



# **COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE**

## **BIOQUÍMICA, IMPORTÂNCIA E**

### **TECNOLOGIAS PARA O**

#### **AMACIAMENTO**



**JOSÉ DILSON FRANCISCO DA SILVA**  
**RENIUS DE OLIVEIRA MELLO**

**COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE:  
Bioquímica, importância e  
tecnologias para o amaciamento**

Todo o conteúdo apresentado neste livro é de responsabilidade do(s) autor(es).

Esta publicação está licenciada sob [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

### **Conselho Editorial**

Prof. Dr. Ednilson Sergio Ramalho de Souza - Ufopa (Editor-Chefe)  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Danjone Regina Meira - USP  
Prof<sup>a</sup>. Ms. Roberta Seixas - Unesp  
Prof. Ms. Gleydson da Paixão Tavares - UESC  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Monica Aparecida Bortolotti - Unicentro  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Isabele Barbieri dos Santos - FIOCRUZ  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciana Reusing - IFPR  
Prof<sup>a</sup>. Ms. Laize Almeida de Oliveira - UNIFESSPA  
Prof. Ms. John Weyne Maia Vasconcelos - UFC  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Pinto de Aragão Quintino - SEDUC-AM  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leticia Nardoni Marteli - IFRN  
Prof. Ms. Flávio Roberto Chaddad - SEESP  
Prof. Ms. Fábio Nascimento da Silva - SEE/AC  
Prof<sup>a</sup>. Ms. Sandolene do Socorro Ramos Pinto - UFPA  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Klenicy Kazumy de Lima Yamaguchi - UFAM  
Prof. Dr. Jose Carlos Guimaraes Junior - Governo do Distrito Federal  
Prof. Ms. Marcio Silveira Nascimento - UFRR  
Prof. Ms. João Filipe Simão Kembo - Escola Superior Pedagógica do Bengo - Angola  
Prof. Ms. Divo Augusto Pereira Alexandre Cavadas - FADISP  
Prof<sup>a</sup>. Ms. Roberta de Souza Gomes - NESPEFE - UFRJ  
Prof. Ms. Valdimiro da Rocha Neto - UNIFESSPA  
Prof. Dr. Jeferson Stiver Oliveira de Castro - IFPA  
Prof. Ms. Artur Pires de Camargos Júnior - UNIVÁS  
Prof. Ms. Edson Vieira da Silva de Camargos - Universidad de la Empresa (UDE) - Uruguai  
Prof. Ms. Jacson Baldoino Silva - UEFS  
Prof. Ms. Paulo Osni Silvério - UFSCar  
Prof<sup>a</sup>. Ms. Cecília Souza de Jesus - Instituto Federal de São Paulo

*“Acreditamos que um mundo melhor se faz com a difusão do conhecimento científico”.*

Equipe Home Editora

José Dilson Francisco da Silva  
Renius de Oliveira Mello

**COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE:  
Bioquímica, importância e  
tecnologias para o amaciamento**

1ª Edição

Belém-PA  
Home Editora  
2024

© 2024 Edição brasileira  
by Home Editora

© 2024 Texto  
by Autor

Todos os direitos reservados

Home Editora  
CNPJ: 39.242.488/0002-80  
www.homeeditora.com  
contato@homeeditora.com  
91988165332  
Tv. Quintino Bocaiúva, 23011 - Ba-  
tista Campos, Belém - PA, 66045-  
315

**Editor-Chefe**

Prof. Dr. Ednilson Ramalho

**Projeto gráfico**

homeeditora.com

**Revisão, diagramação e capa**

Autor

**Bibliotecária**

Janaina Karina Alves Trigo Ramos

CRB-8/009166

**Produtor editorial**

Laiane Borges

**Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)**



C683

Colágeno e maciez da carne: bioquímica, importância e tecnologias para o amaciamento / José Dilson Francisco da Silva, Renius de Oliveira Mello. – Belém: Home, 2024.

Livro em PDF  
38p.

