2010.

DAUGHTRY, M. R., BERIO, E., SHEN, Z., SUESS, E. J. R., SHAH, N., GEIGER, A. E., ... & GERRARD, D. E. Satellite cell-mediated breast muscle regeneration decreases with broiler size. **Poultry Science**, v. 96, n. 9, p. 3457-3464, 2017.

DE BROT, S.; PEREZ, S.; SHIVAPRASAD, H. L.; BAIKER, K.; POLLEDO, L.; CLARK, M.; GRAU-ROMA, L. Wooden breast lesions in broiler chickens in the UK. **Veterinary Record**, v. 178, n. 6, 2016.

DRANSFIELD, E.; SOSNICKI, A. A. Relationship Between Muscle Growth and Poultry Meat Quality. **Poultry Science**, v. 78, n. 5, p. 743–746, 1999.

GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, E. M.; FONTES, P. R. **Ciência e Qualidade da Carne: Fundamentos**. Viçosa: UFV, 2013. 197 p.

HAVENSTEIN, G.B.; FERKET, P.R.; QURESHI, M.A. Carcass Composition and Yield of 1957 Versus 2001 Broilers When Fed Representative 1957 and 2001 Broiler Diets. **Poultry Science**, n. 82, n.10, p. 1509–1518, 2003.

HOVING-BOLINK, A. H., KRANEN, R. W., KLONT, R. E., GERRITSEN, C. L. M., & DE GREEF, K. H. Fibre area and capillary supply in broiler breast muscle in relation to productivity and ascites. **Meat science**, v. 56, n. 4, p. 397-402, 2000.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia Básica**, 10ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 488p.

KATO, T.; MASTELINI, S.M.; CAMPOS, G.F.C.; BARBON, A.P.A.C.; PRUDENCIO, S.H.; SHIMOKOMAKI, M.; SOARES, A.L.; BARBON, S. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 32, n. 7, p. 1015, 2019.

KUTTAPPAN, V.A.; LEE, Y.S.; ERF, G.F.; MEULLENET, J.F.C.; MCKEE, S.R.; OWENS, C.M. Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. **Poultry Science**, v. 91, n. 5, p. 1240–1247, 2012.

KUTTAPPAN, V.A.; SHIVAPRASAD, H.; SHAW, D.P.; VALENTINE, B.A; HARGIS, B.M.; CLARK, F.D.; Pathological changes associated with white striping in broiler breast muscles. **Poultry Science**, v. 92, n.2, p. 331-338, 2013.

LAWRIE, R.A. *Ciência da carne*. 6º ed. Porto Alegre: ARTMED, 2005. 384p.

MANCINI, R. A.; HUNT, M. C. Current research in meat color. **Meat Science**, v. 71, n. 1, p. 100-121, 2005.

MARIEB, E. N.; HOEHN, K. **Human Anatomy and Physiology**. Pearson: San Francisco, 2012. 1264 p.

MAZZONI, M.; PETRACCI, M.; MELUZZI, A.; CAVANI, C.; CLAVENZANI, P.; SIRRI, F. Relationship between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat. **Poultry Science**, v. 94, n.1, p. 123– 130, 2015.

MEIJER, A. J. Amino acids as regulators and components of nonproteinogenic pathways. **The Journal of nutrition**, v. 133, n. 6, p. 2057S-2062S, 2003.

MELOCHE, K. J.; FANCHER, B. I.; EMMERSON, D. A.; BILGILI, S. F.; DOZIER, W. A. Effects of reduced dietary energy and amino acid density on Pectoralis major myopathies in broiler chickens at 36 and 49 days of age. **Poultry science**, v. 97, n. 5, p. 1794-1807, 2018.

MONTEIRO, E. M.; SHIMOKOMAKI, M.; GIOELLI, L. A. Influência do cruzamento na maciez da carne ovina. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIA (CONBRAVET)**. 2001.

MUDALAL, S.; LORENZI, M.; SOGLIA, F.; CAVANI, C.; PETRACCI, M. Implications of white striping and *wooden breast* abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. **Animal**, v. 9, n. 4, p. 728–734, 2015.

MUDALAL, S.; BABINI, E.; CAVANI, C.; PETRACCI, M. Quantity and functionality of protein fractions in chicken breast fillets affected by white striping. **Poultry science**, v. 93, n. 8, p. 2108-2116, 2014.

MUÑOZ, A. M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. 1992. **Sensory Evaluation in Quality Control**. Van Nostrand Reinhold, New York, NY.

National Chicken Council. U.S. Broiler Performance Statistics, 2016. Disponível em: <http://www.nationalchickencouncil.org/about-the-industry/statistics/u-s-broiler-performance/>. Acesso em: agosto 2018.

KENNEDY, O. B.; STEWART-KNOX, B. J.; MITCHELL, P. C.; THURNHAM, D.I.; Consumer perceptions of poultry meat: a qualitative analysis. **Nutrition & Food Science**, p. 122-129, 2004.

OLIVO, R.; SHIMOKOMAKI, M. **Carnes**: no caminho da pesquisa. 2 ed. Cocal do Sul: IMPRINT, 2002. 155 p.

ORDÓÑEZ, J. A. Tecnologia de Alimentos: Alimentos de Origem Animal. Porto Alegre: Artmed, 2005. 279 p.

PEARSON, A. M., DUTSON, T. R., BAILEY, A. J. **Advances in Meat Research**. v.4 (Collagen and Food) p.2, 1985.

PETRACCI, M., SOGLIA, F., MADRUGA, M., CARVALHO, L., IDA, E., & ESTÉVEZ, M. Wooden-breast, white striping, and spaghetti meat: causes, consequences and consumer perception of emerging broiler meat abnormalities. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 2, p. 565-583, 2019.

PETRACCI, M., SOGLIA, F., & BERRI, C. (2017). Muscle metabolism and meat quality abnormalities. In M. Petracci & C. Berri (Eds.), *Poultry quality evaluation. Quality attributes and consumer values* (pp. 51–75). Duxford, UK: Woodhead Publishing.

PETRACCI, M.; MUDALAL, S.; SOGLIA, F.; CAVANI, C. Meat quality in fast-growing broiler chickens. **Word's Poultry Science Journal**, v. 71, n. 2, p. 363-374, 2015.

PETRACCI, M.; MUDALAL, S.; BABINI, E.; CAVANI, C. Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat. **Italian Journal of Animal Science**, v. 13, p. 179-183, 2014.

PETRACCI, M.; CAVANI, C. Muscle growth and poultry meat quality issues. **Nutrients**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2012.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes – Fundamentos e metodologias**: Textura e maciez da carne. 2º ed. Viçosa: UFV, 2017.

RICARD-BLUM, S. The Collagen Family. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 3, n.1, p. 1-19, 2011.

SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C.; VENTURINI, K. S. **Características da Carne Suína**. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2007. 7p. (Boletim Técnico, PIE – UFES:00907).

SHIMOKOMAKI, M.; OLIVO, R.; TERRA, N. N.; FRANCO, B. D. G. M **Atualidades em Ciência e Tecnologia de Carnes**. 1. ed., São Paulo: Varela, 2006.

SIHVO, H. K., AIRAS, N., LINDÉN, J., & PUOLANNE, E. Pectoral vessel density and early ultrastructural changes in broiler chicken wooden breast myopathy. **Journal of comparative pathology**, v. 161, p. 1-10, 2018.

SIHVO, H. K.; LINDÉN, J.; AIRAS, N.; IMMONEN, K.; VALAJA, J.; PUOLANNE, E. Wooden breast myodegeneration of pectoralis major muscle over the growth period in broilers. **Veterinary Pathology**, v. 54, n. 1, p. 119-128, 2017.

SIHVO, H. K.; IMMONEN, K.; PUOLANNE, E. Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. **Veterinary Pathology**, v. 51, n.3, p. 619-623, 2014.

SODERHALL, C.; MARENHOLZ, I.; KERSCHER, T.; RÜSCHENDORF, F.; ESPARZA-GORDILLO, J.; WORM, M.; GRUBER, C.; MAYR, G.; ALBRECHT, M.; ROHDE, K.; SCHULZ, H.; WAHN, H.; HUBNER, N.; LEE, Y. Variants in a novel epidermal collagen gene (COL29A1) are associated with atopic dermatitis. **PLoS biology**, v. 5, n. 9, p. e242, 2007.

SOGLIA, F.; MAZZONI, M.; PETRACCI, M. Spotlight on avian pathology: current growth-related breast meat abnormalities in broilers. **Avian Pathology**, v. 48, n. 1, p. 1-3, 2019.

SOGLIA, F.; LAGHI, L.; CANONICO, L.; CAVANI, C.; PETRACCI, M. Functional property issues in broiler breast meat related to emerging muscle abnormalities. **Food Research International**, v. 89, p. 1071-1076, 2016b.

SOGLIA, F.; MUDALAL, S.; BARBINI, E.; DI NUNZIO, M.; MAZZONI, M.; SIRRI, F.; CAVANI, C. PETRACCI, M. Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by *wooden breast* abnormality. **Poultry Science**, v. 95, n. 3, p. 651-659, 2016a.

STRASBURG, G.; XIONG, Y. L.; CHIANG, W. Fisiologia e Química dos tecidos Musculares Comestíveis. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 719-757.

SUENAGA, R.; TOMONAGA, S.; YAMANE, H.; KURAUCHI, I.; TSUNEYOSHI, I.; SATO, H.; DENBOW, D. M.; FURUSE, M. Intracerebroventricular injection of L-arginine induces sedative and hypnotic effects under an acute stress in neonatal chicks. **Amino Acids**, v. 35, n. 1, p. 139-146, 2008.

TALLENIRE, C. W.; LEINONEN, I.; KYRIAZAKIS, I. Artificial selection for improved energy efficiency is reaching its limits in broiler chickens. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2018.

TROCINO, A.; PICCIRILLO, A.; BIROLO, M.; RADAELLI, G.; BERTOTTO, D.; FILIOU, E.; PETRACCI, M.; XICCATO, G. Effect of genotype, gender and feed

restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. **Poultry science**, v. 94, n. 12, p. 2996-3004, 2015.

VALCESCHINI, E. Poultry meat trends and consumer attitudes. In Proceedings of the XII European Poultry Conference. Verona, Italy, 2006. CD-ROM.

VELLEMAN, S. G.; CLARK, D. L.; TONNIGES, J. Fibrillar Collagen Organization Associated with Broiler Wooden Breast Fibrotic Myopathy. **Avian diseases**, v. 61, n. 4, p. 481-490, 2017.

VELLEMAN, S. G.; COY, C. S.; EMMERSON, D. A. Effect of the timing of posthatch feed restrictions on the deposition of fat during broiler breast muscle development. **Poultry science**, v. 93, n. 10, p. 2622-2627, 2014.

VELLEMAN, S. G.; CLARK, D. L. Histopathologic and myogenic gene expression changes associated with wooden breast in broiler breast muscles. **Avian diseases**, v. 59, n. 3, p. 410-418, 2015.

VELLEMAN, S. G.; YEAGER, J. D.; KRIDER, H.; CARRINO, D. A.; ZIMMERMAN, S. D.; MCCORMICK, R. J. The avian low score normal muscle weakness alters decorin expression and collagen crosslinking. **Connective tissue research**, v. 34, n. 1, p. 33-39, 1996.

WILSON, B. W.; P. S. NIEBERG, P. S.; BUHR, R. J. Turkey muscle growth and focal myopathy. **Poultry science**, v. 69, n. 9, p. 1553-1562, 1990.

WU, G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. **Amino Acids**, v. 37, p. 1-17, 2009.

XIONG, Y. L. Protein functionality. **Encyclopedia of Meat Sciences**. Oxford: Elsevier, p. 218-225, 2004.

YOUNG, O. A.; BRAGGINS, T. J.; BARKER, G. J. Pyridinoline in ovine intramuscular collagen. **Meat science**, v. 37, n. 2, p. 297-303, 1994.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O item MATERIAL E MÉTODOS foi contemplado com o desenvolvimento de 2 artigos científicos a seguir relacionados, apresentados no item **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**.

Artigo científico 1: GERONIMO, Bruna Caroline; PRUDENCIO, Sandra Helena; SOARES, Adriana Lourenço. Biochemical and technological characteristics of wooden breast chicken fillets and their consumer acceptance. **Journal of Food Science and Technology**, p. 1-8, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05123-3>

Artigo científico 2. “Filés de frango *wooden breast*: alterações morfológicas das fibras musculares e do perfil de aminoácido e viabilidade de uso na elaboração de produtos cárneos” que será submetido em periódico na área de Ciência de Alimentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

ARTIGO CIENTÍFICO 1

J Food Sci Technol
<https://doi.org/10.1007/s13197-021-05123-3>



ORIGINAL ARTICLE

Biochemical and technological characteristics of wooden breast chicken fillets and their consumer acceptance

Bruna Caroline Geronimo¹  · Sandra Helena Prudencio¹ · Adriana Lourenço Soares¹

Revised: 21 April 2021 / Accepted: 27 April 2021
© Association of Food Scientists & Technologists (India) 2021

Highlights

- *WB* causes changes in appearance, reduction of technological and nutritional meat quality.
- Collagen biochemistry is directly involved in the development of the *WB*.
- The incidence of the *WB* causes economics losses to the poultry sector.
- *WB* showed a low acceptance and the purchase intention was dramatically compromised.

1 **Abstract** The wooden breast (*WB*) has caused great damages to meat producing
2 industries, being its etiology still not fully understood. Thus, the objective of this work
3 was to investigate biochemistry and technological characteristics of *WB* chicken fillets
4 and their consumer acceptance. *WB* fillets were evaluated in regards to color, pH,
5 approximate chemical composition, water holding capacity, cooking loss, shear force,
6 total and soluble collagen, and comparison estimated of pyridinoline. The sensorial
7 analysis used real size images of fillets. The *WB* showed changes in physical
8 parameters such as an increase in luminosity and shear force. In regards to the
9 chemical parameters, showed an increase in pH value, moisture content, lipids, and
10 mineral, and protein content reduction. There were biochemistry changes in the
11 collagen with an increase of 17.32% in total collage content and a reduction by 30.96%
12 in the estimated pyridinoline content. Technological parameters were negatively
13 altered by a reduction in water holding capacity. *WB* fillets showed a low acceptance
14 rate and intention to purchase. Results show the *WB* meat presented biochemistry and
15 technological characteristics compromised besides a low acceptance and purchase
16 intention, leading to economic losses for the poultry sector.

17

18 **Keywords** Sensorial analysis · Appearance · Collagen cross-links · Soluble collagen

19 Introduction

20

21 Wooden breast (*WB*) is characterized essentially by palpable toughness, pale areas,
22 caudal protuberance, and translucent fluid or citrin coloration on the surface (Sihvo et
23 al. 2014), and, for these reasons, it is totally or partially condemned by the industry.
24 These fillets, when processed, can also cause damages due to low yield (Petracci et
25 al. 2015) and low water holding capacity (Mazzoni et al. 2015; Soglia et al. 2016;
26 Geronimo et al. 2019). The low capacity of these fillets to retain water is associated
27 with chemical alterations in protein and mineral content, with a simultaneous increase
28 in moisture and lipids content (Sihvo et al. 2014; Mazzoni et al. 2015; Soglia et al.
29 2016; Geronimo et al. 2019). Changes associated with inflammatory processes and
30 muscle fibers degeneration (Sihvo et al. 2014; Mazzoni et al. 2015; Soglia et al. 2016).

31 Although the etiology of this anomaly has not been fully explained, it is known
32 that *WB* fillets show fibrosis, with an accumulation of connective tissue and an increase
33 in collagen deposition (Sihvo et al. 2014; Soglia et al. 2016), which can be related to
34 the toughness found in these meats. However, the increase *in natura* meat toughness
35 is related not only to collagen content, but also to the amount and stability of cross-
36 links, being the pyridinoline the main form of cross-link found in collagen, characterized
37 and identified for being a thermostable and permanent compound (Coró et al. 2002).
38 As the concentration of pyridinoline increases, collagen solubility decreases, making
39 meat texture tougher (Coró et al. 2002). Pyridinoline content in *WB* fillets is still
40 unknown.

41 Meat appearance, mainly color, is a determining factor for consumers,
42 affecting directly their decisions about the quality and freshness of the cut (Damodaran,
43 Parkin, Fennema 2008). Color alterations, as the presence of pale and yellowish

44 regions, and protuberances on the surface (Sihvo et al. 2014), may influence directly
45 consumer's acceptance and purchase intention. Kato et al. (2019) investigated the
46 perception of American and Brazilian consumers, respectively, in relation to the
47 appearance of chicken fillets with *white striping* (*WS*), an anomaly that may occur
48 simultaneously with *WB*. Both studies used photographic images during the evaluation
49 and found out that, as the anomaly degree of severity increases, acceptance and
50 purchasing intention decreases significantly. The main reason for rejection was
51 associated with the presence of white stripes, which were associated with fat
52 deposition on the surface. It should be noted that directional paired comparison tests
53 in order to prove the paleness, consumer acceptance, and purchase intention have not
54 yet been reported to *WB* fillets.

55 Thus, the objective of this work was to investigate biochemistry and
56 technological characteristics of *WB* chicken fillets and their consumer acceptance. *WB*
57 fillets were evaluated in regards to color, pH, approximate chemical composition, water
58 holding capacity, cooking loss, shear force, total and soluble collagen, and comparison
59 estimated of pyridinoline.

60

61 **Material and methods**

62

63 **Samples Classification**

64

65 The study was conducted in a poultry slaughterhouse in Southern Brazil. Chicken from
66 the same line (Ross 308 AP), mixed sexing, average weight and age (3.51 kg and 47
67 days) were selected and slaughtered, according to standard procedure, including
68 electrically stunning, bleeding, scalding, defeathering, evisceration, cooling, and

69 deboning. Then, chicken breasts were classified and collected. Classification started
70 from a visual and tactile inspection of the chicken breast fillets (*Pectoralis major*) in the
71 slaughter line federal inspection area (or filleting) by trained specialists. Fillets with
72 palpable toughness, pale areas, protuberance in the caudal region, according to the
73 classification described by Sihvo et al. (2014) were considered as *WB* (n=20). Normal
74 fillets - *N* (n=20) were classified based on their normal appearance, i.e., the visual
75 absence of anomalies. After classification, full-size color photos (1600x1200 pixels) of
76 the chicken fillets were individually acquired by an image acquisition system with of a
77 standard illumination (Doc L-Pix model, Loccus Biotecnologia, São Paulo, Brazil), the
78 coded fillets for further sensory analysis represented by digits 286 and 532 correspond
79 to normal and *WB*, respectively (Figure 2). The research was approved by the
80 *Committee on Ethics in the Use of Animals* from Londrina State University (OF. CIRC.
81 CEUA N° 10861.2018.12).