ISBN 978-65-6089-070-1

DOI 10.46898/home.8705e5a9-1cf6-491d-951a-415522ff087f

1. Colágeno e maciez da carne. I. Silva, José Dilson Francisco da. II. Mello, Renius de Oliveira.

CDD 630

Índice para catálogo sistemático

I. Ciências Agrárias.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I	INTRODUÇÃO.....	7
CAPÍTULO II	BIOQUÍMICA, FUNÇÕES E DISTRIBUIÇÃO DO COLÁGENO NOS ANIMAIS.....	9
CAPÍTULO III	COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE.....	14
CAPÍTULO IV	TECNOLOGIAS PARA O AMACIAMENTO DA CARNE.....	18
REFERÊNCIAS	.....	28

## **APRESENTAÇÃO**

A maciez é um dos principais indicadores da qualidade da carne, determinando sua aceitação e o valor comercial. O teor e o grau de organização do colágeno, presente nos músculos, influenciam esse atributo. Neste livro, o leitor será atualizado com novas evidências científicas sobre as propriedades bioquímicas do colágeno e como essa proteína influencia na maciez da carne. Processos tecnológicos convencionais e não convencionais, que visam à modificação do colágeno e à melhoria da maciez da carne, também são apresentados neste livro. Essas informações são importantes para estudantes, pesquisadores e profissionais interessados na cadeia de produção da carne e áreas correlatas.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUÇÃO**



## 1 INTRODUÇÃO

O colágeno é o maior grupo de proteínas da matriz extracelular dos animais, respondendo por cerca de um terço de todas as proteínas do organismo (GU et al., 2019; PAOLA et al., 2019; SCHUMACHER; MIZUNO; BÄCHINGER, 2006; SVENSSON et al., 2017). Como principal função biológica, o colágeno mantém a integridade dos tecidos e atribui resistência mecânica (DEPALLE et al., 2015; GELSE; PÖSCHL; AIGNER, 2003; PAOLA et al., 2019; SVENSSON et al., 2017). Essas propriedades refletem em atributos sensoriais da carne, especificamente na maciez. Sabe-se que esse atributo é um dos principais indicadores de qualidade da carne, que determinam sua aceitação e valor comercial (HOCQUETTE et al., 2014; O'QUINN et al., 2018).

A maciez da carne é o resultado da interação entre a dureza de actomiosina, causada pelas proteínas miofibrilares, e a dureza residual ou intrínseca, causada pelo tecido conjuntivo e colágeno (BOLUMAR et al., 2014; BOWKER et al., 2007). A dureza residual é mais relevante em carnes com alto teor e grau de organização do colágeno, mais difíceis de processar e de menor valor comercial (ALAHAKOON et al., 2019a; STARKEY et al., 2016; WARNER et al., 2017).

A correção da dureza da carne se faz por meio de métodos tradicionais de amaciamento, como processos de maturação, operações de corte, injeção de enzimas exógenas e de ácidos e uso de calor. Métodos não convencionais também estão sendo estudados, a exemplo do uso de ultrassom de baixa e de alta potência, ondas de choque, pressão hidrostática e campo elétrico pulsado. A maioria dessas novas tecnologias encontra-se em avaliação de viabilidade técnica e econômica (BHAT et al., 2018; BOLUMAR et al., 2014).

Este livro reúne dados sobre propriedades bioquímicas do colágeno e sua influência sobre a dureza da carne. Faz-se um apanhado de tecnologias utilizadas na reversão da dureza de carnes onde o colágeno apresenta influência.