82 Chicken fillets were analyzed regarding their pH level, color (L^* , a^* e b^*),
83 approximate chemical composition, dimensions (cranial and caudal region height,
84 width and length), water holding capacity (WHC), cooking loss (CL), shear force (SF),
85 collagen content (total and soluble), comparison estimated of pyridinoline, directional
86 paired comparison, and acceptance and purchase intention.

87

88 *Approximate chemical composition*

89

90 Approximate chemical composition was determined as described by AOAC (2005).

91 Moisture was quantified by the oven-drying method at 105 °C until constant weight,

92 ashes content by incineration in a muffle at 550 °C, lipids by the Soxhlet method with

93 petroleum ether after meat acid hydrolysis, and proteins by total nitrogen quantification
94 by the Kjeldahl method, using a conversion factor of 6.25.

95

96 *Color and pH measurement*

97

98 Color was measured 24 h *post mortem* with the help of a Minolta CR400 colorimeter
99 with a D65 illuminant and results expressed by the CIELAB system (Soares et al.
100 2002). Readings were made at three distinct points of the internal and external regions
101 of the chicken fillets to obtain values for L* (luminosity), a* (green-red component) and
102 b* (blue-yellow component).

103 The pH value was also obtained 24 h *post mortem* from the insertion of a meat
104 contact potentiometer electrode (Testo 205, Brazil) in the cranial ventral region of the
105 fillet, as described by Olivo et al. (2001).

106

107 *Cooking loss*

108

109 The study used the method described by Honikel (1998) to quantify cooking loss (CL)
110 using cuts from the cranial region of the chicken fillets 24 h *post mortem*, weighed
111 previously and packed in plastic bags hermetically sealed. Next, samples were cooked
112 in a water bath at 80 °C until reaching an internal temperature of 75 °C. After the
113 cooking, the exudate water was discarded and the samples were weighed again after
114 reaching room temperature. The result was expressed in exudate water percentage,
115 considering the initial and final mass of the fillets.

116

117 *Water holding capacity*

118

119 Water holding capacity (WHC) of the samples was determined 24 h *post mortem* as
120 described by Hamm (1960). Previously weighed cubes of approximately 2.0 g,
121 originated from the cranial region were placed between a system with two paper filters
122 and two acrylic plates. Next, after being pressed by 10 kg piece for 5 minutes, they
123 were weighed again. WHC was expressed in percentage, considering the samples
124 initial and final mass.

125

126 *Shear force*

127

128 Shear force (SF) was conducted in raw and cooked samples, being the cooked
129 samples the same submitted to the CL analysis. Samples were cut along the fibers in
130 the dimensions of 1x1x2 cm (height, width, length) as described by Honikel (1998). SF
131 was measured by a TA-XT2i texturometer with a coupled Warner-Bratzler blade at a
132 speed of 5.0 mm/s. Results were expressed in Newton (N), corresponding to the force
133 peak needed to shear the fibers transversally.

134

135 *Total and soluble collagen content quantification*

136

137 Total and soluble collagen content was determined as described by Woessner- Júnior
138 (1961). 1.0 g of chushed sample with 15 mL of HCl 6 mol.L⁻¹ at 105 °C was hydrolyzed
139 for 15 h. The hydrolyzed was filtered, its pH adjusted to 6.0 to 7.0 with the addition of
140 33% of NaOH and HCl mol.L⁻¹. Next, the volume was filled up to 250 mL with distilled
141 water. A 2.0 mL aliquot of the hydrolyzed sample was transferred to a test tube with
142 1.0 mL of chloramine solution maintained at rest for 20 minutes at room temperature.

143 Soon after, 1.0 mL of HClO_4 3.15 mol.L⁻¹ was added for an extra 1 minute. Next, 1.0
144 mL of dimethyl-4- amino benzaldehyde, homogenized, and heated at 60°C was added
145 for 20 minutes. Samples absorbance reading at 557 nm was conducted after they
146 reached room temperature. Total collagen content was obtained from a standard curve
147 with hydroxyproline and the total collagen content was calculated by the hydroxyproline
148 content multiplied by 8.0.

149 Soluble collagen content was determined according to the modified method
150 of Oliveira et al. (1998). 2.5 g of sample was homogenized, using deionized water, for
151 1 minute and heated at 80°C. Next, samples homogenized by an Ultra Turrax at 22000
152 rpm were centrifuged at 4000 rpm, for 15 minutes. The supernatant was filtered 30 ml
153 of HCl 6 mol.L⁻¹ was added for hydrolysis as described for total collagen determination.

154

155 *Comparison estimated of pyridinoline*

156

157 For collagen extraction, 10.0 g of samples were chopped and transferred to an
158 erlenmeyer with 200 mL of KCl 0.6 mol.L⁻¹ and kept under constant agitation for 24
159 hours at 4 °C. Next, samples were centrifuged at 1000 rpm for 25 minutes at 4 °C. The
160 obtained precipitate was left submerged in water at 4 °C for 24 h. Soon after, it was
161 washed with 50 mL of distilled water at 4° C, homogenized and centrifuged. After the
162 supernatant was discarded, the washing process was repeated 6 times (Lira et al.
163 1999). The obtained precipitate was freeze-dried and deep-frozen for 36 h. 100 mg of
164 the freeze-dried sample were weighed and transferred to a screw-top test tube, added
165 1.0 mL of HCl 6 mol L⁻¹ and sealed for posterior hydrolysis in an oven at 105 ° C for 24
166 h (Eyre et al. 1984).

167 The cellulose column was prepared according to Skinner (1982) and the
168 mobile phase included 1-butanol, water and acetic acid (4:1:1). After the hydrolysis,
169 the screw-top test tube received 0.5 mL of cellulose, 2.5% in the mobile phase, 0.5 mL
170 of acetic acid and 2 mL of 1-butanol, homogenized and poured in the column. The
171 column was washed three times with aliquots of 5.0 mL of mobile phase. For the
172 extraction of the pyridinoline retained in the cellulose, 6.0 mL of ultrapure water was
173 passed and collected. Next, it was centrifuged at 3000 for 8 minutes at 4 °C. The
174 supernatant phase was discarded and the remaining was frozen and lyophilized for 24
175 hours for a comparison estimated of pyridinoline (Skinner 1982; Avery et al. 1996).

176 After lyophilization, samples (n=20) were re-suspended in 1,0 mL of acetic acid
177 20% (v.v⁻¹) for a spectrofluorimeter reading. Fluorescence detection intensity (in
178 *counts/mg* of insoluble collagen in 1.0 g dry sample) was determined by applying
179 excitation of 297 nm and emission of 380 nm (Eyre 1987). The pyridinoline standard
180 was not used as reference; however, the concentration could be estimated due to the
181 isolation of the pyridinoline fraction used during the sample preparation, being,
182 therefore, the majoritary pyridinoline fraction. The pyridinoline standard was not used
183 as a reference; however, the concentration could be estimated due to the isolation of
184 the pyridinoline fraction used during the sample preparation. The washing with KCl, for
185 example, aims to extract the myofibrillar proteins from the sample, soluble proteins,
186 and all soluble content present in the sample, since pyridinoline is insoluble, thus
187 eliminating possible interferences to the analysis. In addition, pyridinoline is a naturally
188 fluorescent compound, being it possible to estimate its content from the
189 spectrofluorimeter (CORÓ et al., 2002). In addition, Zhang et al. (2009) report that
190 tryptophan residues, possible interferents, emit light at 340 nm, not interfering with the
191 wavelengths used in the analyses. The emission spectrum obtained for the normal

192 (Figure 1A) and *WB* (Figure 1B) fillets indicates that both samples show the same
193 behavior without fluorescent interferences, indicating the possibility of using it for an
194 estimated comparison of pyridinoline content.

195

196 *Sensorial Analysis*

197

198 The directional paired comparison, and acceptance and purchase intention tests were
199 used to investigate the real impacts of the incidence of *WB* in fillets destined to
200 commercialization, applied at different days. To eliminate any possible bias, only
201 habitual chicken meat consumers participated in the research. The study was
202 approved by the Londrina State University Ethics Committee for Research Involving
203 Human Beings no. 2.673.746, CAAE 89055118.9.0000.5231.

204 As recommended by the Ministry of Health, one of the emergency measures
205 taken during the new coronavirus COVID-19 pandemic was to avoid agglomeration.
206 The use of photos had already been proven as an effective method for the visual
207 evaluation of raw chicken breasts, so the procedure was used during the white striping
208 evaluation (*WS*) (Kato et al. 2019).

209 The sensorial analysis was performed with 250 different and untrained
210 panelists (chicken breast fillets consumers). The panel included 68.8% women and
211 31.2% men, predominantly between the ages of 26 and 35 (35.1%) and consumption
212 frequency of 1-3 (74.1%) times a week. The photos codified with randomized numbers
213 were presented simultaneously. The panelists were instructed to adjust the screen of
214 their electronic instrument forming a 90° angle for standardization purposes, and better
215 image evaluation and color discrimination. Next, the directional paired comparison test
216 was applied, with the request for the indication of the paler sample, followed by the

217 acceptance test using the 9 points hedonic scale (1 = dislike extremely; 9 = like
218 extremely) and purchase intention using the 5 points structured scale (1 = I definitely
219 would buy to 5 = I definitely would not buy). At the end of each evaluation, panelists
220 were asked the reason for their answers.

221

222 *Statistics Analysis*

223

224 Directional paired comparison data were analyzed using a table based on the binomial
225 distribution (one-tailed) according to Meilgaard et al. (1999). Overall acceptance
226 results, purchase intention and physical, chemical and technological were evaluated
227 using the Student *t* test at 5% of probability to compare *WB* and Normal chicken fillets,
228 using the *Statistica 7.0* software.

229

230 **Results and discussion**

231

232 **Physical, chemical and technological parameters of *WB* fillets**

233

234 The incidence of *WB* in chicken breast resulted in significant structural changes,
235 compromising its physical, chemical, and technological characteristics. Chicken fillets
236 with *WB* showed higher pH value ($p < 0.05$), results similar to those reported previously
237 (Tasoniero et al. 2016; Geronimo et al. 2019; Madruga et al. 2019). The higher final
238 pH value of chicken fillets was positively correlated with the increase in breast
239 development, as described by Berri et al. (2007). In fact, fillets with *WB* showed greater
240 development, with an increase in the dimensions of the cranial and caudal regions, as
241 shown in Table 1. This result can be due to a histological alteration caused by a muscle

242 fibers degeneration, which reduces the glycogen content available, and consequently,
243 reduces acidification during the post mortem period, reflecting in higher final pH value
244 (Table 1) (Mudalal et al. 2014a; Sihvo et al. 2014). In addition, Abasht et al. (2016)
245 observed in *WB* biomarkers associated with oxidative stress and alteration in the use
246 of glycogen.

247 *WB* fillets showed higher L^* and b^* values when compared to normal fillets
248 (Table 1), confirming the presence of pale areas and yellowish regions in the cut, these
249 alterations being microscopically observed in breasts with the anomaly (Sihvo et al.
250 2014). Moreover, this result may be related to the higher final pH value of *WB* fillets
251 and histological changes resulting from successive degeneration of muscle fibers
252 (Petracci et al. 2015). Mudalal et al. (2014a), Tasoniero et al. (2016) and Geronimo et
253 al. (2019) described similar results.

254 In regards to the fillets physical dimensions, *WB* fillets showed a significant
255 increase in the caudal and cranial region, with no significant alterations in width and
256 length (Table 1). Results are in agreement with those reported by Mudalal et al.
257 (2014a) and confirm the protuberance in the caudal region and the bulging in the
258 cranial region, alterations microscopically observed and that help detects the anomaly
259 (Sihvo et al. 2014). In addition, these results suggest that chicken with *WB* shows an
260 increase in fillet development, supporting the hypothesis that the anomaly is correlated
261 with the increase in the chicken growth rate (Mudalal et al. 2014a).

262 Raw *WB* fillets were 37.52% tougher than the normal fillets by the shear force
263 instrumental measure (Table 1), which is one of the main characteristics observed in
264 the detection of the anomaly (Sihvo et al. 2014). The increase in the hardness of raw
265 fillets can be explained due to the increase in collagen deposition resulting from the
266 fibrosis process (Sihvo et al. 2014). However, the increase in hardness of the meat is

267 not only related to the collagen content but with the amount of mature and stable
268 crosslinking, the pyridinoline (Coró et al. 2002). In contrast, when cooked, there was
269 no significant difference regarding hardness. This result may be directly related to the
270 lower number of cross-links observed in fillets with *WB*, as shown in Table 3. Results
271 suggest that the muscle fiber regeneration process occurs an increase in collagen
272 synthesis, with fewer cross-links and immature formation of cross-links, which are
273 easily broken by heating temperatures.

274 In relation to the technological characteristics, there was a reduction in water
275 retention capacity in fillets with *WB* and an increase in cooking loss (Table 1). These
276 results are associated with the change in the chemical composition of the fillets with
277 the anomaly, which showed a reduction in total protein content (Table 2), especially
278 sarcoplasmic and myofibrillar proteins (actin and myosin) (Mudalal et al. 2014b),
279 responsible for the water retention in the meat. This can be corroborated by the higher
280 collagen: protein ratio (Table 3) and increased lipid content, inducing a high
281 hydrophobicity, with a consequent reduction in its ability to water retention capacity in
282 its structure (Soglia et al. 2016).

283 The *WB* anomaly promoted alterations in the chemical composition of the meat
284 (Table 2), with an increase by 2.43% in moisture that can be explained by the
285 occurrence of a moderate to serious edema (liquid accumulation), a result of
286 inflammatory processes (Sihvo et al. 2014). Fillets with *WB* showed a reduction of
287 14.97% in protein content and an increase of 63.77% in lipids. The reduced protein
288 content is due to the degeneration and atrophy of the muscle fibers (Mudalal et al.
289 2014b; Soglia et al. 2016), while the increase in lipids content is due to lipidosis, the
290 replacement of the muscle tissues by adipose tissues (Sihvo et al. 2014; Velleman &
291 Clark 2015). In regards to ash content, fillets with *WB* showed a reduction by 11.3%,

292 which could be due to the fibers degeneration process that causes damages to the
293 membrane with consequential cell liquid losses and reduction of the present minerals,
294 results similar to those reported by Mazzoni et al. (2016) e Geronimo et al. (2019).

295 **Changes in collagen biochemistry**

296

297 The collagen-protein ratio increase in the *WB* fillets (Table 3) points out to a reduction
298 in the nutritional value due to the collagen low digestibility and a deficiency in some
299 essential amino acids (Mudalal et al. 2014b). *WB* fillets showed higher total collagen
300 content by 17.32%. The increase in lipids content parallel to the reduction in protein
301 content was already observed previously by Mudalal et al. (2014b) when studying
302 *white striping (WS)*, an anomaly that also attacks chicken breasts and can also happen
303 simultaneously to *WB* (Tasoniero et al. 2016). According to Mudalal et al. (2014b) and
304 Soglia et al. (2016), the degeneration and atrophy of the muscle fibers can induce a
305 reduction in protein content, while, in the muscle degeneration process, there is a
306 deposition of the conjunctive tissue, i.e., fibrosis, which, consequently, results in an
307 increase in collagen content.

308 Collagen is a fibrous protein that has insolubility in water due to the high
309 concentration and disposition of hydrophobic amino acids inside the molecule and on
310 the surface (Damodaran et al. 2008). In meat, the increase in hardness is not only
311 related to the collagen content, but to the quantity and stability of the cross-links, such
312 as pyridinolines. In cross-linking, three collagen molecules are connected, making it
313 more stable, insoluble and heat resistant (Damodaran et al. 2008). Soluble collagen is
314 that solubilized during cooking, moreover, as the chicken ages, the solubility of
315 collagen decreases, increasing the content of pyridinoline (Coró et al. 2002).

316 The pyridinoline corresponds to a naturally fluorescent trivalent amino acid that
317 constitutes the collagen cross-link (Coró et al. 2002). Considering this natural
318 fluorescence, the study used fluorescence spectroscopy for an estimated comparison
319 of pyridinoline content. According to Eyre et al. (1984), a maximum excitation at 295
320 nm occurs in the pH acid due to the ring protonation of the hydroxyl group, while the
321 maximum emission is observed at 395 nm. Thus, samples readings were realized
322 using these parameters.

323 Collagen cross-links are formed between individual molecules at highly
324 specific points (Bailey 1992), and they increase with the muscular development and
325 growth affecting meat quality, making it tougher (Coró et al. 2002). However, although
326 fillets with *WB* are characterized mainly by an increase in palpable rigidity (Table 1),
327 there was a 30.9% reduction in pyridinoline concentration (Table 3). i.e., a lower
328 number of collagen cross-links. This result may be due to successive processes that
329 compromise the muscle fibers structurally, attested by the histological and physical-
330 chemical evaluations (Sihvo et al. 2014, Soglia et al. 2016).

331 Histologically, fillets with *WB* showed muscle fibers degeneration, reduction in
332 the number of fibers, variation in fiber diameter, presence of atrophic fibers,
333 mononuclear cells infiltration and interstitial inflammation (Sihvo et al. 2014). Sihvo et
334 al. (2014) and Soglia et al. (2016) observed a process of degeneration and multifocal
335 regeneration, multifocal necrosis, myopathic lesions, damaged muscle substitution by
336 adipocytes, thickening of the perimysial network (fibrosis). Thus, the reduction of the
337 estimated pyridinoline content in fillets with *WB* may be due to these muscles lesions,
338 since, despite the occurrence of these fibers regeneration, there is not enough time for
339 the new biosynthetic collagen to develop mature pyridinoline cross-links.

340 **Directional paired comparison test, consumer acceptance and purchase**
341 **intention of *WB* fillet**

342 The directional paired comparison test verified consumers' perception in relation to the
343 pallor of chicken fillets with *WB* destined to commercialization. An evaluation based on
344 pictures taken individually, with standard lighting, excluded possible mistakes
345 originating from external sources. From the 205 panelist, 103 identified the *WB* as paler
346 and 102 opted for the normal fillet. According to the one-sided test, there is no
347 significant difference between normal chicken fillets and those with *WB* in relation to
348 paleness at the 5% probability level.

349 The use of pictures during the sensorial analysis has the sole purpose of
350 evaluating the appearance of the product, which in this case, corresponds to chicken
351 fillets sent to commercialization, since this is one of the main attributes altered in
352 chicken with the anomaly (Sihvo et al. 2014; Geronimo et al. 2019). According to Table
353 4, chicken fillets with *WB* showed a significant reduction in global acceptance
354 (40.72%), a result that affected directly and significantly the low purchase intention (p
355 < 0.05). Considering that 64.4% of the consumers reported having slightly or strongly
356 disliked chicken fillets with *WB* and 56.6% of them certainly/possibly would not
357 purchase the product. Therefore, although consumers saw no difference between the
358 fillets in relation to paleness, *WB* showed a low acceptance rate, and purchase
359 intention was drastically reduced.

360 Consumers justified the reason for their answers in relation to the fillets both
361 in the acceptance and purchase intention tests. The main problems mentioned for *WB*
362 were the strong presence of stripes, fatty aspect, tough meat appearance, difficult
363 preparation, non-uniform color, and bulging. On the other hand, normal fillets had
364 positive evaluations such as uniform size and coloration, healthy aspect, tender meat

365 aspect and less fat. All observations indicate how much the consumer is aware of the
366 variations in the standard of quality of chicken breasts, corroborating the results
367 observed.

368

369 **Conclusion**

370 The incidence of the anomaly resulted in undesirable changes in the appearance and
371 reduced technological quality of the chicken breast, compromising the yield and meat
372 quality offered to the market or forwarded to the elaboration of processed products. In
373 addition, fillets *WB* showed a reduction in pyridinoline concentration i.e., a lower
374 number of collagen cross-links. The anomaly compromised the perception of
375 consumers, directly influencing a low acceptance rate and purchase intention, a result
376 that may indicate economic losses for the poultry sector.

377

378 **Declaration of Interest**

379 The authors declare that they do not have any conflict of interest of this manuscript
380 entitled by “Biochemical and technological characteristics of wooden breast chicken
381 fillets and their consumer acceptance”.

382

383 **Authors' contributions**

384

385 Geronimo, BC, and Soares, AL planned the experiments. Geronimo, BC carried out
386 the experiments. All authors contributed to the interpretation and discussion of the
387 results. Geronimo, BC wrote the manuscript with input from all authors.

388

389 **Acknowledgments**

390 The authors are grateful to the Coordination for the Improvement of Higher Education
391 Personnel (CAPES) for granting a doctoral scholarship to Geronimo, BC.

392

393 **Declaration of Interest**

394

395 The authors declare that they do not have any conflict of interest of this manuscript
396 entitled by “Biochemical collagen, consumer acceptance and purchase intention of
397 wooden breast meat”.

398

399 **Authors' contributions**

400

401 Geronimo, BC, and Soares, AL planned the experiments. Geronimo, BC carried out
402 the experiments. All authors contributed to the interpretation and discussion of the
403 results. Geronimo, BC wrote the manuscript with input from all authors.

404

405 **Acknowledgments**

406

407 The authors are grateful to the Coordination for the Improvement of Higher Education
408 Personnel (CAPES) for granting a doctoral scholarship to Geronimo, BC.

409

410 **References**

411

412 Abasht B, Mutryn MF, Michalek RD, Lee WR (2016) Oxidative stress and metabolic
413 perturbations in *WB* disorder in chickens. *PLoS One* 11(4): e0153750.

414 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153750>

- 415 Association of Official Analytical Chemists (2005) Official methods of analysis of
416 AOAC, 18th edn. AOAC, Washington, DC, USA
- 417 Avery NC, Sims TJ, Warkup C, Bailey AJ (1996) Collagen cross-linking in porcine m.
418 *longissimus lumborum*: Absence of a relationship with variation in texture at pork
419 weight. *Meat Sci* 42(3):355-369. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00021-6](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)00021-6)
- 420 Bailey, AJ (1992) Procter memorial lecture: Collagen-nature's framework in the
421 medical, food and leather industries. *J Soc Leath Tech Ch* 76: 111-127.
- 422 Berri C, Le Bihan-Duval E, Debut M, Santé-Lhoutellier V, Baéza E, Gigaud V, Jégo Y,
423 Duclos MJ (2007) Consequence of muscle hypertrophy on characteristics of
424 Pectoralis major muscle and breast meat quality of broiler chickens. *J Anim Sci*
425 85(8):2005-2011. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-398>
- 426 Coró FAG, Youssef EY, Shimokomaki M (2002) Age related changes in poultry breast
427 meat collagen pyridinoline and texture. *J Food Biochem* 26(6):533-554.
428 <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2002.tb00771.x>
- 429 Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2008). Fennema's food chemistry,
430 4th ed. Boca Raton, FL.
- 431 Eyre DR, Koob TJ, Van Ness KP (1984) Quantification of hidropiridinium crosslinks in
432 collagen by high performance liquid chromatography. *Anal Biochem* 137: 380-
433 388.
- 434 Eyre DR (1987) Collagen cross-linking amino acids. *Methods Enzymol* 144:115-139.
435 [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)44176-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)44176-1)
- 436 Geronimo BC, Mastelini SM, Carvalho RH, Júnior SB, Barbin DF, Shimokomaki M, Ida
437 EI (2019) Computer vision system and near-infrared spectroscopy for
438 identification and classification of chicken with *WB*, and physicochemical and

- 439 technological characterization. *Infrared Phys Technol* 96:303-310.
440 <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.11.036>
- 441 Hamm R (1960) Biochemistry of meat hydration. *Adv Food Res* 10(2):355-463.
442 [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60141-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60141-X)
- 443 Honikel KO (1998) Reference methods for the assessment of physical characteristics
444 of meat. *Meat Sci* 49:447-457. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5)
- 445 Kato T, Mastelini SM, Campos GFC, Barbon APAC, Prudencio SH, Shimokomaki M,
446 Soares AL, Barbon S (2019) White striping degree assessment using computer
447 vision system and consumer acceptance test. *Asian-Australas J Anim Sci*
448 32(7):1015-1026. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0504>
- 449 Lira GM, Shimokomaki M, Gioielli LA (1999) Efeitos do processamento sobre a
450 solubilização das frações protéicas (miofibrilares e colagenosa) e textura da
451 carne-de-sol. *RBCF, Rev Bras Ciênc Farm (Impr.)*, 237-244.
- 452 Mazzoni M, Petracci M, Meluzzi A, Cavani C, Clavenzani P, Sirri F (2015) Relationship
453 between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat.
454 *Poult Sci* 94(1): 123– 130. <https://doi.org/10.3382/ps/peu043>
- 455 Meilgaard M, Civille GV, Carr BT (1999) *Sensory evaluation techniques*, 3rd edn. CRC
456 Press, Boca Raton
- 457 Madruga MS, Rocha TC, Carvalho LM, Sousa AMBL, Sousa Neto AC, Coutinho DG,
458 Ferreira ASC, Soares AJ, Galvão MS, Ida EI, Estévez M (2019) The impaired
459 quality of chicken affected by the wooden breast myopathy is counteracted in
460 emulsion-type sausages. *J Food Sci Technol* 56(3):1380-1388.
461 <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03612-0>

- 462 Mudalal S, Babini E, Cavani C, Petracci M (2014b) Quantity and functionality of protein
463 fractions in chicken breast fillets affected by white striping. *Poult Sci* 93(8):2108-
464 2116. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-03911>
- 465 Mudalal S, Lorenzi M, Soglia F, Cavani C, Petracci M (2014a) Implications of white
466 striping and *WB* abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken
467 meat. *Anim* 9(4):728–734. <https://doi.org/10.1017/S175173111400295X>
- 468 Oliveira LB, Soares GJD, Antunes PL (1998) Influência da maturação de carne bovina
469 na solubilidade do colágeno e perdas de peso por cozimento. *Rev Bras*
470 *Agrocienc* 4:166-171. <https://doi.org/10.18539/cast.v4i3.217>
- 471 Olivo R, Soares AL, Ida EI, Shimokomaki M (2001) Dietary vitamin E inhibits poultry
472 PSE and improves meat functional properties. *J Food Biochem* 25:271-283.
473 <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2001.tb00740.x>
- 474 Petracci M, Mudalal S, Soglia F, Cavani C (2015) Meat quality in fast-growing broiler
475 chickens. *Worlds Poult Sci J* 71(2):363-374.
476 <https://doi.org/10.1017/S0043933915000367>
- 477 Sihvo HK, Immonen K, Puolanne E (2014) Myodegeneration with fibrosis and
478 regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. *Vet Pathol* 51(3):619-623.
479 <https://doi.org/10.1177/0300985813497488>
- 480 Skinner SJM (1982) Rapid method for the purification of the elastin cross-links,
481 desmosine and isodesmosine. *J Chromatogr B Biomed Sci Appl* 229(1):200-204.
482 [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(00\)86052-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(00)86052-1)
- 483 Soares AL, Lara JAF, Ida EI, Guarnieri PD, Olivo R, Shimokomaki M (2002) Variation
484 in the colour of brazilian broiler breast fillet. *Proceedings Int Cong Meat Sci*
485 *Technol* 48(2):540-541.

- 486 Soglia F, Mudalal S, Barbini E, Di Nunzio M, Mazzoni M, Sirri F, Cavani C, Petracchi M
487 (2016) Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major
488 muscle affected by *WB* abnormality. *Poult Sci* 95(3):651-659. <https://doi.org/10.3382/ps/pev353>
489
- 490 Tasoniero G, Cullere M, Cecchinato M, Puolanne E, Dalle Zotte A (2016)
491 Technological quality, mineral profile, and sensory attributes of broiler chicken
492 breasts affected by white striping and *WB* myopathies. *Poult Sci* 95(11):2707-
493 2714. <https://doi.org/10.3382/ps/pew215>
- 494 Velleman SG, Clark DL (2015) Histopathologic and myogenic gene expression
495 changes associated with *WB* in broiler breast muscles. *Avian Dis* 59(3):410-418.
496 <https://doi.org/10.1637/11097-042015-Reg.1>
- 497 Zhang, J., Liu, W., Yi, Z., Chen, R., Li, Y. & Min, Y. (2009). The molecular mechanism
498 of photodynamic therapy to fibrosis: Regulation on the pyridinoline cross-link
499 formation in collagen. *Chinese Science Bulletin*, 54, 2230–2234.
500 <https://doi.org/10.1007/s11434-009-0420-z>.
- 501 Woessner-Junior JF (1961) The determination of hydroxyproline in tissue and protein
502 samples containing small proportions of this imino acid. *Arch Biochem Biophys*
503 93:440-447. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(61\)90291-0](https://doi.org/10.1016/0003-9861(61)90291-0)

Figure Caption

Fig. 1. – Emission spectrum obtained from a normal fillet (A) and *WB* (B) for an estimated pyridinoline comparison

Fig. 2. – Full-size color photos individually acquired from the normal chicken breast (286) and *WB* (532) for sensory analysis

Figure 1

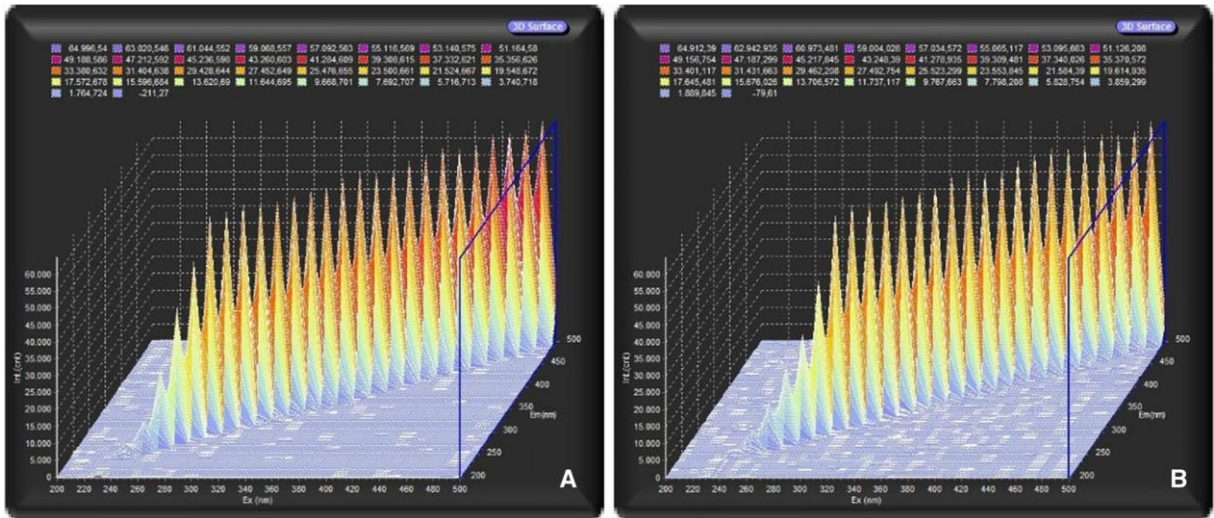


Figure 2



286



532

Table 1. Physical, chemical and technological parameters in normal and *WB* chicken fillets.

Parameters	Groups	
	Normal	<i>WB</i>
pH	5.76 ^b ± 0.09	5.88 ^a ± 0.12
L*	52.79 ^b ± 2.68	57.61 ^a ± 2.49
a*	-2.10 ^a ± 0.65	-1.53 ^b ± 0.87
b*	6.46 ^b ± 2.00	7.84 ^a ± 2.06
Dimensions		
Cranial region height (cm)	4.12 ^b ± 0.25	5.13 ^a ± 0.32
Caudal region height (cm)	1.33 ^b ± 0.28	2.49 ^a ± 0.34
Wigth (cm)	9.32 ^a ± 0.94	9.05 ^a ± 0.81
Length (cm)	18.05 ^a ± 0.98	17.70 ^a ± 2.01
WHC	69.34 ^a ± 1.79	67.87 ^b ± 2.40
CL	21.29 ^b ± 1.37	28.37 ^a ± 3.83
SF of raw (N)	12.24 ^b ± 3.27	19.59 ^a ± 5.40
SF of cooked (N)	28.57 ^a ± 6.40	28.26 ^a ± 5.53

*WHC: Water holding capacity *CL: Cooking loss *SF: Shear force.

^{a,b} Different letters on the same line were statistically different according to Student's t- test ($p < 0.05$)

Table 2. Approximate centesimal composition of normal and *WB* fillets.

Parameters	Groups	
	Normal	<i>WB</i>
Moisture (%)	74.54 ^b ± 0.80	76.40 ^a ± 1.21
Protein (%)	24.52 ^a ± 2.79	20.85 ^b ± 1.35
Lipids (%)	0.69 ^b ± 0.16	1.13 ^a ± 0.19
Ash (%)	1.15 ^a ± 0.06	1.02 ^b ± 0.05

^{a,b} Different letters on the same line were statistically different according to Student's t- test ($p < 0.05$)

Table 3. Total, soluble and pyridinoline collagen in normal and *WB* chicken fillets.

Parameters	Groups	
	Normal	<i>WB</i>
Total collagen (%)	1.27 ^b ± 0.11	1.49 ^a ± 0.20
Soluble collagen (%)	0.16 ^a ± 0.03	0.17 ^a ± 0.03
Collagen/protein ratio	5.18 ^b	7.15 ^a
Pyridinoline (<i>counts</i> /mg of insoluble collagen in 1.0 g dry sample)	217.19 ^a ± 43.28	149.96 ^b ± 27.11

^{a,b} Different letters on the same line were statistically different according to Student's t-test ($p < 0.05$)

Table 4. Acceptance and purchase intention of normal chicken fillets and *WB* through pictures taken individually.

Degrees of <i>WB</i>	Acceptance	Purchase intention
Normal	7.22 ^a ± 1.40	4.37 ^a ± 0.89
<i>WB</i>	4.28 ^b ± 1.80	2.60 ^b ± 1.15

^{a,b} Different letters on the same column were statistically different according to Student's t-test ($p < 0.05$)

504 **ARTIGO CIENTÍFICO 2**

505

506 **FILÉS DE FRANGO *WOODEN BREAST*: ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DAS**
507 **FIBRAS E DO PERFIL DE AMINOÁCIDOS E VIABILIDADE DE USO NA**
508 **ELABORAÇÃO DE PRODUTOS CÁRNEOS**

509

510 Bruna Caroline Geronimo^a; Margarida Masami Yamagushi^b; Giovana Wingeter di
511 Santis^c; Adriana Lourenço Soares Russo^a

512

513 ^a Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de
514 Londrina (UEL), Brasil

515 ^b Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Londrina, Brasil

516 ^c Departamento de Medicina Veterinária Preventiva, Universidade Estadual de
517 Londrina (UEL), Brasil

518 Resumo

519

520 O presente estudo teve como objetivo avaliar histologicamente a estrutura das
521 fibras musculares de filés *Wooden Breast (WB)*, caracterizar o perfil de aminoácidos
522 e elaborar hambúrgueres e mortadelas para avaliar a viabilidade de seu uso. Foram
523 coletados filés (*pectoralis major*) em frigorífico comercial e foram classificados em
524 normal (sem alteração visual) e com *WB* (com alterações visuais características) por
525 um especialista treinado. Os hambúrgueres e mortadelas foram elaborados,
526 armazenados e avaliados quanto as suas características. Histologicamente,
527 observou-se o comprometimento das fibras musculares em todas os filés avaliados,
528 sendo que os filés normais apresentaram fibras com lesões pontuais de processos
529 degenerativos, enquanto que os filés *WB* apresentaram morfologia das fibras com
530 maior degeneração e necrose, fibroplasia, processo inflamatório e resíduo de fibras
531 necróticas. No perfil de aminoácidos, os filés *WB* apresentaram aumento significativo
532 ($p < 0,05$) no conteúdo de hidroxiprolina, alanina, glicina, taurina, prolina e histidina, e
533 uma redução no teor dos aminoácidos treonina, metionina, isoleucina e triptofano
534 ($p > 0,05$), indicando que ocorreram processos degenerativos, estresse oxidativo e
535 processos inflamatórios. Em relação aos produtos cárneos, os hambúrgueres
536 elaborados com *WB* apresentaram um aumento de 2,38% no conteúdo de umidade e
537 redução de 17% no conteúdo de proteínas, enquanto as mortadelas apresentaram
538 aumento de 1,15% de umidade. A aplicação de carnes *WB* nestes produtos não
539 influenciou no rendimento e estabilidade, entretanto, resultou em um pH mais elevado,
540 e em hambúrgueres mais macios e com maior oxidação lipídica. Os resultados
541 indicaram que filés *WB* apresentam processo degenerativo com necrose das fibras

542 comprometendo a sua qualidade *in natura*. No entanto, o uso de filés *WB* na
543 elaboração de produtos cárneos mostrou ser uma alternativa viável.