# **CAPÍTULO II**

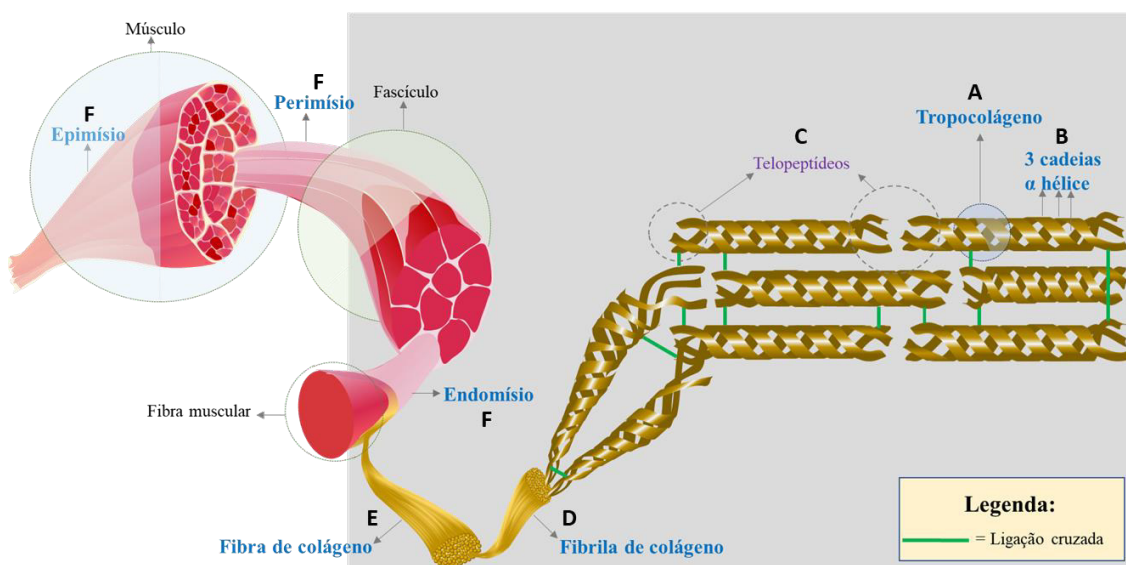
## **BIOQUÍMICA, FUNÇÕES E DISTRIBUIÇÃO DO COLÁGENO NOS ANIMAIS**

# 1 BIOQUÍMICA, FUNÇÕES E DISTRIBUIÇÃO DO COLÁGENO NOS ANIMAIS

Colágeno é um termo genérico que define uma superfamília de proteínas da matriz extracelular dos animais, organizadas principalmente na forma de redes, fibras e fibrilas. O colágeno responde por cerca de um terço de todas as proteínas do organismo e é o componente majoritário da matriz extracelular dos tecidos, desempenhando função dominante na manutenção estrutural. Além disso, o colágeno participa de processos de adesão celular, quimiotaxia, migração celular, gênese e diferenciação dos tecidos e cicatrização de feridas (GU et al., 2019; PAOLA et al., 2019; SCHUMACHER; MIZUNO; BÄCHINGER, 2006; SVENSSON et al., 2017).

Os diferentes níveis de organização (molecular e supramolecular) do colágeno estão ilustrados na Figura 1.

**Figura 1** – Representação gráfica demonstrando, da direita para a esquerda, os diferentes níveis hierárquicos do colágeno e como essas moléculas se reúnem para formar os tecidos conjuntivos do músculo



Fonte: os autores.

A unidade básica do colágeno, denominada tropocolágeno (Figura 1A), consiste em uma estrutura quaternária helicoidal resultante da associação de três subunidades peptídicas, as cadeias  $\alpha$  (Figura 1B). Das extremidades do tropocolágeno, partem ramificações peptídicas não helicoidais denominadas telopeptídeo (Figura 1C), região essencial para a formação das diferentes estruturas supramoleculares de colágeno, como fibrilas, redes e fibras. Foram identificadas dezenas de cadeias  $\alpha$ , que se diferem entre si quanto à estrutura primária e ao peso molecular. Apesar dessas diferenças, vale destacar algumas similaridades entre essas subunidades, que dão características únicas às moléculas de colágeno: a estrutura primária das cadeias  $\alpha$  é formada por repetições do tripeptídeo Gly-Xaa-Yaa; dado o pequeno volume do resíduo de glicina (Gly), comparativamente aos demais aminoácidos, sua presença a cada terceira posição na cadeia  $\alpha$  é essencial para possibilitar as junções no eixo central da estrutura helicoidal do tropocolágeno. Nas posições Xaa e Yaa, respectivamente, predominam resíduos de prolina e hidroxiprolina ou, eventualmente, resíduos de cisteína, tirosina, histidina e hidroxilisina. Nessas configurações, esses aminoácidos formam ligações de hidrogênio com resíduos de cadeias  $\alpha$  vizinhas, dando estabilidade à tripla hélice do colágeno. Hidroxiprolina (Hyp) e hidroxilisina (Hyl) são aminoácidos unicamente encontrados no colágeno, formados via oxidação de prolina e lisina, respectivamente, após biossíntese (RADMER; KLEIN, 2006; SCHUMACHER; MIZUNO; BÄCHINGER, 2006).

No meio extracelular, moléculas de tropocolágeno polimerizam-se, formando as fibrilas (Figura 1D), que por sua vez, organizam-se em fibras (Figura 1E). Essas estruturas são estabilizadas por ligações cruzadas, que envolvem as regiões terminais dos tropocolágenos (os telopeptídeos) e aminoácidos laterais das seções helicoidais das cadeias  $\alpha$  vizinhas. As fibras de colágeno são os principais componentes estruturais dos tecidos conjuntivos intramusculares (o endomísio, que envolve as fibras musculares, e o perimísio, que envolve feixes/fascículos de fibras musculares) e do epimísio, que envolve o músculo (Figura 1F). As

ligações cruzadas conferem estabilidade mecânica, térmica e química às fibrilas e às fibras de colágeno, evitando a desnaturação e o ataque enzimático nas condições fisiológicas. O número de ligações cruzadas (também denominado grau de reticulação do colágeno) está diretamente relacionado à estabilidade, rigidez e resistência às forças de tração (DUBOST et al., 2013; HEROD et al., 2016; SILVA et al., 2014). As principais ligações cruzadas na carne são as piridinolinas (hidroxilisilpiridinolina e desidroxilisilpiridinolina), razão pela qual são consideradas indicadores de reticulação do colágeno (DUBOST et al., 2013).

A capacidade de formar de fibrilas e fibras é uma característica dos colágenos tipo I, II, III, V, VI e XI, dos quais o tipo I é o mais abundante nos animais, representando cerca de 90% de todos os tipos de colágenos. As fibras de colágeno tipo I são numerosas em órgãos que necessitam de resistência biomecânica, como pele, ossos, dentes, ligamentos, cartilagem dos vasos sanguíneos, tendões e tecidos conjuntivos do músculo (DEPALLE et al., 2015; PAOLA et al., 2019; SVENSSON et al., 2017). O colágeno tipo II, segundo em fração no organismo, está localizado quase exclusivamente na cartilagem, dando estrutura, elasticidade e resistência mecânica (CHRISTGAU et al., 2001; CAO; XU, 2008). O tecido cartilaginoso é encontrado nas articulações, discos intervertebrais, costelas, osso esterno, nariz, traqueia e orelhas (KRISHNAN; GRODZINSKY, 2018).

O colágeno tipo III é um componente importante da matriz extracelular da pele e de uma variedade de órgãos internos. Ele está especialmente presente em tecidos que exibem propriedades elásticas, incluindo a derme, os vasos sanguíneos, o trato gastrointestinal, o útero, os pulmões e o fígado, onde representa até 30% do total de colágeno; constitui o arcabouço dos vasos sanguíneos e dos órgãos do sistema hematopoiético e linfático, como a medula óssea, o baço e os linfonodos, e dos vasos sanguíneos. O colágeno tipo III também está presente na membrana basal dos vasos sanguíneos, das fibras nervosas e das

células musculares (CALVI et al., 2012; D'HONDT et al., 2018; VOLK et al., 2014).

Alguns colágenos, mesmo em menor concentração ou com distribuição restrita no organismo, desempenham funções tão importantes quanto à dos anteriormente destacados. Por exemplo, o colágeno tipo IV, não formador de fibras, é o componente estrutural mais abundante da membrana basal, que sustenta os epitélios, conferindo-lhes resistência mecânica. Colágenos tipo IV, VI, VII, X, XIX, XXII, XXIV e XXVII participam de importantes processos biológicos de sinalização, integração e proliferação celular (MAK; MEI, 2017; RICARD-BLUM, 2011).