544

545 **Palavras-chave:** degeneração, frangos de corte, miopatia, produtos cárneos, stress
546 oxidativo

547

548 **INTRODUÇÃO**

549

550 Nos últimos anos, a carne de frango destacou-se entre as proteínas de fonte
551 animal ofertadas no mercado, sendo uma das mais consumidas no mundo (ABPA,
552 2021). Fatores associados ao baixo custo, facilidade e diversidade de preparo,
553 propriedades nutritivas e sensoriais, além de consumo livre de restrições religiosas ou
554 culturais são responsáveis pelo crescente aumento na demanda e interesse pela
555 carne de frango (Petracci et al., 2015; ABPA, 2021).

556 Para atender à crescente demanda, a indústria avícola foi impulsionada a
557 realizar intensa seleção genética objetivando a obtenção de aves com menor tempo
558 de abate e maiores taxas de crescimento e rendimento de carcaça (Petracci et al.,
559 2015). O rápido crescimento destas aves, induzido principalmente pela hipertrofia do
560 peito de frango, resultou em fibras com menor capilarização e suprimento inadequado
561 de nutrientes e oxigênio, levando ao surgimento de anormalidades como o *wooden*
562 *breast (WB)* (Petracci et al., 2015; Soglia et al., 2016).

563 Filés de frangos comprometidos pela anomalia *WB* são caracterizados
564 principalmente pelo aumento da rigidez palpável, coloração pálida, protuberância na
565 região caudal e cranial, presença de exsudado e pequenas hemorragias (Sihvo et al.,
566 2014; Dalle Zotte et al., 2017). Apresenta um distúrbio na qualidade e integridade da

567 carne observados a partir da redução de enzimas glicolíticas, alterações no conteúdo
568 de glicogênio e utilização da glicose, com acúmulo de sorbitol, que potencializa o
569 stress oxidativo do músculo afetado (Mudalal et al., 2015; Abashit et al., 2016).

570 Histologicamente, as fibras musculares dos frangos *WB* apresentam lesões
571 decorrentes de processos inflamatórios, que podem ser observados a partir da
572 presença de linfócitos T e elevados níveis de histamina no músculo (Velleman e Clark,
573 2015; Abasht et al., 2016). Ainda, apresentam fibras musculares com degeneração
574 moderada a severa, variação do diâmetro e tamanho das fibras, acúmulo de tecido
575 conjuntivo (fibrose), com conseqüente aumento na deposição de colágeno e acúmulo
576 de gordura intramuscular (lipidose) (Sihvo et al., 2014). Este aumento na deposição
577 de colágeno pode estar diretamente relacionado com o aumento da rigidez destes
578 filés (Sihvo et al., 2014; Soglia et al., 2016; Geronimo et al., 2021). A degeneração das
579 fibras musculares ocasiona mudanças estruturais como o aumento do teor de
580 umidade e redução do conteúdo de proteínas (Mazzoni et al., 2015; Soglia et al.,
581 2016). Estas alterações podem comprometer a qualidade da proteína da carne, que
582 pode ser mensurada a partir da análise do perfil de aminoácidos (Dalle Zotte et al.,
583 2020), altos níveis de aminoácidos de cadeia ramificada podem indicar remodelação
584 da matriz extracelular ocasionada por alterações no tecido muscular, como a presença
585 de fibrose em frangos *WB* (Abasht et al., 2016).

586 Dependendo do grau de severidade da anomalia, sua incidência reflete direta
587 e significativamente em uma baixa aceitação e intenção de compra (Geronimo et al.,
588 2021), sendo em muitos casos direcionados para elaboração de produtos cárneos
589 (Kuttappan et al., 2012a). A aplicação de carnes com menor aceitação em produtos
590 cárneos possibilita sua utilização, sendo geralmente utilizadas em produtos triturados
591 e emulsificados, em substituição da carne normal (Ranken, 2000; Qin, 2013). Assim,

592 a aplicação de filés *WB* na elaboração de produtos cárneos pode ser uma alternativa
593 para o direcionamento destes cortes.

594 O presente estudo teve como objetivo avaliar a morfologia das fibras
595 musculares de filés *WB*, identificar alterações nas fibras musculares a partir da
596 caracterização do perfil de aminoácidos e elaborar hambúrgueres e mortadelas com
597 filés *WB* para avaliar a viabilidade de seu uso.

598

599 **MATERIAL E MÉTODOS**

600

601 *Coleta das amostras*

602

603 O projeto de pesquisa foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais
604 da Universidade Estadual de Londrina (Protocolo CEUA nº 10861.2018.12). Para o
605 experimento, oitenta filés (*pectoralis major*) provenientes de frangos de sexagem
606 mista e mesma linhagem (Ross 308), idade de 47 dias e peso médio de
607 aproximadamente 3,51 kg foram coletados em frigorífico avícola comercial localizado
608 no estado do Paraná/Brasil. Os frangos foram abatidos conforme procedimento
609 padrão. A classificação dos filés de frango foi realizada por especialista treinado a
610 partir de inspeção tátil e visual, conforme descrito por Sihvo et al. (2014). Filés *WB*
611 (n=40) foram identificados por apresentarem rigidez palpável, presença de áreas
612 pálidas e pequenas hemorragias, exsudato, e protuberância na região caudal e
613 cranial. Filés normais (n=40) foram identificados pela ausência de anomalias visuais.

614

615 *Avaliação histológica*

616 Imediatamente após abate, os filés de frango normais (n=10) e *WB* (n=10) foram
617 cuidadosamente cortados transversalmente, seguindo a orientação das fibras
618 musculares por um comprimento de 3 cm. As amostras foram posicionadas em
619 cortiças e as extremidades foram grampeadas para evitar as contrações musculares,
620 conforme descrito por Velleman e Clark (2015). Em seguida, as amostras foram
621 acondicionadas em solução de formol tamponado a 10% por 48 horas, desidratadas
622 em álcool (70%), diafanizadas e parafinadas e posterior clivagem em micrótomo com
623 espessura de 5 µm. Foram realizadas as colorações de hematoxilina e eosina (HE)
624 e tricrômio de Masson. As lesões foram identificadas e elaborados critérios
625 morfológicos microscópicos baseados nos estudos descritos por Sihvo et al. (2014) e
626 em Velleman e Clark (2015). Um escore lesional para cada caso foi criado, atribuindo-
627 se a seguinte fórmula: $(A \times 2) + (B \times 2) + C$. Sendo A = Degeneração/necrose, variando
628 de 0 (ausência) a 3 (presença de grande quantidade de fibras arredondadas,
629 hipereosinofílicas, com estriações pouco evidentes e/ou de fibras fragmentadas,
630 amorfas, de aspecto hialino).

631 B= Fibroplasia (B), variando de 0 (ausência) a 3 (proliferação de grande quantidade
632 de tecido conjuntivo frouxo endomisial e/ou perimisial)

633 C= Inflamação, variando de 0 (ausência) a 2 (presença de grande quantidade de
634 heterófilos e macrófagos intersticiais e/ou infiltrando miofibras necróticas)

635

636 *Análise do perfil de aminoácidos*

637

638 As amostras de filés de frango normais (n=10) e *WB* (n=10) foram
639 homogeneizadas, congeladas, liofilizadas e moídas para passarem em uma peneira
640 de 40 mesh de acordo com o método descrito por White et al. (1986) e Hagen et al.

641 (1989). A metionina e cisteína foram oxidadas à ácido cisteico e metionina sulfona a
642 partir da mistura de 30% de peróxido de hidrogênio e 88% ácido fórmico (1:9, v/v). Em
643 seguida, para quantificação dos aminoácidos (exceto triptofano) as amostras foram
644 hidrolisadas com HCl 6 N por 24 h a 110°. Após hidrólise, foram adicionados 10 mL
645 de solução de padrão interno (AABA, 10 µmol/ml). Para quantificação do triptofano,
646 as amostras foram hidrolisadas sob condições alcalinas com solução de LiOH 4 N e
647 aquecidas a 145 °C por 4h, conforme descrito por Lucas e Sotelo (1980). Para
648 remoção de possíveis interferentes (proteínas e lipídios de alto peso molecular)
649 utilizou-se o cartucho Sep-pak C18 (Waters). As amostras foram secas a vácuo em
650 temperatura ambiente (menos de 75 militorr de pressão) para remoção do excesso de
651 reagente e subprodutos, para minimizar possíveis picos de interferência. Após
652 secagem, foi adicionado o reagente de derivatização, sendo uma mistura de metanol
653 grau HPCL, água Milli Q, *Trietilamina*, *fenilisotiocianato* (PITC) (7:1:1:1). Os derivados
654 de feniltiocarbamil (PTC) foram separados em HPCL acoplada a espectrofotômetro
655 M440 de comprimento de onda fixo (254 nm / 0,2 AUFS) com coluna cromatográfica
656 Pico Tag (Waters) C18 de fase reversa (3,9 x 150 mm, aço inoxidável). A temperatura
657 da coluna foi controlada a 40 °C com aquecedor de coluna (Waters). A fase móvel era
658 constituída por dois eluentes denominados (A): a 940 mL de 0,14 M de acetato de
659 sódio, pH 6, 40, contendo 0,05% de trietilamina, misturado com 60 mL de acetonitrila
660 e (B): 60% de acetonitrila e 40% de água. As concentrações dos aminoácidos foram
661 expressas em g/100g de proteína. A proteína foi quantificada pelo método de
662 combustão (Dumas, 1981), no qual o nitrogênio formado é determinado por técnicas
663 volumétricas.

664

665 *Elaboração dos produtos cárneos*

666 Os filés de frango *WB* foram utilizados na elaboração de mortadelas e
667 hambúrgueres visando avaliar a viabilidade do uso, bem como, a composição química
668 e os parâmetros tecnológicos dos produtos armazenados a -18 °C e 4 °C,
669 respectivamente, por 90 dias.

670

671 *Elaboração dos hambúrgueres de frango*

672

673 Foram elaborados hambúrgueres com a seguinte formulação: 68,49% de filé
674 de frango (normal ou *WB*), 15,0% de gordura animal, 4,0% de proteína isolada de
675 soja, 10,0% de água, 1,7% de sal, 0,15% de glutamato de sódio, 0,25% de eritorbato
676 de sódio, 0,20% de alho em pó, 0,06% de cebola em pó, 0,15% de pimenta branca
677 em pó. Os filés de frango refrigerados foram triturados e homogeneizados com a água
678 e a gordura animal, e em seguida, os demais ingredientes foram adicionados e
679 misturados. Os hambúrgueres foram moldados com aproximadamente 110,0 g (\pm 10,0
680 g), embalados e armazenamos à -18 °C para análises posteriores. No total, foram
681 elaborados 64 hambúrgueres, sendo 32 de cada formulação.

682

683 *Elaboração da mortadela de frango*

684

685 Foram elaboradas mortadelas com a seguinte formulação: 39,96% de filé de
686 frango (normal ou *WB*), 23,0% de carne mecanicamente separada, 15,1% de gelo,
687 11,67 de pele de frango, 4,0% de proteína isolada de soja, 3,0 de fécula de mandioca,
688 1,8% de sal, 0,25 de tripolisfosfato de sódio, 0,6% de açúcar, 0,1% de eritorbato, 0,1%
689 de sal de cura, 0,2% de alho em pó, 0,06% de cebola em pó, 0,08% de pimenta branca

690 e 0,08% de páprica. Foram elaboradas 32 mortadelas de cada formulação, totalizando
691 64 mortadelas.

692 Para a elaboração das mortadelas, a emulsão foi realizada em cutter. Em
693 seguida, a massa foi embutida em tripa artificial de poliamida, em unidades de
694 aproximadamente 300 g (\pm 50,0 g) cada, submetida ao cozimento gradativo até atingir
695 temperatura interna de 72 °C, e em seguida, submetida ao choque térmico com água
696 corrente. As mortadelas foram armazenadas a 4 °C para posteriores análises.

697

698 *Análises físico, químicas e tecnológicas dos produtos cárneos*

699

700 As mortadelas e hambúrgueres de frango foram avaliados quanto aos
701 parâmetros de qualidade e estabilidade física, química e tecnológica durante o
702 armazenamento, sendo 1, 30, 60 e 90 dias a partir da sua produção. Para cada tempo,
703 foram avaliados 8 hambúrgueres e 8 mortadelas de cada formulação, em triplicata.

704

705 *Composição química aproximada*

706

707 O teor de umidade, proteína, cinza e lipídios das mortadelas e hambúrgueres
708 de frango foi determinado conforme descrito pela AOAC (2005). Para umidade,
709 utilizou-se o método por secagem em estufa a 105 °C até peso constante. O conteúdo
710 de cinzas foi quantificado por incineração em mufla a 550 °C. Lipídios pelo método de
711 Soxhlet com éter de petróleo, e proteínas pelo método de Kjeldahl.

712

713 *Cor e pH*

714

715 A cor dos produtos cárneos foi determinada pelo Colorímetro Minolta CR400,
716 com iluminante D65. Foram expressos pelo sistema CIELab os resultados para L*
717 (luminosidade), a* (componente verde-vermelho, b* (componente azul-amarelo)
718 (SOARES et al., 2003). O valor de pH foi obtido a partir da inserção do eletrodo do
719 potenciômetro de contato (marca Texto 205, Brasil) conforme descrito por Olivo et al.
720 (2001).

721

722 *Capacidade de Retenção de Água (CRA) e atividade de água*

723

724 A CRA foi quantificada conforme descrito por Troy et al. (1999). Foram
725 cortadas em cubos pequenos amostras de 10,0 g dos produtos elaborados,
726 transferidas para tubos Falcon de plástico e aquecidas em banho-maria a 90 °C, por
727 10 min. Em seguida, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente, envolvidas
728 em gaze e transferidas para tubos de centrifuga, contendo algodão em sua base. As
729 amostras foram centrifugadas a 8.200 rpm a 4 °C, por 10 min. e pesadas novamente.
730 A CRA das amostras foi determinada a partir da seguinte equação: % CRA = 1 – (Pi -
731 Pf/U) x 100, onde, Pi e Pf são os pesos inicial e final da amostra, respetivamente, e U
732 é a umidade da amostra.

733 A atividade de água (Aa) das mortadelas foi realizada, em triplicata, através
734 da detecção do ponto de orvalho do equipamento Aqualab.

735

736 *Perfil de Textura*

737 A análise de perfil de textura foi realizada em um texturômetro (TATX-2i), com
738 o probe cilíndrico (P035), nas condições descritas por Bourne (1978): altura: 50 mm,

739 velocidade de pré-teste: 5,0 cm.min⁻¹, velocidade de teste: 20,0 cm.min⁻¹, velocidade
740 de pós-teste: 10 cm.min⁻¹, distância: 0,70 cm e força: 0,98 N. Em hambúrgueres, a
741 análise foi realizada com amostras cortadas em cubos de 1 cm³ de cada formulação
742 do produto grelhado e, em mortadelas, a medida foi feita em porções cilíndricas com
743 diâmetro igual a 3,0 cm e altura de 2,2 cm. Cada amostra foi submetida a seis
744 repetições, e foram mensurados cinco parâmetros: firmeza, elasticidade, coesividade,
745 mastigabilidade e resiliência.

746

747 *Rendimento após Cocção e Encolhimento*

748

749 Rendimento e encolhimento foram avaliados apenas em hambúrgueres
750 conforme descrito por Berry (1992). As amostras de cada formulação foram avaliadas
751 em triplicata, para isso, os hambúrgueres foram previamente pesados e em seguida,
752 grelhados em um *grill* a 150 °C. Após cozimento, os hambúrgueres foram resfriados a
753 temperatura ambiente e pesados novamente.

754

755 Equações para o cálculo da % do rendimento (1) e encolhimento (2):

756

757 (1) % rendimento de cocção = $(P_f/P_i) \times 100$, onde P_f e P_i correspondem ao peso
758 da amostra cozida e peso da amostra crua, respectivamente

759

760 (2) % encolhimento = $[(\text{diâmetro da amostra crua} - \text{diâmetro da amostra cozida}) /$
761 $\text{diâmetro da amostra crua}] \times 100$

762

763 *Oxidação lipídica*

764 A oxidação lipídica dos produtos cárneos foi mensurada pelo método de
765 substâncias reagentes com o ácido tiobarbitúrico (TBARS), via técnica de
766 precipitação, conforme descrito por Tarlagdgis et al. (1960). Os valores para TBARS
767 foram expressos por mg de malonaldeído (MDA) / kg de amostra. As análises foram
768 conduzidas nos hambúrgueres e mortadelas armazenados a -18 °C e 4 °C,
769 respectivamente, nos tempos 1, 30, 60 e 90 dias após produção.

770

771 *Análise estatística*

772

773 Os resultados obtidos para análise do perfil de aminoácidos dos filés de
774 frango, composição química aproximada e estabilidade física, química e tecnológica
775 dos produtos cárneos foram submetidos ao teste *t-Student* ($p<0,05$). Para avaliação
776 dos resultados obtidos durante o período de armazenamento dos hambúrgueres e
777 mortadelas (1, 30, 60 e 90 dias após elaboração) foi aplicado o teste *Tukey* ($p<0,05$),
778 utilizando o programa *STATISTICA 7.0*.

779

780 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

781

782 *Avaliação histológica dos filés de frango*

783

784 O comprometimento da morfologia das fibras musculares para filés *WB* e
785 normais foram observados (Figura 1, Tabela 1). Filés *WB* apresentaram quantidade
786 moderada de fibras arredondadas, hipereosinofílicas, com estriações pouco evidentes
787 e/ou de fibras fragmentadas, amorfas, de aspecto hialino, indicando que com
788 progressão da anomalia ocorre maior comprometimento da morfologia das fibras com

789 maior degeneração e necrose. Em filés normais foi identificada a presença de
790 pequena quantidade de fibras grandes, arredondadas, hipereosinofílicas, com
791 estriações pouco evidentes e/ou de fibras fragmentadas, amorfas, de aspecto hialino.
792 Este resultado está de acordo com Sihvo et al. (2017), no qual foi constatado que
793 somente frangos abatidos aos 10 dias de idade não apresentaram a incidência da
794 anomalia, e, conforme o avanço da idade das aves, iniciou-se a manifestação do *WB*
795 de forma focal (somente na região caudal ou cranial do filé) e progredindo para uma
796 manifestação difusa (rigidez do músculo inteiro).