No sistema muscular, os colágenos tipo I e III são os principais componentes dos tecidos conjuntivos que envolvem músculos inteiros (epimísio), fâscículos ou feixes de fibras musculares (perimísio) e cada fibra muscular (endomísio). Ali, são responsáveis pela arquitetura, organização e resistência mecânica tecidual e pela transmissão das forças contráteis das miofibrilas até os tendões (MOHAMMADKHAH; MURPHY; SIMMS, 2018; PASSERIEUX et al., 2007; TAKAZA et al., 2014). Dos tendões, as fibras de colágeno tipo I transmitem para os ossos as forças de tração geradas no músculo, permitindo o movimento (HAZARD; MYERS; EHRLICH, 2011; HEROD et al., 2016).

# **CAPÍTULO III**

## **COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE**

## 1 COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE

A maciez da carne é um dos principais indicadores de qualidade, que determinam sua aceitação e valor comercial (HOCQUETTE et al., 2014; O'QUINN et al., 2018). Ela é o resultado da interação entre a dureza de actomiosina, causada pelas proteínas miofibrilares, e a dureza residual ou intrínseca, causada pelo tecido conjuntivo e colágeno (BOLUMAR et al., 2014; BOWKER et al., 2007). Enquanto a dureza de actomiosina é mais importante para cortes cárneos obtidos de animais mais jovens ou com baixo teor de colágeno, a dureza residual é mais relevante em cortes com alto teor e grau de organização do colágeno, mais difíceis de se processar e de menor valor comercial (ALAHAKOON et al., 2019a; BALDWIN, 2012; STARKEY et al., 2016; WARNER et al., 2017).

Cortes do quarto dianteiro da carcaça de bovinos, como pescoço (músculo *Trapezius*), peito (músculo *Rectus abdominis*), e paleta (músculo *Biceps femoris*) são bons exemplos onde o colágeno influencia fortemente na dureza (BERGE et al., 2001; HA et al., 2013; HUERTA-MONTAUTI et al., 2008). Compreender como o colágeno responde pela dureza nesses tipos de carne é importante para se prever a qualidade e otimizar operações de preparo e processamento visando-se melhorar a aceitação sensorial (BALDWIN, 2012; HOCQUETTE et al., 2014; WARNER et al., 2017).

A quantificação de colágeno é um bom indicador de maciez da carne. Os músculos que compõem a carcaça bovina apresentam concentrações específicas de colágeno, dadas as propriedades mecânicas e funcionais de cada um. Para o músculo *Psoas major* (filé mignon), o teor de colágeno ( $1,52 \pm 0,17\%$ ) é menor que o observado nos músculos *Supraspinatus* (paleta) ( $1,97 \pm 0,13\%$ ) e *Superficial pectoral* (costela) ( $1,99 \pm 0,08\%$ ). Sabe-se que o filé mignon é um corte de alto valor agregado devido à maior maciez em relação a outros cortes cárneos, como os anteriormente citados (CHO et al., 2016). Altos níveis de tecido



conjuntivo intramuscular ajudam a explicar os maiores valores de força de cisalhamento observados em bifés do músculo *Semimembranosus* (coxão mole) quando comparado a bifés de *Longissimus thoracis* (lombo), estes mais macios (ZUCKERMAN et al., 2013). Christensen et al. (2011), analisando a textura do lombo, verificaram correlação negativa entre a maciez e o teor de colágeno total. Outros autores também relataram mesma tendência ao avaliar a textura dos músculos *Longissimus thoracis*, *Biceps femoris* (picanha) e *Semitendinosus* (lagarto). Entre estes, o menor teor de colágeno na picanha (*Biceps femoris*) contribuiu para explicar sua maior maciez em relação aos demais músculos (D'ALESSANDRO et al., 2012, NAKAMURA et al., 2010; HOCQUETTE et al., 2014; HILDRUM et al., 2009; STARKEY et al., 2016).