797 Filés *WB* apresentaram maior fibroplasia, indicando que houve uma maior
798 reparação por tecido conjuntivo, paralela a uma reação inflamatória em filés
799 acometidos pela anomalia, apresentando, desta forma, um maior escore para
800 inflamação (C) (Tabela 1). A incidência da anomalia resultou em filés com presença
801 pequena a moderada de heterofilos e macrófagos intersticiais e infiltrado de miofibras
802 necróticas, sendo eles mediadores da inflamação. Estes resultados estão de acordo
803 com Sihvo et al. (2014) e Soglia et al. (2016), os quais constataram que fibras
804 degeneradas ou necróticas eram acompanhadas por processo inflamatório.

805 Estudos histológicos anteriores sugeriram a presença de fibrose ou acúmulo
806 variável de tecido conjuntivo, com conseqüente aumento na deposição de colágeno,
807 processo qual foi associado com o aumento da rigidez palpável de filés de frango
808 (Soglia et al., 2016; Velleman e Clark, 2015). Entretanto, nossos resultados indicaram
809 que o material visualizado corresponde a um resíduo de fibras necróticas, com a
810 presença de células inflamadas (Figura 1 – 3b). Como resultado de uma intensa
811 degeneração das fibras, não foi observado o processo de regeneração, este resultado
812 pode ser decorrente das inovações desenvolvidas para obtenção de frangos com
813 rápido crescimento e rendimento de carcaça, como a seleção genética, que refletiu

814 diretamente em alterações significativas na estrutura muscular, como espaçamento
815 reduzido do tecido conjuntivo endomísio e perimísio, limitando os espaços disponíveis
816 para capilares (Velleman et al., 2003). A menor capilarização das fibras musculares
817 resulta em uma limitação do espaço com remoção ineficiente do ácido láctico
818 produzido a partir da respiração anaeróbia, causando não somente uma diminuição
819 do pH muscular, como danos permanentes como degeneração e necrose (Velleman
820 et al., 2015). Ainda, com suprimento sanguíneo inadequado, não ocorre regeneração
821 das fibras musculares, sendo possivelmente uma das causas do *WB* (Petracci et al.,
822 2015).

823 Também foi observada a infiltração de células inflamatórias (linfócitos T), este
824 resultado está de acordo com Sihvo et al. (2014) e pode estar associado ao processo
825 degenerativo das fibras musculares, processo qual também foi observado neste
826 estudo com a visualização de fibras musculares com área transversal variável, ou seja,
827 fibras em processos de degeneração (moderada a severa na maioria dos casos.
828 Outras duas miopatias foram recentemente reportadas em frangos pesados com alta
829 taxa de crescimento, sendo elas miodegeneração do *latissimus dorsi* anterior e *WS*
830 são histologicamente semelhantes ao *WB*, com a observação de fibras musculares
831 degeneradas ou necrosadas (Kuttappan; Brewer; Apple, 2012b; Zimmermann et al.,
832 2012; Sihvo et al., 2014). Além das semelhanças histológicas, também apresentam
833 características muito parecidas, como presença de áreas pálidas, maior
834 desenvolvimento do músculo e exsudado superficial (Zimmermann et al., 2012; Sihvo et
835 al., 2014).

836

837 *Perfil de aminoácidos dos filés de frango*

838 Simultaneamente, o perfil de aminoácido foi alterado pela anomalia (Tabela
839 2), os aminoácidos hidroxiprolina, alanina, glicina, taurina, alanina, prolina,
840 apresentaram um aumento significativo, enquanto os níveis de histidina, treolina,
841 metionina, isoleucina e triptofano foram significativamente reduzidos. Apenas os
842 aminoácidos ácido aspártico, ácido glutâmico, serina, arginina, tirosina, valina, cistina,
843 leucina, fenilalanina, lisina não diferiram ($p>0,05$) quando comparados com filés
844 normais.

845 A alanina atua como matéria prima na síntese de glicose no fígado e no
846 músculo (Meijer, 2003), filés acometidos pelo *WB* apresentaram um aumento de
847 9,74% dos níveis, e pode ser interpretado como um “sinal de estresse” do músculo
848 ocasionado pelo *WB* (Xing et al., 2020). Além disso, a alanina apresenta papel
849 lipogênico (atua na síntese de lipídios) (Kowalchuk, Curi, & Newsholme, 1988), que
850 pode estar relacionado ao acúmulo de lipídios em filés *WB* (Xing et al., 2020). Ainda,
851 essa redução pode ser um indicativo de alterações no metabolismo da glicose e
852 processos bioquímicos que podem contribuir com o enrijecimento dos tecidos
853 musculares dos peitos de frangos acometidos pela anomalia, assim como proposto
854 por Abasht et al. (2016).

855 Os níveis de glicina também apresentaram alterações ($p<0,05$) em filés *WB*,
856 com um aumento significativo de 12,33%. Exerce funções antioxidantes, e na
857 presença de danos celulares, é responsável por sintetizar a glutathione (Huo et al.,
858 2014). Este aumento pode estar relacionado com um aumento do stress oxidativo e
859 alterações nos metabolismos de carboidrato e aminoácidos (Xing et al., 2020).

860 O teor de hidroxiprolina em filés *WB* foi 91,66% maior quando comparados
861 com filés normais. A hidroxiprolina, por sua vez, é um derivado da prolina, a qual
862 também apresentou um aumento significativo de 12,42% em filés *WB*, e está presente

863 nas proteínas do tecido conjuntivo, em particular, no colágeno. Logo, este aumento
864 na porcentagem de hidroxiprolina e prolina em filés *WB* indica um aumento no
865 conteúdo de colágeno destes cortes. Filés acometidos pela anomalia são
866 caracterizados pelo processo de degeneração das fibras musculares, seguido pelo
867 processo de regeneração muscular, no qual ocorre deposição do tecido conjuntivo e,
868 conseqüentemente, aumento no teor de colágeno (Mudalal et al. 2015; Soglia et al.,
869 2016; Geronimo et al., 2021).

870 Em relação ao conteúdo do aminoácido histidina, frangos com *WB*
871 apresentaram uma redução de 12,39%. A histidina possui funções antioxidantes e
872 anti-inflamatórias, em estudos anteriores realizados em humanos, a redução do seu
873 conteúdo foi positivamente correlacionada com doenças crônicas (Watanabe et al.,
874 2008), processos inflamatórios e stress oxidativo em pessoas obesas (Niu et al.,
875 2012). Desta forma, a redução do nível de histidina em filés *WB* confirma a presença
876 de processos inflamatórios e stress oxidativo em frangos acometidos pela anomalia.

877 A isoleucina também apresentou uma redução de 12,23% em filés acometidos
878 pelo *WB* ($p < 0,05$). Corresponde a um aminoácido essencial de cadeia ramificada,
879 responsável por promover a síntese de proteínas musculares, atuar como regulador
880 da imunidade, inflamação e metabolismo de proteínas (Olde Damink et al., 2007). Está
881 envolvida no processo de formação do tecido muscular (miogenese) e pode ser
882 indicadora potencial da incidência de miopatias (Liu et al., 2021). Desta forma, a
883 redução do conteúdo de isoleucina em tecidos musculares *WB* pode ser um indicativo
884 do processo inflamatório, bem como, decorrente do processo de degeneração das
885 fibras musculares.

886 O aminoácido com aumento mais expressivo foi a taurina, filés *WB*
887 apresentaram um aumento de 500%, indo de 0,05 g/100 g de proteína para 0,30 g/100

888 g de proteína. A taurina exerce função antioxidante, regula enzimas, possui enxofre
889 em sua composição, sendo geralmente produzida em tecidos com exposição
890 excessiva à agentes oxidantes, além de preservar as mitocôndrias (Lambert et al.,
891 2015). Este aumento está de acordo com Wang et al. (2020), os quais também
892 observaram a partir da espectroscopia de ressonância magnética um aumento nos
893 níveis de taurina em filés acometidos pelo *WB*. Este aumento pode indicar um
894 mecanismo de defesa e reparação das células ao serem submetidas ao stress
895 oxidativo.

896 A incidência da anomalia reduziu significativamente o conteúdo de treonina e
897 metionina em filés *WB*, sendo estes dois aminoácidos essenciais. Dalle Zotte et al.
898 (2020) também observaram uma redução da treonina em filés acometidos
899 simultaneamente pelas miopatias *WB* e *white striping*. A treonina é fundamental no
900 organismo animal, pois auxilia na formação do colágeno e na síntese de tecido
901 muscular (Sá et al., 2007). Enquanto a metionina além de participar da síntese
902 proteica, desempenha papel importante para o crescimento, auxilia no metabolismo
903 lipídico, participa da síntese da glutathione, composto com ação antioxidante
904 (Bunchazak, 2009; Nukreaw et al., 2011). Logo, a redução nos níveis destes
905 aminoácidos é um indicativo de stress oxidativo, lesões musculares, além do
906 desequilíbrio do metabolismo lipídico, observado pelo acúmulo na deposição de
907 gordura intramuscular em filés *WB*.

908 Outro aminoácido que apresentou conteúdo comprometido pela incidência da
909 anomalia foi o triptofano, com uma redução de 10,18% ($p < 0,05$). O triptofano é um
910 aminoácido essencial e possui papel fundamental para garantir a imunidade, função
911 reprodutiva e crescimento ideal (Wu, 2009). Assim, a incidência da anomalia
912 comprometeu a saúde muscular e qualidade da carne destes frangos.

913 *Parâmetros físico, químicos e tecnológicos dos hambúrgueres e mortadelas de frango*

914

915 Hambúrgueres formulados com filés *WB* apresentaram alterações
916 significativas em sua composição química aproximada, conforme demonstrado na
917 Tabela 3. Hambúrgueres elaborados com filés *WB* apresentaram um aumento de
918 2,38% no conteúdo de umidade e uma redução de 17% no conteúdo de proteínas
919 quando comparados com hambúrguer controle. O conteúdo de lipídios e cinzas não
920 diferiu ($p > 0,05$) entre os dois tipos de hambúrgueres.

921 Em relação as mortadelas, filés *WB* resultaram em um aumento de 1,15% no
922 conteúdo de umidade. Estes resultados provavelmente são decorrentes do processo
923 inflamatório e degenerativo das fibras musculares que acometem frangos com *WB*
924 (Mudalal et al., 2015; Soglia et al., 2016). Ainda, de acordo com o Regulamento
925 Técnico de Identidade e Qualidade – RTQI (Brasil, 2000), o conteúdo de umidade
926 máximo permitido em mortadelas de frango é de 65%, desta forma, para aplicação de
927 filés com *WB* na elaboração deste emulsionado dentro das normas e padrões
928 estabelecidos, seria necessário a adição de ingredientes para reduzir o teor de
929 umidade.

930 Os hambúrgueres com filés *WB* não diferiram dos hambúrgueres normais em
931 relação ao rendimento de cocção durante todo o período de armazenamento (Tabela
932 4). Ambos hambúrgueres também apresentaram estabilidade deste parâmetro
933 durante todo o período avaliado. Em relação ao encolhimento dos hambúrgueres, não
934 foi observada diferença entre os dois tipos de hambúrgueres, ainda a percentagem de
935 encolhimento não variou significativamente durante o período de armazenamento. Qin
936 (2013) também observou que a adição de filés com *WB* na elaboração de nuggets e
937 salsichas não influenciou no rendimento destes produtos. Filés de frango *WB*

938 apresentam baixa capacidade de retenção de água devido à redução das proteínas
939 miofibrilares, sendo as principais responsáveis pela habilidade em reter água em sua
940 estrutura (Mudalal et al., 2014). E apesar dos hambúrgueres *WB* apresentarem menor
941 teor de proteína e maior teor de umidade (Tabela 3), estes resultados não refletiram
942 no rendimento e estabilidade dos hambúrgueres durante o armazenamento,
943 provavelmente devido a presença de ingredientes e aditivos utilizados na formulação
944 dos hambúrgueres, como proteína de soja, fécula de mandioca e tripolifosfato de
945 sódio. Estes resultados evidenciam que a utilização de filés *WB* como matéria-prima
946 na elaboração de hambúrgueres é uma alternativa viável para destinação destes filés,
947 minimizando os prejuízos financeiros gerados pela incidência de *WB*.

948 As medidas de cor (L^* , a^* e b^*) durante o período de armazenamento para os
949 hambúrgueres e mortadelas são apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.
950 Os hambúrgueres elaborados com filés *WB* apresentaram maior luminosidade (valor
951 de L^*) ($p < 0,05$) após 1 dia de fabricação. Enquanto que, a mortadela, apresentou
952 maior valor de L^* ($p < 0,05$) nos dias 1, 30 e 60 após a fabricação. Qin (2013) também
953 observou um aumento no valor de L^* ao adicionar filés com *WB* em nuggets e
954 salsichas. De acordo com Sihvo et al., (2014) e Geronimo et al., (2021) filés *WB*
955 apresentam maior valor de L^* , com a presença de áreas pálidas, característica
956 macroscopicamente observada, sendo uma das principais alterações visuais
957 consideradas na detecção de filés com a anomalia. Filés de frangos acometidos pelo
958 *WB* apresentam degeneração das fibras musculares e aumento na deposição de
959 gordura intramuscular (lipidose), alterações histologicamente observadas que podem
960 influenciar e resultar em carnes mais pálidas (Mudalal et al., 2015; Velleman e Clark,
961 2015), e, conseqüentemente, com maior luminosidade. Ainda, considerando que o filé
962 de peito de frango é o ingrediente presente em maior porcentagem em ambos os

963 produtos cárneos elaborados, correspondendo a aproximadamente 68% da
964 formulação do hambúrguer e 39% da mortadela, o maior valor de L^* após 1 dia de
965 elaboração dos hambúrgueres, e até os 60 dias para as mortadelas produzidas com
966 filés *WB* pode ser atribuído principalmente ao tipo de filé utilizado. Nos demais tempos
967 de armazenamento, não foram observadas diferenças ($p>0,05$) entre as formulações
968 das mortadelas e hambúrgueres. Além disso, ambos os produtos apresentaram
969 estabilidade do valor de L^* durante o armazenamento.

970 Em relação ao valor de a^* (componente vermelho-verde), não foram
971 observadas diferenças entre as duas formulações, tanto para hambúrgueres quanto
972 para mortadelas. Enquanto que para o valor de b^* (componente amarelo-azul), os
973 hambúrgueres elaborados com filés *WB* apresentaram maior intensidade da coloração
974 amarela nos tempos 1 e 30 após a sua fabricação. A partir de 60 dias, não foram
975 observadas diferenças entre as duas formulações. Em mortadelas, não foram
976 observadas diferenças ($p>0,05$) entre aquelas elaboradas com *WB* e filés normais. A
977 maior intensidade da coloração amarela observada nos primeiros dias de
978 armazenamento dos hambúrgueres, pode ser associada à presença de áreas
979 amareladas em filés de frango acometidos pela anomalia, considerando que, os
980 hambúrgueres possuem maior proporção de filés de frango, os quais apresentam,
981 consequentemente, um maior valor de b^* (Geronimo et al., 2021).

982 Hambúrgueres elaborados com *WB* apresentaram pH mais elevado ($p<0,05$)
983 durante todo o período de armazenamento (1, 30, 60 e 90 dias). Enquanto que, em
984 mortadelas, foi observado um maior valor de pH para produtos elaborados com *WB*
985 aos 30 e 60 após a fabricação (Tabela 7). A degeneração das fibras musculares de
986 filés com *WB* modifica o seu potencial glicolítico, com a redução do conteúdo de
987 glicogênio disponível, e, consequentemente, menor acidificação no período *post-*

988 *mortem* e maior valor do pH final destas carnes (Mudalal et al., 2015; Abasht et al.
989 2016). Desta forma, considerando que a formulação do hambúrguer possui maior
990 porcentagem de filés de frango, este resultado indica que o pH deste produto cárneo
991 foi diretamente influenciado pelo alto valor de pH em filés com *WB*.

992 Em relação a atividade de água, ambos os produtos cárneos elaborados com
993 *WB* não apresentaram diferença significativa quando comparados com hambúrgueres
994 e mortadelas elaborados com filés normais, durante todo o período de
995 armazenamento. Em hambúrgueres verificou-se que aqueles elaborados com filés
996 normais apresentaram redução na atividade de água aos 60 dias após a fabricação,
997 e os elaborados com *WB*, redução constatada apenas aos 90 dias. O resultado está
998 de acordo com Oliveira et al. (2020), os quais verificaram uma redução da atividade
999 de água para hambúrgueres elaborados tanto com filés *WB* quanto normais durante
1000 o período de armazenamento. A redução da atividade de água foi observada apenas
1001 em hambúrgueres, em ambas as formulações, sendo este o único produto cárneo
1002 congelado durante todo o período de armazenamento. Este resultado é decorrente da
1003 eficácia do congelamento na preservação da qualidade dos alimentos perecíveis, os
1004 quais apresentam redução da atividade de água ao serem submetidos a temperaturas
1005 negativas, minimizando as chances de crescimento microbiano (Oliveira et al., 2020).

1006 A capacidade de retenção de água é considerada uma das principais
1007 propriedades funcionais em produtos cárneos (Hayakawa et al., 2012). Carnes de filés
1008 de frango acometidos pelo *WB* apresentam reduzida capacidade em reter água em
1009 sua estrutura, resultando em cortes com menor rendimento (Geronimo et al., 2021).
1010 Entretanto, ao direcioná-los para elaboração de hambúrgueres e mortadelas, não foi
1011 observada diferenças em relação a este parâmetro entre as duas formulações durante
1012 todo o período de armazenamento. Resultado similar foi reportado por Oliveira et al.,

1013 (2020), os quais verificaram que a adição de filés de frango com *WB* não apresentou
1014 influencia na CRA de hambúrgueres. A aplicação de filés *WB* na elaboração de
1015 nuggets e salsichas também foi estudada por Qin (2013), o qual também constatou
1016 que não houve diferenças significativas para CRA em ambos os produtos quanto
1017 comparados com filés normais. Estes resultados sugerem que o encaminhamento de
1018 filés *WB* na elaboração de produtos cárneos, em particular, hambúrgueres e
1019 mortadelas, podem minimizar ou reduzir os efeitos negativos da baixa CRA dos filés
1020 utilizados, minimizando possíveis perdas econômicas geradas.

1021 Na Tabela 8 são apresentados os resultados para oxidação lipídica dos
1022 produtos cárneos elaborados expressos em mg de malonaldeído . kg⁻¹ de amostra.
1023 Devido à presença de ácidos graxos poli-insaturados em sua composição, a carne de
1024 frango possui alta suscetibilidade à oxidação lipídica, e paralelamente, produtos
1025 cárneos também são altamente susceptíveis principalmente devido as etapas de
1026 produção, as quais incluem, particularmente na elaboração de mortadelas e
1027 hambúrgueres, processos de trituração e emulsificação, exposição à luz e ao calor,
1028 fatores que favorecem a sua oxidação (Min e Ahn, 2005).

1029 Os hambúrgueres foram mantidos a -18 °C durante todo o período de
1030 armazenamento. A aplicação de filés *WB* na elaboração de hambúrgueres resultou
1031 em produtos com maiores concentrações de MDA durante em todos os tempos
1032 analisados, ou seja, produtos mais oxidados quando comparados com aqueles que
1033 foram elaborados com filés normais. Este resultado está de acordo com Soglia et al.,
1034 (2016) e Xing et al. (2020) os quais verificaram um aumento de substâncias reativas
1035 ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) para filés com *WB*. Além disso, Soglia et al. (2016)
1036 observaram uma redução na quantidade de pigmentos heme totais. Essa redução
1037 está associada a atividade da catalase, que pode refletir diretamente em uma menor

1038 estabilidade oxidativa observada nos filés acometidos pela anomalia (Rhee,
1039 Anderson, & Sams, 1996; Soglia et al., 2016). Ainda, de acordo com Soglia et al.
1040 (2016), o ferro heme pode atuar como um pró oxidante, considerando que, filés *WB*
1041 apresentam degeneração das fibras musculares, com consequente ruptura da sua
1042 estrutura, que pode danificar o anel de porfirina e, consequentemente, quebra da
1043 molécula de heme e liberação do ferro (Sihvo et al., 2014; Min & Ahn, 2005). As lesões
1044 histológicas em filés *WB* (Sihvo et al., 2014; Velleman & Clark, 2015) podem contribuir
1045 para exposição dos fosfolipídios, os quais aceleram o desenvolvimento da oxidação
1046 lipídica (Ladikos & Lougovois, 1990; Soglia et al., 2016).

1047 Também foi observado por Hasegawa et al. (2020) um acúmulo de
1048 lipofuscina (indicador de estresse oxidativo) com consequente aumento da oxidação
1049 lipídica para filés com *WB*. Ao término do período de armazenamento, hambúrgueres
1050 com filés *WB* e normais apresentaram valores de TBARS de 0,195 e 0,158 mg de
1051 malonaldeído . kg⁻¹ de amostra, respectivamente. Além disso, ambas as formulações
1052 apresentaram um aumento da concentração de MDA durante o período avaliado. Por
1053 outro lado, não foi observada influência significativa na oxidação lipídica ao utilizar
1054 filés *WB* na elaboração de mortadelas. Ainda, no último período avaliado, ambas as
1055 formulações apresentaram maiores concentrações de MDA, com valores para TBARS
1056 entre 0,171 a 0,174 mg de malonaldeído . kg⁻¹ de amostra.

1057 Considerando que o hambúrguer possui maior porcentagem de filé de
1058 frango com *WB* em sua composição, a maior concentração de MDA . kg⁻¹ de amostra
1059 logo no primeiro dia avaliado pode ser decorrente do tipo de filé utilizado em sua
1060 formulação. Considerando também que, os processos oxidativos são reações
1061 químicas múltiplas favorecidas tanto com o aumento do tempo e da temperatura
1062 (Chaijan & Panpitat, 2017), a maior concentração de MDA . kg⁻¹ de amostra para as

1063 mortadelas, tanto as produzidas com filés normais quanto filés *WB*, no último tempo
1064 avaliado (90 dias), pode ser resultado da temperatura de armazenamento e da
1065 presença de CMS. De acordo com Campo et al. (2006) e Zhang et al. (2019), carnes
1066 e produtos cárneos com valores entre 2 a 2,5 mg de MDA / Kg de amostra não são
1067 apresentam sabor e odor de ranço perceptíveis ao consumidor. Desta forma, ambos
1068 os produtos cárneos estão dentro dos limites estabelecidos para rancidez oxidativa.

1069 Na tabela 9 e 10 são apresentados os resultados para análise do perfil de
1070 textura (TPA) para os hambúrgueres e mortadelas, respectivamente. Em relação ao
1071 parâmetro dureza, o hambúrguer formulado com filés *WB* apresentou menor rigidez
1072 nos tempos 30 e 90 após elaboração. É importante ressaltar que filés acometidos pela
1073 anomalia possuem um aumento da rigidez palpável, que pode estar relacionado com
1074 o aumento na deposição de colágeno destes filés, como resultado do processo de
1075 fibrose (Sihvo et al., 2014; Geronimo et al., 2021). Entretanto, ao direcioná-los na
1076 elaboração de hambúrgueres foi observada uma redução na dureza deste produto,
1077 indicando que a presença de ingredientes e a tecnologia envolvida na produção, como
1078 a moagem de carne, podem contribuir para variações na textura de produtos cárneos.
1079 Resultado similar foi reportado por Oliveira et al. (2020), no qual verificaram uma
1080 redução na dureza de hambúrgueres elaborados com *WB* com o aumento do grau de
1081 severidade da anomalia. Este aumento na maciez em produtos cárneos elaborados
1082 com filés *WB* severos pode ser causado pela degeneração das fibras musculares e
1083 aumento na deposição de gordura intramuscular (Mudalal et al., 2014). Além disso,
1084 ambas as formulações apresentaram estabilidade deste parâmetro durante todo o
1085 período de armazenamento. Em relação a mortadela (Tabela 10), a aplicação de filés
1086 *WB* não apresentou diferença significativa. Sendo assim, apenas os hambúrgueres
1087 apresentaram influência no parâmetro de dureza ao substituir filés normais por filés

1088 *WB*, provavelmente este resultado está relacionado à maior porcentagem de filés que
1089 o hambúrguer possui em sua formulação quando comparado com a mortadela,
1090 sugerindo que, produtos com maiores porcentagens de filés *WB* podem apresentar
1091 maiores influências e variações em seu perfil de textura.

1092 A utilização de filés *WB* não influenciou ($p>0,05$) nos parâmetros de
1093 elasticidade e coesividade para ambos os produtos cárneos. A mastigabilidade dos
1094 hambúrgueres com *WB* (Tabela 9) não apresentou diferenças entre hambúrgueres
1095 elaborados com filés normais nos tempos 1, 30 e 60 dias após fabricação. Após 90
1096 dias, a substituição de filés normais por filés *WB* na elaboração de hambúrgueres,
1097 resultou em uma diminuição significativa da mastigabilidade. Enquanto para
1098 mortadelas não foram observadas influências significativas em relação ao parâmetro
1099 mastigabilidade (Tabela 10). A menor mastigabilidade dos hambúrgueres está
1100 relacionada com o aumento na maciez deste produto, resultado também observado
1101 durante o período de armazenamento (Tabela 10), e pode explicado pela
1102 degeneração das fibras musculares em filés acometidos pela anomalia (Mudalal et al.,
1103 2014; Sihvo et al., 2014). Ambas as formulações apresentaram estabilidade em
1104 relação a este parâmetro durante todo o período de armazenamento. Em relação a
1105 resiliência, não foi observada diferença entre as formulações ($p>0,05$) para ambos os
1106 produtos cárneos, além disso, ambas apresentaram estabilidade até o último tempo
1107 avaliado.

1108 **CONCLUSÃO**

1109

1110 Filés *Wooden breast* apresentaram comprometimento das fibras musculares, com
1111 degeneração, necrose, fibroplasia e processo inflamatório, bem como, alterações
1112 significativas no perfil de aminoácidos indicando a presença de processos
1113 degenerativos, inflamatórios e estresse oxidativo. O uso de filés *WB* na elaboração
1114 de mortadelas e hambúrgueres resultou em produtos estáveis e sem
1115 comprometimento do rendimento e parâmetros de qualidade durante período de
1116 armazenamento. Os resultados sugerem que a elaboração de produtos cárneos com
1117 menor porcentagem de filés *WB* em sua formulação pode ser uma excelente
1118 alternativa para seu uso, agregando valor a estes cortes, sem comprometer o padrão
1119 de qualidade do produto.

1120 **REFERÊNCIAS**

- 1121 Abasht, B.; Mutryn, M. F.; Michalek, R. D.; Lee, W.R. Oxidative stress and metabolic
1122 perturbations in wooden breast disorder in chickens. *PLoS One*, v. 11, n. 4, p.
1123 e0153750, 2016.
- 1124
1125 ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. *Relatório Anual 2021*. São Paulo.
1126 146 p. Disponível em: < [http://abpa-br.org/wp-](http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Anual_2021_web.pdf)
1127 [content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Anual_2021_web.pdf](http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Anual_2021_web.pdf)>. Acesso em: 12
1128 julho 2021.
- 1129
1130 AOAC. (2005) American Organization Of Analytical Chemists. *Official methods of*
1131 *analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 18th ed. Arlington: AOAC.
1132
- 1133 Berry, B. Low fat level effects on sensory, shear, cooking, and chemical properties of
1134 ground beef patties. *Journal of food science*, v. 57, n. 3, p. 537-537, 1992.
- 1135
1136 Bourne, M. Texture profile analysis. *Food Technology*, v.32, p. 62–66, 1978.
1137
- 1138 Bunchasak, C. Role of dietary methionine in poultry production. *The Journal of*
1139 *Poultry Science*, v. 46, n. 3, p. 169-179, 2009.
- 1140
1141 Campo, M.; Nute, G.; Hughes, S.; Enser, M.; Wood, J.; Richardson, R. Flavour
1142 perception of oxidation in beef. *Meat Science*, v. 72, n. 2, p. 303–311, 2006.
1143
- 1144 Chaijan, M.; Panpipat, W. Mechanism of oxidation in foods of animal origin. In
1145 Natural Antioxidants. Applications in Foods of Animal Origin; Banerjee, R., Verma,
1146 A.K., Siddiqui, M.W., Eds.; Apple Academic Press, Inc.: Boca Raton, FL, USA, 2017;
1147 p. 1–38.
- 1148
1149 Dalle Zotte A.; Tasoniero G.; Puolanne E.; Remignon H.; Cecchinato M.; Catelli E.;
1150 Cullere M. Effect of “Wooden Breast” appearance on poultry meat quality, histological
1151 traits, and lesions characterization. *Czech Journal of Animal Science*, v. 62, n. 2, p.
1152 51-57, 2017.
- 1153
1154 Dalle Zotte, A.; Ricci, R.; Cullere, M.; Serva, L.; Tenti, S.; & Marchesini, G. Research
1155 Note: Effect of chicken genotype and white striping–wooden breast condition on
1156 breast meat proximate composition and amino acid profile. *Poultry science*, v. 99, n.
1157 3, p.1797-1803, 2020.
- 1158
1159 Dumas, J. *Annales de chimie et de physique*. v. 47, p. 198-205, 1831.
1160
- 1161 Geronimo, B.; Prudencio, S.; Soares, A. Biochemical and technological
1162 characteristics of wooden breast chicken fillets and their consumer
1163 acceptance. *Journal of Food Science and Technology*, p.1-8, 2021.
- 1164
1165 Hagen S.; Frost B.; Augustin J. Precolumn Phenylisothiocyanate Derivatization And
1166 Liquid-Chromatography of Amino-Acids in Food. *Journal of The Association of*
1167 *Official Analytical Chemists*, v.72, n.6, p. 912-916, 1989

- 1168 Hasegawa, Y.; Kawasaki, T.; Maeda, N.; Yamada, M.; Takahashi, N.; Watanabe, T.;
1169 Iwasaki, T. Accumulation of lipofuscin in broiler chicken with wooden breast. *Animal*
1170 *Science Journal, Champaign*, v. 92, n. 1, p. e13517, 2021.
1171
- 1172 Hayakawa, T.; Yoshida, Y.; Yasui, M.; Ito, T.; Iwasaki, T.; Wakamatsu, J.; Hattori, A.;
1173 Nishimura, T. Heat-induced gelation of myosin in a low ionic strength solution
1174 containing L-histidine. *Meat Science*, v. 90, n.1, p. 77–80, 2012.
1175
- 1176 Huo, C.; Yuan, Y.; Wu, M.; Jia, X.; Wang, X.; Chen, F.; Tang, J. Auto-oxidative
1177 coupling of glycine derivatives. *Angewandte Chemie International Edition*, v. 53, n.
1178 49, p.13544–13547, 2014.
1179
- 1180 Kowalchuk, J.; Curi, R.; Newsholme, E. Glutamine metabolism in isolated incubated
1181 adipocytes of the rat. *Biochemical Journal*, v. 249, n. 3, p. 705–708, 1988.
1182
- 1183 Kuttappan, V.; Lee, Y.; Erf, G.; Meullenet, J.; Owens, C.. Consumer acceptance of
1184 visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping.
1185 *Poultry Science*, v. 91, p. 1240–1247, 2012a.
1186
- 1187 Kuttappan V.; Brewer V.; Apple J.; Influence of growth rate on the occurrence of
1188 white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science*, v. 91, n. 10, p. 2677–2685,
1189 2012b
1190
- 1191 Ladikos, D.; Lougovois, V. Lipid oxidation in muscle food: A review. *Food Chemistry*,
1192 v.35, p. 295–314, 1990
1193
- 1194 Lambert, I.; Kristensen, D.; Holm, J.; Mortensen, O.; Physiological role of taurine -
1195 From organism to organelle. *Acta Physiologica*, v.213, n.1, p. 191–212, 2015.
1196
- 1197 Liu, S.; Sun, Y.; Zhao, R.; Wang, Y.; Zhang, W.; Pang, W. Isoleucine increases
1198 muscle mass through promoting myogenesis and intramyocellular fat
1199 deposition. *Food & Function*, v. 12, n. 1, p. 144-153, 2021
1200
- 1201 Lucas, B.; Sotelo, A. Effect of alkalis, temperature and hydrolysis times on
1202 tryptophan determination of pure proteins and of food. *Analytical Biochemistry*, v.
1203 109, p. 192-197, 1980.
1204
- 1205 Meijer, A. Amino acids as regulators and components of nonproteinogenic pathways.
1206 *The Journal of nutrition*, v. 133, n. 6, p. 2057S–2062S, 2003.
1207
- 1208 Min, B., Ahn, D. U. Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat products – A
1209 review. *Food Science and Biotechnology*, v.14, n.1, p. 152–163, 2005.
1210
- 1211 Mudalal, S.; Babini, E.; Cavani, C.; Petracchi, M. Quantity and functionality of protein
1212 fractions in chicken breast fillets affected by white striping. *Poultry science*, v. 93, n.
1213 8, p. 2108-2116, 2014.
1214
- 1215 Mudalal, S.; Lorenzi, M.; Soglia, F.; Cavani, C.; Petracchi, M. Implications of white
1216 striping and *wooden breast* abnormalities on quality traits of raw and marinated
1217 chicken meat. *Animal*, v. 9, n. 4, p. 728–734, 2015.

- 1218 Niu, Y.; Feng, R.; Hou, Y.; Li, K.; Kang, Z.; Wang, J.; Sun, C.; Li, Y. Histidine and
1219 arginine are associated with inflammation and oxidative stress in obese women.
1220 *British Journal of Nutrition*, v. 108, n. 1, p. 57-61, 2012.
- 1221
1222 Nukreaw, R.; Bunchasak, C.; Markvichitr, K.; Choothesa, A.; Prasanpanich, S.;
1223 Loongyai W. Effects of methionine supplementation in low-protein diets and
1224 subsequent refeeding on growth performance, liver and serum lipid profile, body
1225 composition and carcass quality of broiler chickens at 42 days of age. *The Journal of*
1226 *Poultry Science*. v. 48, n. 4, p. 229–238, 2011.
- 1227
1228 Oliveira, R.; Fávero, M.; Mello, J.; Ferrari, F.; Cavalcanti, E.; Souza, R.; Borba, H.
1229 Physicochemical Properties and Consumer Acceptance of Hamburgers Processed
1230 with Chicken Meat Affected by Wooden Breast Myopathy. *Animals*, v. 10, n. 12, p.
1231 2330, 2020.
- 1232
1233 Olivo, R.; Soares, A.; Ida, E.; Shimokomaki, M. Dietary vitamin E inhibits poultry PSE
1234 and improves meat functional properties. *Journal of Food Biochemistry*, v. 25, n.4, p.
1235 271-283, 2001.
- 1236
1237 Pereira, A.; Abreu, V. Lipid peroxidation in meat and meat products. In *Lipid*
1238 *Peroxidation [Working Title]*; Mansour, M.A., Ed.; IntechOpen: London, UK, 2018; pp.
1239 1–14
- 1240
1241 Petracci, M.; Mudalal, S.; Soglia, F.; Cavani, C. Meat quality in fast-growing broiler
1242 chickens. *World's Poultry Science Journal*, v. 71, n. 2, p. 363-374, 2015.
- 1243
1244 Qin, N. The Utilization of Poultry Breast Muscle of Different Quality Classes. Master's
1245 Thesis, Department of Food and Environmental Science, University of Helsinki,
1246 Helsinki, Finland, 2013.
- 1247
1248 Ranken M. 2000. Handbook of Meat Product Technology. USA: John Wiley & Sons.
1249 212 p.
- 1250
1251 Rhee, K.; Anderson, L.; Sams, A. Lipid oxidation potential of beef, chicken and pork.
1252 *Journal of Food Science*, v. 61, n.1, p. 8–12, 1996.
- 1253
1254 Olde Damink, S.; Jalan, R.; Deutz, N.; Dejong, C.; Redhead, D.; Hynd, P.; Hayes, P.;
1255 Soeters, P. Isoleucine infusion during "simulated" upper gastrointestinal bleeding
1256 improves liver and muscle protein synthesis in cirrhotic patients, *Hepatology*, v. 45, n.
1257 3, p. 560–568, 2007.
- 1258
1259 Sá, L.; Gomes, P.; Cecon, P.; Rostagno, H.; D'agostini, P. Exigência nutricional de
1260 treonina digestível para galinhas poedeiras no período de 34 a 50 semanas de
1261 idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 6, p. 1846-1853, 2007.
- 1262
1263 Sihvo, H. K.; Immonen, K.; Puolanne, E. Myodegeneration with fibrosis and
1264 regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. *Veterinary Pathology*, v. 51,
1265 n.3, p. 619-623, 2014.