O teor de colágeno informa a quantidade total desta proteína em suas diversas formas (tropocolágeno, redes, fibrilas, fibras, solúvel, insolúvel, etc.) em uma amostra (DA SILVA; SPINELLI; RODRIGUES, 2015), entretanto não informa sobre o seu grau de organização (reticulação). Esta característica mede a quantidade de ligações cruzadas e organização do colágeno, portanto, é também indicador de maciez da carne. O grau de reticulação do colágeno na carne varia em função de fatores genéticos (espécie, raça, etc.), da idade, do manejo e entre músculos distintos (DUBOST et al., 2013; LEPETIT et al., 2007; ROY et al., 2015).

Comparado aos animais de sangue quente (bovinos, aves e suínos, por exemplo), o colágeno presente nos peixes contém menor quantidade de ligações cruzadas, razão pela qual o músculo desses animais apresenta estrutura mais delicada e de mais fácil cocção (HERNÁNDEZ-HERRERO et al., 2003). Entre os músculos *Longissimus thoracis*, *Semimembranosus* e *Biceps femoris*, o teor de ligações cruzadas (nM g<sup>-1</sup> em massa seca) varia, com valores de 19,0, 28,2 e 36,6, respectivamente (DUBOST et al., 2013). Quando maior a quantificação de ligações cruzadas no músculo, mais firmes e organizadas são suas estruturas e maior a sua estabilidade contra fatores externos (estresse mecânico,

aquecimento, pH, proteases e sais, por exemplo) (RINCÓN et al., 2016; ROY et al., 2015; ZUCKERMAN et al., 2013). Dubost et al. (2013) verificaram maior espessura do perimísio quando essas ligações cruzadas estavam presentes em maior quantidade na carne. A espessura do perimísio apresenta relação negativa com a maciez da carne equina (ROY et al., 2018), bovina (CHANG et al., 2015) e de frango (AN et al., 2010). Durante o preparo ou processamento, a dureza residual da carne pode ser corrigida por meio da modificação física ou química do colágeno e dos tecidos conjuntivos. Para esse fim, estratégias tecnológicas tradicionais e inovadoras são comentadas no capítulo a seguir.

# **CAPÍTULO IV**

## **TECNOLOGIAS PARA O AMACIAMENTO DA CARNE**

## **1 TECNOLOGIAS PARA O AMACIAMENTO DA CARNE**

A correção da dureza de cortes cárneos se faz comumente por meio de métodos tradicionais de amaciamento, como processos de maturação, operações de corte, injeção de enzimas exógenas e de ácidos e uso de calor. O controle dessas operações é essencial para se obter produtos com textura aceitável pelo consumidor. Métodos não convencionais também estão sendo estudados, a exemplo do uso de ultrassom de baixa e de alta potência, ondas de choque, pressão hidrostática e campo elétrico pulsado. A maioria dessas tecnologias encontra-se em avaliação de viabilidade técnica e econômica (BHAT et al., 2018; BOLUMAR et al., 2014).

### **1.1 Tecnologias tradicionais**

Após o abate do animal, a primeira etapa que induz à alteração do colágeno e resolução da dureza residual da carne é a etapa da maturação. Nesse processo, as proteases endógenas ganham papel fundamental ao clivarem múltiplas estruturas proteicas da carne, como proteínas sarcoplasmáticas, proteínas miofibrilares, proteínas da substância fundamental e fibrilas de colágeno (D'ALESSANDRO; ZOLLA, 2013; LI; ZHOU; XU, 2008). Colagenases e metaloproteínas são capazes de clivar tanto as ligações covalentes, na região dos telopeptídeos, quanto em regiões da tripla hélice, liberando cadeias  $\alpha$ , que, por sua vez, podem ser hidrolisadas pelas catepsinas. A desintegração do colágeno por enzimas endógenas reduz a força mecânica do tecido conjuntivo da carne (NIAN et al., 2017; HERNÁNDEZ-HERRERO et al., 2003). Num estudo de maturação (28 dias) do músculo *Semitendinosus*, Li, Zhou e Xu (2008) verificaram uma melhoria na maciez deste músculo, que estava relacionada ao aumento do teor de colágeno solúvel, redução da espessura do perimísio e redução do diâmetro das fibras musculares.