- 1266 Sihvo, H. K.; Lindén, J.; Airas, N.; Immonen, K.; Valaja, J.; Puolanne, E. Wooden
1267 breast myodegeneration of pectoralis major muscle over the growth period in
1268 broilers. *Veterinary Pathology*, v. 54, n. 1, p. 119-128, 2017.
- 1269
1270 Soares, A. L., Lara, J. A. F., Ida, E. I., Guarnieri, P. D., Olivo, R., Shimokomaki, M.
1271 Influence of preslaughter handling practices on broiler meat color in a commercial
1272 plant. IFT Annual Meeting Book of Abstracts, Chicago, p. 201, 2003.
- 1273
1274 Soglia, F.; Mudalal, S.; Barbini, E.; Di Nunzio, M.; Mazzoni, M.; Sirri, F.; Cavani, C.
1275 Petracci, M. Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major
1276 muscle affected by *wooden breast* abnormality. *Poultry Science*, v. 95, n. 3, p. 651-
1277 659, 2016
- 1278
1279 Tarladgis, B.; Watts, B.; Younathan, M.; Dugan Jr, L. distillation method for the
1280 quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American*
1281 *Oil Chemists' Society*, v.37, n.1, p.44-48, 1960.
- 1282
1283 Troy D. Desmond E.M., Buckey D.J. Eating quality of low-fat beef burgers containing
1284 fat-replacing functional blends. *Journal Science Food Agricultural*, v. 79, p.507-516,
1285 1999.
- 1286
1287 Velleman, S.; Anderson, J.; Coy, C.; Nestor, K. Effect of selection for growth rate on
1288 muscle damage during turkey breast muscle development. *Poultry Science*, v. 82, p.
1289 1069–1074, 2003.
- 1290
1291 Velleman, S.; Clark, D. Histopathologic and myogenic gene expression changes
1292 associated with wooden breast in broiler breast muscles. *Avian diseases*, v. 59, n. 3,
1293 p. 410-418, 2015.
- 1294
1295 Wang, Y.; Yang, Y.; Pan, D.; He, J.; Cao, J.; Wang, H.; Ertbjerg, P. Metabolite profile
1296 based on ¹H NMR of broiler chicken breasts affected by wooden breast
1297 myodegeneration. *Food chemistry*, v. 310, p. 125852, 2020.
- 1298
1299 Watanabe, M.; Suliman, M.; Qureshi, A.; Garcia-Lopez, E.; Bárány, P.; Heimbürger,
1300 O.; Stenvinkel, P.; Lindholm, B. Consequences of low plasma histidine in chronic
1301 kidney disease patients: associations with inflammation, oxidative stress, and
1302 mortality. *The American journal of clinical nutrition*, v. 87, n. 6, p.1860-1866, 2008.
- 1303
1304 White, J. Hart, R.; Fry, J.. An Evaluation of The Waters Pico-Tag System For The
1305 Amino-Acid-Analysis of Food Materials. *Journal of Automatic Chemistry*, v. 8, n. 4, p.
1306 170-177, 1986.
- 1307
1308 Wu, G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, v. 37, p. 1-
1309 17, 2009.
- 1310
1311 Xing, T.; Zhao, X.; Xu, X.; Li, J.; Zhang, L.; Gao, F. Physiochemical properties,
1312 protein and metabolite profiles of muscle exudate of chicken meat affected by
1313 wooden breast myopathy. *Food chemistry*, v. 316, p.126271, 2020.
- 1314

- 1315 Zhang, Y.; Holman, B.W.B.; Ponnampalam, E.N.; Kerr, M.G.; Bailes, K.L.; Kilgannon,
1316 A.K.; Collins, D.; Hopkins, D.L. Understanding beef flavour and overall liking traits
1317 using two different methods for determination of thiobarbituric acid reactive
1318 substance (TBARS). *Meat Science*, v.149, p. 114–119, 2019.
1319
- 1320 Zimmermann, F.; Fallavena, L.; Salle, C. Downgrading of heavy broiler chicken
1321 carcasses due to myodegeneration of the anterior latissimus dorsi: pathologic and
1322 epidemiologic studies. *Avian Diseases*, v. 56, n.2, p.418–421, 2012.

Figura 1. Frango, músculo peitoral. A, B, C: Amostras provenientes de músculo macroscopicamente normal. A) Em corte transversal, observam-se algumas miofibras com alterações precoces de necrose, como formato arredondado, variação de tamanho e aumento da eosinofilia (setas). HE, 10x. B) Em corte longitudinal, destacam-se miofibras de aspecto normal (♦), embora haja algum grau de artefato em virtude da contração *post mortem*, e uma miofibrila com alterações precoces de necrose, como descrito em “A”, sendo mais evidente neste plano a ausência de estriações (*). HE, 40x. C) Corte longitudinal com predomínio de miofibras de aspecto normal, com destaque para um feixe nervoso (seta vazada), uma veia (cabeça de seta), uma artéria (seta) e tecido adiposo (*) compondo o estroma perimisial. Tricrômio de Masson, 10x. D, E, F: Amostras provenientes de músculos macroscopicamente alterados (*WB*). D) Corte transversal, grande número de miofibras necróticas com variações morfológicas indicativas de alterações precoces (*) ou mais avançadas, como a fragmentação da miofibrila (seta), por vezes completamente infiltrada por células inflamatórias (cabeça de seta). HE, 10x. E) Corte transversal, presença de infiltrado inflamatório focal perivascular predominantemente mononuclear. HE, 40x. F) Corte transversal, adjacente ao tecido conjuntivo perimisial, o qual apresenta-se discretamente espessado, há material extracelular amorfo, proveniente de miofibras necróticas (*). Tricrômio de Masson, 10x.

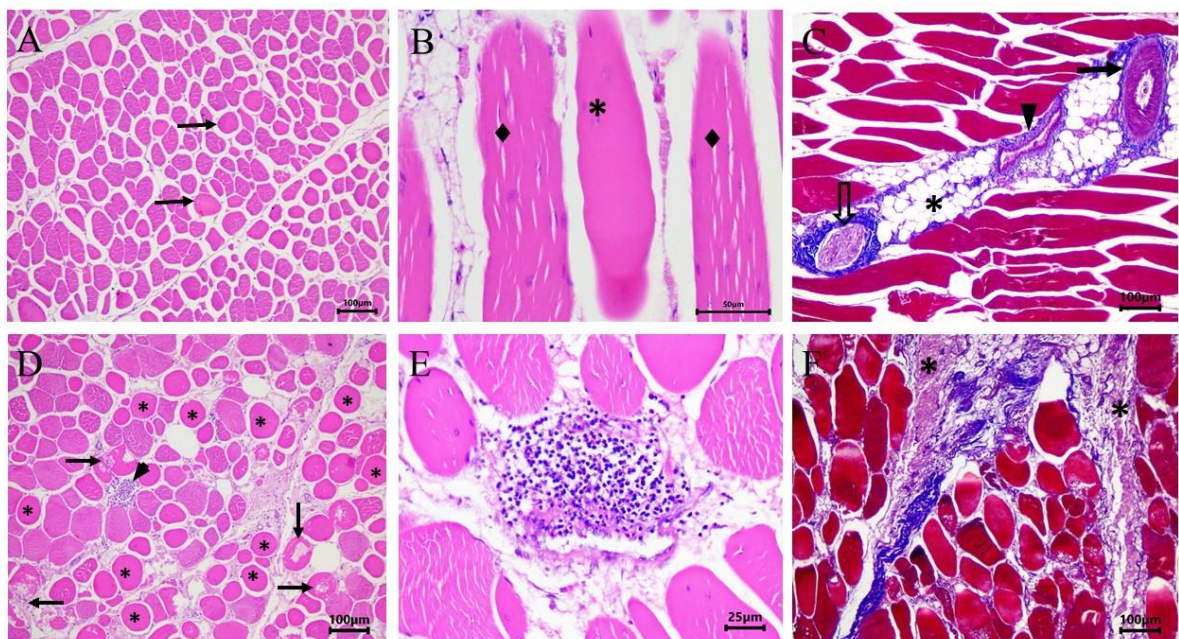


Tabela 1. Escores médios considerando a degeneração/necrose (A), fibroplasia (B), inflamação (C) em filés *WB* e normal

Alterações histológicas	<i>WB</i>	Normal
Degeneração/necrose (A)	2,09 ^a ± 0,70	1,44 ^a ± 0,72
Fibroplasia (B)	0,81 ^a ± 0,75	0,11 ^b ± 0,33
Inflamação (C)	1,55 ^a ± 0,69	0,77 ^b ± 0,83
Escore (A x 2) + (B x 2) + C	7,36 ^a ± 3,07	3,89 ^b ± 2,71

^{a,b} Letras iguais na mesma linha não diferem pelo teste t de *Student* ($p > 0,05$).

Tabela 2. Análise do perfil de aminoácidos das proteínas de filés *WB* e normal

Aminoácido	Normal (g/100g de proteína)	<i>WB</i> (g/100 g de proteína)
Ácido Aspártico	8,89 ^a ± 0,47	8,67 ^a ± 0,18
Ácido Glutâmico	13,36 ^a ± 0,32	13,15 ^a ± 0,14
Alanina	5,75 ^b ± 0,29	6,31 ^a ± 0,04
Arginina	6,46 ^a ± 0,27	6,75 ^a ± 0,04
Cistina	0,98 ^a ± 0,12	1,07 ^a ± 0,07
Fenilalanina	4,07 ^a ± 0,07	4,14 ^a ± 0,05
Glicina	4,46 ^b ± 0,18	5,01 ^a ± 0,01
Hidroxiprolina	0,12 ^b ± 0,05	0,23 ^a ± 0,02
Histidina	6,86 ^a ± 0,29	6,01 ^b ± 0,05
Isoleucina	4,17 ^a ± 0,25	3,66 ^b ± 0,05
Leucina	7,36 ^a ± 0,01	7,40 ^a ± 0,06
Lisina	9,18 ^a ± 0,17	9,23 ^a ± 0,06
Metionina	2,53 ^a ± 0,25	1,99 ^b ± 0,07
Prolina	3,46 ^b ± 0,17	3,89 ^a ± 0,01
Serina	3,89 ^a ± 0,14	3,88 ^a ± 0,02
Taurina	0,05 ^b ± 0,01	0,30 ^a ± 0,01
Tirosina	3,22 ^a ± 0,06	3,11 ^a ± 0,04
Treonina	4,16 ^a ± 0,05	4,04 ^b ± 0,04
Triptofano	1,08 ^a ± 0,01	0,97 ^b ± 0,04
Valina	4,89 ^a ± 0,28	4,98 ^a ± 0,10
Soma dos aminoácidos	94,96 ^a ± 0,01	94,82 ^a ± 0,57

^{a,b} Letras iguais na mesma linha não diferem pelo teste t de *Student* ($p > 0,05$).

Tabela 3. Composição química aproximada dos hambúrgueres e mortadelas elaboradas com filés normais e com *WB*.

Produtos	Grupos	Umidade (%)	Proteínas (%)	Lipídios (%)	Cinzas (%)
cárneos					
Hambúrguer	Normal	70,66 ^b ± 0,39	21,02 ^a ± 1,60	6,26 ^a ± 0,25	2,70 ^a ± 0,25
	<i>WB</i>	72,34 ^a ± 0,17	17,46 ^b ± 0,51	6,36 ^a ± 0,23	2,69 ^a ± 0,28
Mortadela	Normal	65,59 ^b ± 0,21	15,48 ^a ± 0,26	6,17 ^a ± 0,50	3,42 ^a ± 0,02
	<i>WB</i>	66,37 ^a ± 0,38	14,74 ^a ± 0,56	6,61 ^a ± 0,19	3,43 ^a ± 0,03

^{a,b} Letras iguais na mesma coluna, para o mesmo produto, não diferem pelo teste t de *Student* ($p > 0,05$).

Tabela 4. Rendimento de cocção (%) e encolhimento (%) dos hambúrgueres elaborados com filé normais e com *WB* durante o período de armazenamento.

	Período de armazenamento			
	1 dia	30 dias	60 dias	90 dias
Rendimento de cocção (%)				
Normal	88,26 ^{aA} ± 1,63	85,17 ^{aA} ± 2,01	87,55 ^{aA} ± 1,38	83,59 ^{aA} ± 2,68
<i>WB</i>	85,71 ^{aA} ± 1,78	85,94 ^{aA} ± 1,33	84,19 ^{aA} ± 2,59	86,89 ^{aA} ± 0,41
Encolhimento (%)				
Normal	9,59 ^{aA} ± 0,73	9,47 ^{aA} ± 1,63	9,22 ^{aA} ± 1,84	9,10 ^{aA} ± 1,27
<i>WB</i>	9,06 ^{aA} ± 1,43	9,40 ^{aA} ± 0,53	10,04 ^{aA} ± 0,34	9,61 ^{aA} ± 0,53

^{a,b} Letras iguais na mesma coluna, para o mesmo produto, não diferem pelo teste t de *Student* ($p > 0,05$).

^{A,B} Letras iguais na mesma linha não diferem pelo teste *Tukey* ($p > 0,05$).

Tabela 5. Cor (L^* , a^* e b^*) dos hambúrgueres elaborados com filés normais e com *WB* armazenados durante o período de armazenamento.

	Período de armazenamento			
	1 dia	30 dias	60 dias	90 dias
	L^* (luminosidade)			
Normal	60,66 ^{bB} ± 0,38	63,11 ^{aA} ± 0,47	60,81 ^{aB} ± 0,50	62,82 ^{aA} ± 0,49
<i>WB</i>	61,93 ^{aAB} ± 0,93	63,57 ^{aA} ± 0,79	61,57 ^{aB} ± 0,84	63,36 ^{aA} ± 0,84
	a^* (componente vermelho-verde)			
Normal	4,62 ^{aA} ± 0,15	4,64 ^{aA} ± 0,12	4,68 ^{aA} ± 0,24	4,67 ^{aA} ± 0,08
<i>WB</i>	4,34 ^{aA} ± 0,44	4,60 ^{aA} ± 0,33	4,48 ^{aA} ± 0,20	4,35 ^{aA} ± 0,42
	b^* (componente amarelo-azul)			
Normal	13,04 ^{bB} ± 0,22	13,97 ^{bA} ± 0,37	12,67 ^{aB} ± 0,41	13,25 ^{aAB} ± 0,68
<i>WB</i>	13,97 ^{aB} ± 0,26	14,85 ^{aA} ± 0,23	12,96 ^{aC} ± 0,42	13,54 ^{aBC} ± 0,50

^{a,b} Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste *t* de *Student* ($p > 0,05$).

^{A,B} Letras iguais na mesma linha não diferem pelo teste *Tukey* ($p > 0,05$).

Tabela 6. Cor (L^* , a^* e b^*) das mortadelas elaboradas com filé normal e com *WB* durante período de armazenamento.

	Período de armazenamento			
	1 dia	30 dias	60 dias	90 dias
	L^* (luminosidade)			
Normal	64,80 ^{bA} ± 0,37	65,08 ^{bA} ± 0,75	64,93 ^{bA} ± 0,43	65,34 ^{aA} ± 0,59
<i>WB</i>	65,93 ^{aA} ± 0,29	66,12 ^{aA} ± 0,49	66,31 ^{aA} ± 0,29	65,85 ^{aA} ± 0,19
	a^* (componente vermelho-verde)			
Normal	11,45 ^{aA} ± 0,15	11,42 ^{aA} ± 0,17	11,79 ^{aA} ± 0,23	11,78 ^{aA} ± 0,15
<i>WB</i>	11,17 ^{aC} ± 0,24	11,35 ^{aBC} ± 0,01	11,55 ^{aAB} ± 0,11	11,85 ^{aA} ± 0,11
	b^* (componente amarelo-azul)			
Normal	11,67 ^{aB} ± 0,18	12,37 ^{aA} ± 0,13	11,68 ^{aB} ± 0,19	11,48 ^{aB} ± 0,28
<i>WB</i>	11,82 ^{aA} ± 0,45	11,94 ^{aA} ± 0,38	11,43 ^{aAB} ± 0,31	10,94 ^{bB} ± 0,22

^{a,b} Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste t de *Student* ($p > 0,05$).

^{A,B} Letras iguais na mesma linha não diferem pelo teste *Tukey* ($p > 0,05$).

Tabela 7. Valores de pH, atividade de água e capacidade de retenção de água (CRA) para os hambúrgueres e mortadelas elaboradas com filés normais e com *WB* durante período de armazenamento.

Produtos cárneos	Grupos	Período de armazenamento			
		1 dia	30 dias	60 dias	90 dias
pH					
Hambúrguer	Normal	5,82 ^{bb} ± 0,05	5,93 ^{ba} ± 0,01	6,00 ^{ba} ± 0,06	6,00 ^{ba} ± 0,04
	<i>WB</i>	5,98 ^{ac} ± 0,06	6,04 ^{abc} ± 0,06	6,14 ^{aa} ± 0,01	6,11 ^{aab} ± 0,04
Mortadela	Normal	6,31 ^{aab} ± 0,01	6,30 ^{bb} ± 0,01	6,31 ^{bab} ± 0,01	6,33 ^{aa} ± 0,02
	<i>WB</i>	6,31 ^{ab} ± 0,02	6,33 ^{aab} ± 0,02	6,33 ^{aab} ± 0,01	6,36 ^{aa} ± 0,01
Atividade de água					
Hambúrguer	Normal	0,986 ^{aa} ± 0,002	0,982 ^{aab} ± 0,002	0,981 ^{ab} ± 0,004	0,974 ^{ac} ± 0,002
	<i>WB</i>	0,985 ^{aa} ± 0,002	0,986 ^{aa} ± 0,003	0,982 ^{aa} ± 0,005	0,974 ^{ab} ± 0,001
Mortadela	Normal	0,983 ^{aa} ± 0,001	0,981 ^{aa} ± 0,008	0,967 ^{ab} ± 0,002	0,983 ^{aa} ± 0,006
	<i>WB</i>	0,983 ^{aa} ± 0,002	0,987 ^{aa} ± 0,003	0,971 ^{ab} ± 0,003	0,982 ^{aa} ± 0,003
CRA (%)					
Hambúrguer	Normal	96,02 ^{aa} ± 0,41	95,85 ^{aa} ± 0,34	95,97 ^{ba} ± 0,17	96,26 ^{aa} ± 0,12
	<i>WB</i>	96,02 ^{aa} ± 0,30	95,98 ^{aa} ± 0,28	96,37 ^{aa} ± 0,14	96,34 ^{aa} ± 0,18
Mortadela	Normal	97,82 ^{aa} ± 0,17	97,65 ^{aab} ± 0,17	97,77 ^{aa} ± 0,07	97,47 ^{ab} ± 0,20
	<i>WB</i>	97,54 ^{aa} ± 0,16	97,54 ^{aa} ± 0,22	97,51 ^{aa} ± 0,24	97,14 ^{aa} ± 0,22

^{a,b} Letras iguais na mesma coluna, para o mesmo produto, não diferem pelo teste t de *Student* ($p > 0,05$).

^{A,B} Letras iguais na mesma linha não diferem pelo teste *Tukey* ($p > 0,05$).

Tabela 8. Oxidação lipídica (mg de malonaldeído . kg⁻¹ de amostra) para os hambúrgueres e mortadelas elaboradas com filé normal e com *WB* durante período de armazenamento.

Produtos	Grupos	Período de armazenamento			
		1 dia	30 dias	60 dias	90 dias
Hambúrguer	Normal	0,141 ^{bC} ± 0,007	0,143 ^{bBC} ± 0,011	0,157 ^{bAB} ± 0,007	0,158 ^{bA} ± 0,006
	<i>WB</i>	0,161 ^{aB} ± 0,008	0,171 ^{aB} ± 0,011	0,166 ^{aB} ± 0,004	0,195 ^{aA} ± 0,010
Mortadela	Normal	0,066 ^{aB} ± 0,007	0,071 ^{aB} ± 0,004	0,070 ^{aB} ± 0,007	0,171 ^{aA} ± 0,019
	<i>WB</i>	0,068 ^{aB} ± 0,003	0,078 ^{aB} ± 0,009	0,070 ^{aB} ± 0,006	0,174 ^{aA} ± 0,003

^{a,b} Letras iguais na mesma coluna, para o mesmo produto, não diferem pelo teste t de *Student* ($p > 0,05$).

^{A,B} Letras iguais na mesma linha não diferem pelo teste *Tukey* ($p > 0,05$).

Tabela 9. Análise do perfil de textura (TPA) para os hambúrgueres elaborados com filés normais e com *WB* durante período de armazenamento.

		Período de armazenamento			
	Parâmetros	1 dia	30 dias	60 dias	90 dias
Normal	Dureza (g)	2935 ^{aA} ± 366	3048 ^{aA} ± 289	3377 ^{aA} ± 376	3816 ^{aA} ± 524
WB		3342 ^{aA} ± 759	2309 ^{bA} ± 185	2897 ^{aA} ± 501	2259 ^{bA} ± 112
Normal	Elasticidade	1,03 ^{aA} ± 0,10	0,95 ^{aA} ± 0,02	0,96 ^{bA} ± 0,01	1,04 ^{aA} ± 0,04
WB		1,08 ^{aA} ± 0,06	1,27 ^{aA} ± 0,27	1,04 ^{aA} ± 0,04	1,08 ^{aA} ± 0,12
Normal	Coesividade	0,40 ^{aB} ± 0,01	0,41 ^{aB} ± 0,01	0,46 ^{aA} ± 0,01	0,43 ^{aAB} ± 0,01
WB		0,39 ^{aAB} ± 0,01	0,37 ^{aB} ± 0,02	0,43 ^{aB} ± 0,01	0,41 ^{aB} ± 0,01
Normal	Mastigabilidade (g/cm)	1200 ^{aA} ± 107	1182 ^{aA} ± 97	1515 ^{aA} ± 228	1876 ^{aA} ± 505
WB		1444 ^{aA} ± 383	1010 ^{aA} ± 201	1339 ^{aA} ± 324	1044 ^{bA} ± 32
Normal	Resiliência	0,14 ^{aA} ± 0,01	0,13 ^{aA} ± 0,01	0,15 ^{aA} ± 0,01	0,14 ^{aA} ± 0,01
WB		0,13 ^{aA} ± 0,01	0,12 ^{aA} ± 0,01	0,15 ^{aA} ± 0,01	0,14 ^{aA} ± 0,01

^{a,b} Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste t de *Student* ($p > 0,05$).

^{A,B} Letras iguais na mesma linha não diferem pelo teste *Tukey* ($p > 0,05$).

Tabela 10. Análise do perfil de textura (TPA) para as mortadelas elaboradas com filés normais e com *WB* durante período de armazenamento.

		Período de armazenamento			
	Parâmetros	1 dia	30 dias	60 dias	90 dias
Normal	Dureza (g)	3550 ^{aA} ± 309	3830 ^{aA} ± 146	3496 ^{aA} ± 499	3822 ^{aA} ± 265
WB		3164 ^{aA} ± 297	3461 ^{aA} ± 319	3106 ^{aA} ± 358	3421 ^{aA} ± 430
Normal	Elasticidade	2,25 ^{aA} ± 0,30	2,14 ^{aA} ± 0,26	2,32 ^{aA} ± 0,54	2,21 ^{aA} ± 0,43
WB		2,46 ^{aA} ± 0,41	2,74 ^{aA} ± 0,33	2,59 ^{aA} ± 0,26	2,80 ^{aA} ± 0,36
Normal	Coesividade	0,83 ^{aA} ± 0,01	0,83 ^{aA} ± 0,01	0,84 ^{aA} ± 0,01	0,84 ^{aA} ± 0,01
WB		0,83 ^{aB} ± 0,01	0,83 ^{aB} ± 0,01	0,84 ^{aB} ± 0,01	0,87 ^{aA} ± 0,02
Normal	Mastigabilidade (g/cm)	7018 ^{aA} ± 1206	5993 ^{aA} ± 2319	6841 ^{aA} ± 1690	7267 ^{aA} ± 259
WB		6593 ^{aA} ± 347	7841 ^{aA} ± 860	6755 ^{aA} ± 1385	8637 ^{aA} ± 2060
Normal	Resiliência	0,46 ^{aB} ± 0,01	0,46 ^{aB} ± 0,01	0,48 ^{aA} ± 0,01	0,47 ^{aA} ± 0,01
WB		0,46 ^{aB} ± 0,01	0,46 ^{aB} ± 0,01	0,48 ^{aAB} ± 0,01	0,51 ^{aA} ± 0,03

^{a,b} Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste t de *Student* ($p > 0,05$).

^{A,B} Letras iguais na mesma linha não diferem pelo teste *Tukey* ($p > 0,05$).

1323 **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

1324

1325 A incidência da anomalia *WB* resultou em alterações indesejáveis na
1326 aparência e redução da qualidade tecnológica, comprometendo o rendimento e a
1327 qualidade da carne oferecida ao mercado. Os resultados indicaram que a bioquímica
1328 do colágeno está diretamente envolvida com o desenvolvimento do *WB*, havendo um
1329 aumento de 17,32% de colágeno total e diminuição de 30,96% de piridinolinas, ou
1330 seja, um menor número de ligações cruzadas do colágeno. Além disso, filés com *WB*
1331 apresentaram baixo índice de aceitação e intenção de compra, os principais
1332 problemas apontados pelos consumidores foram: aspecto gorduroso, presença
1333 pronunciada de estrias, cor não uniforme, aparência de carne dura e difícil preparo,
1334 resultados que podem indicar perdas econômicas significativas para o setor avícola.

1335 Histologicamente, houve comprometimento das fibras musculares em todas
1336 os filés avaliados, inclusive naqueles filés visualmente classificados como normais,
1337 indicando que a manifestação da anomalia já se iniciou. Foi identificado maior
1338 fibroplasia, processo inflamatório e resíduo de fibras necróticas em filés *WB*.
1339 Simultaneamente, a incidência da anomalia refletiu diretamente na composição dos
1340 aminoácidos, indicando processos degenerativos, inflamatórios e estresse oxidativo.
1341 A elaboração de hambúrgueres e mortadelas com filés *WB*, resultou em produtos
1342 estáveis e sem comprometimento do rendimento e parâmetros de qualidade durante
1343 o período de armazenamento. Os resultados sugerem que a elaboração de produtos
1344 cárneos com menor porcentagem de carne *WB* pode ser uma alternativa viável,
1345 agregando valor a estes cortes, sem comprometer o padrão de qualidade destes
1346 produtos.

ANEXOS

QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO SENSORIAL

AVALIAÇÃO SENSORIAL POR FOTOGRAFIAS DE CARNES DE FRANGO WOODEN BREAST

Caso esteja utilizando um notebook para responder a pesquisa, solicitamos que ajuste a tela do notebook formando um ângulo de 90 graus para melhor visualização das imagens e discriminação da cor.

Questionário para avaliadores

1. Sexo: feminino masculino
2. Faixa etária: 15-25 26-35 36-50 acima de 50 anos
3. Indique a frequência de consumo de carne de frango:
 Diariamente
 4 a 5 vezes por semana
 1 a 3 vezes por semana
 Raramente (1 vez por mês ou menos)
 Nunca

Comparação pareada unilateral e teste de aceitação

Observe as imagens abaixo para responder as próximas perguntas
(Fotos)

Indique a amostra mais pálida

- Filé de frango 286
 Filé de frango 532

Avalie o filé de frango 286 utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou em relação à aceitação global

- 9 - Gostei extremamente
 8 - Gostei muito
 7 - Gostei moderadamente
 6 - Gostei ligeiramente
 5 - Indiferente
 4 - Desgostei ligeiramente
 3 - Desgostei moderadamente
 2 - Desgostei muito

1 - Desgostei extremamente

Indique o motivo de sua resposta em relação ao filé de frango 286

Agora, avalie o filé de frango 532 utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou em relação à aceitação global

9 - Gostei extremamente

8 - Gostei muito

7 - Gostei moderadamente

6 - Gostei ligeiramente

5 - Indiferente

4 - Desgostei ligeiramente

3 - Desgostei moderadamente

2 - Desgostei muito

1 - Desgostei extremamente

Indique o motivo de sua resposta em relação ao filé de frango 532

Intenção de compra

Observe as imagens abaixo para responder as próximas perguntas
(Fotos)

Avalie o filé de frango 286 utilizando a escala abaixo que melhor represente a sua intenção de compra

5 - Certamente compraria

4 - Possivelmente compraria

3 - Talvez compraria/talvez não compraria

2 - Possivelmente não compraria

1 - Certamente não compraria

Indique o motivo de sua resposta em relação ao filé de frango 286

Avalie o filé de frango 532 utilizando a escala abaixo que melhor represente a sua intenção de compra

5 - Certamente compraria

4 - Possivelmente compraria

- () 3 - Talvez compraria/talvez não compraria
- () 2 - Possivelmente não compraria
- () 1 - Certamente não compraria

Indique o motivo de sua resposta em relação ao filé de frango 532

Obrigada pela sua participação!

COMITÊ DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS



COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

OF. CIRC. CEUA Nº 106/2018

Londrina, 28 de Junho de 2018.

Prezado (a) professor (a)

Certificamos que o projeto intitulado: “Avaliação bioquímica e estrutural de carnes de frango *Wooden Breast* e aplicação em produtos cárneos.” Protocolo CEUA nº 10861.2018.12, sob a responsabilidade de **Adriana Lourenço Soares Russo**, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem) para fins de pesquisa científica, encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA) e foi **aprovado** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual de Londrina (CEUA/UEL) em **26/06/2018**.

O Objetivo é investigar e comparar os parâmetros bioquímicos e estruturais do tecido conjuntivo intramuscular de peitos de frango normais e *wooden breast* (WB), avaliar a percepção dos consumidores e aplicar em produtos cárneos. GI: 1

Vigência do Projeto	04/08/2018 a 01/02/2022
Espécie/linhagem	Ave (Cobb)
Nº de animais	500
Peso/Idade	2.300g- 42 dias
Sexo	Machos e Fêmeas
Origem	Frigorífico COPACOL (Cooperativa Agroindustrial Consolata)
Amostras a serem coletadas	Filés de peito de frango

Cumpra orientar que caso pretendam-se quaisquer alterações no protocolo experimental aprovado, deve-se submeter o novo protocolo à apreciação da CEUA/UEL anteriormente à execução das modificações.

Coloco-me à disposição para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários. Sem mais para o momento, subscrevo, cordialmente.

Prof. Dra. Maria Fernanda Rodrigues Graciano
Coordenadora da CEUA/UEL

Ilmo.(a) Sr.(a)

Prof. (a) Dr. (a). Adriana Lourenço Soares Russo

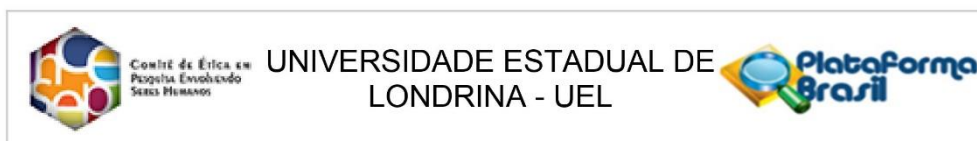
Responsável pelo projeto

Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos/ CCA

C/C para a Chefia do depto de Ciência e Tecnologia de Alimentos /CCA

C/C para a Direção do CCA

COMITÊ DE ÉTICA EM SERES HUMANOS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação bioquímica e estrutural de carnes de frango wooden breast e aplicação em produtos cárneos

Pesquisador: BRUNA CAROLINE GERONIMO

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 89055118.9.0000.5231

Instituição Proponente: CCA - Departamento de Ciencia e tecnologia de Alimentos

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.673.746

Apresentação do Projeto:

A produtividade avícola é responsável por movimentar atualmente US\$ 6,8 bilhões na economia brasileira. Neste cenário, o Brasil é referência no mercado internacional, ocupando a liderança em exportação mundial e segundo maior produtor de frangos de corte. Nos últimos anos foi observado uma crescente demanda por carne de frango e a avicultura foi impulsionada a desenvolver novas tecnologias para atender o mercado. Realizou-se intensa seleção genética para obtenção de aves com maior taxa de crescimento e maior rendimento de carcaça, que associada a alimentação de alta energia e melhoramento da ambiência propiciaram o fornecimento de aves com peso adequado para abate em menor tempo. Entretanto, surgiram anomalias na carcaça, em particular, no peito de frango, as quais ainda não possuem etiologia totalmente esclarecidas, mas sua ocorrência pode estar associada a estas modificações e avanços no setor. O wooden breast (WB) é uma das anomalias que tem aumentado significativamente a sua incidência na produção avícola e causado preocupação e prejuízos ao setor. O WB que é caracterizado por dureza palpável do filé de frango, presença de áreas pálidas, protuberância na região caudal, abaulamento na região cranial e fluido viscoso superficial de coloração citrina. Além das alterações macroscopicamente visíveis, o filé de frango afetado pelo WB possui alterações indesejáveis sob os aspectos nutritivos, apresentando menor conteúdo proteico e maior conteúdo de lipídios, e sob os aspectos tecnológicos, como a redução da capacidade de retenção de água, e conseqüentemente, menor rendimento. Tais alterações podem ser explicadas pelas modificações estruturais no tecido

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

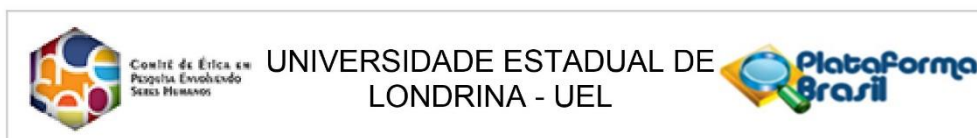
UF: PR

Município: LONDRINA

Telefone: (43)3371-5455

CEP: 86.057-970

E-mail: cep268@uel.br



Continuação do Parecer: 2.673.746

conjuntivo intramuscular pertinentes a anomalia.

Objetivo da Pesquisa:

Avaliar a percepção dos consumidores frente ao WB em frangos "in natura" por meio de avaliação sensorial de intensidade de cor e intenção de compra, e, em segunda instância, investigar diferenças quanto a intensidade de cor, suculência, maciez e aceitabilidade de cortes grelhados.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Redação clara e precisa.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Não há.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Recomenda-se apenas um pequeno ajuste na redação dos riscos em um dos TCLE's, como mostrado no próximo item.

Recomendações:

Recomenda-se dois ajustes na redação: 1) rever a redação da hipótese feita no registro da plataforma; 2) Em um dos TCLE's a pesquisadora se responsabiliza pelo amparo ao participante caso ocorra algum desconforto durante e decorrente da pesquisa; mas no outro TCLE esse amparo não está redigido e, portanto, precisa ser acrescentado.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto foi redigido, em sua totalidade, com muita clareza e precisão.

Considerações Finais a critério do CEP:

Prezado (a) Pesquisador (a),

Este é seu parecer final de aprovação, vinculado ao Comitê de Ética em Pesquisas Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina. É sua responsabilidade imprimi-lo para apresentação aos órgãos e/ou instituições pertinentes.

Coordenação CEP/UEL.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1110489.pdf	07/05/2018 10:03:41		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento /	TCLE2.doc	07/05/2018 09:59:30	BRUNA CAROLINE GERONIMO	Aceito

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

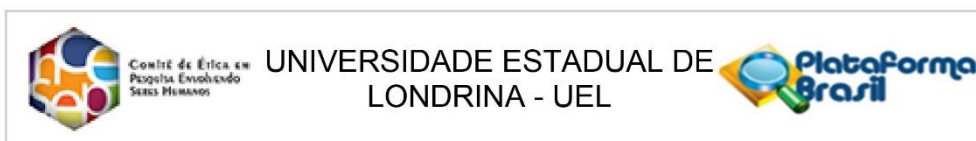
UF: PR

Município: LONDRINA

Telefone: (43)3371-5455

CEP: 86.057-970

E-mail: cep268@uel.br



Continuação do Parecer: 2.673.746

Justificativa de Ausência	TCLE2.doc	07/05/2018 09:59:30	BRUNA CAROLINE GERONIMO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE1.doc	07/05/2018 09:59:12	BRUNA CAROLINE GERONIMO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_BrunaGeronimo.pdf	07/05/2018 09:58:05	BRUNA CAROLINE GERONIMO	Aceito
Folha de Rosto	PlataformaBrasil.pdf	07/05/2018 09:50:05	BRUNA CAROLINE GERONIMO	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

LONDRINA, 24 de Maio de 2018

Assinado por:

**Alexandrina Aparecida Maciel Cardelli
(Coordenador)**

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

UF: PR

Município: LONDRINA

Telefone: (43)3371-5455

CEP: 86.057-970

E-mail: cep268@uel.br