Melhorias na maciez e aceitação desse corte carne foram alcançadas mantendo-o por 14 dias a 4° C (LI; ZHOU; XU, 2008), condições estas na faixa recomendada para processos convencionais de maturação (LI; ZHOU; XU, 2008; LI et al., 2013; NIAN et al., 2017).

É importante salientar que nem todos os músculos atingem o mesmo nível de amaciamento após o processo de maturação, devido às diferenças nos teores de colágeno, grau de reticulação e atividade enzimática (BERGE et al., 2001; CHINZORIG; HWANG, 2018; CHO et al., 2016). Menos de 10% da carcaça bovina corresponde a cortes carnes nobres, de baixa concentração e reticulação de colágeno. Os demais cortes (cerca de 90%), que incluem os do quarto dianteiro da carcaça, como pescoço, peito e paleta, necessitam ser submetidos a processos de amaciamento mais avançados (POLKINGHORNE et al., 2008; ZHU et al., 2018). Nesses cortes, o teor e o grau de reticulação do colágeno podem ser tão altos que a ação de proteases endógenas é insuficiente para melhorar a maciez, mesmo sob condições intensas de maturação. Nesses casos, a resolução da dureza pode ser realizada lançando-se mão de processos tecnológicos enzimáticos, químicos e físicos, associados ou não, como operações de corte, uso do calor, injeção de proteases exógenas e injeção de ácidos (BERGE et al., 2001; HA et al., 2013; HUERTA-MONTAUTI et al., 2008).

O tratamento da carne com proteases exógenas é um método comumente empregado no amaciamento da carne. Esse procedimento reforça a atividade proteolítica inata da carne, acelerando o processo de maturação. Para isso, tem-se utilizado principalmente enzimas proteolíticas de origem vegetal, como papaína, bromelina e ficina. Essas enzimas hidrolisam diversas estruturas proteicas da carne, inclusive o tecido conjuntivo (MOON, 2018; PIETRASIK; SHAND, 2011; PIETRASIK et al., 2010). A injeção, no músculo *Pectoralis profundus* (peito), de bromelina, de bromelina mais papaína ou de extrato de gengibre (um extrato enzimático alternativo) e posterior maturação (0 °C/24 h) resultou em diminuição da força de cisalhamento *Warner-Bratzler* em 36%, 40% e

37%, respectivamente, em comparação ao controle (músculo não tratado com preparação enzimática) (MOON, 2018). Apesar de ser um método popularmente efetivo para a aceleração da maturação de carnes, o uso de proteases merece controle para evitar a ocorrência de sabores e textura indesejáveis. Isso porque as enzimas atualmente disponíveis no mercado apresentam baixa especificidade, podendo hidrolisar indiscriminadamente as principais proteínas musculares (PIETRASIK; SHAND, 2011; PIETRASIK et al., 2010). Pesquisas têm focado na prospecção de novas enzimas com menores efeitos adversos e que, ao mesmo tempo, demonstrem semelhante estabilidade e viabilidade técnica e econômica (ANDEVARI et al., 2019; SUN et al., 2018; ZHAO et al., 2012).

Dentre os métodos químicos utilizados para amaciar a carne, destaca-se o uso de ácidos orgânicos, a exemplo dos ácidos acético, láctico e cítrico. Convencionalmente, esses ácidos são utilizados como ingredientes de salmouras, que podem ser aplicadas na carne, via imersão ou injeção. Ao difundirem na carne, os ácidos desestabilizam as fibras do colágeno, dissolvendo-o e reduzindo sua estabilidade térmica, solubiliza os tecidos conjuntivos e podem aumentar a atividade de proteases endógenas (AL-HAJO, 2009; BERGE et al., 2001; GOLI et al., 2014). Os ácidos reduzem o pH da carne, provocando o aumento das repulsões eletrostáticas e a quebra de ligações de hidrogênio nas fibras de colágeno. A dissolução dessas ligações desestabiliza as moléculas do colágeno, refletindo na solubilização dos tecidos conjuntivos (GOLI et al., 2014; MOON, 2018). Por outro lado, o uso de ácidos pode reduzir a capacidade de retenção de água na carne, quando há redução do pH para valores próximos ao ponto isoelétrico das proteínas da carne, resultando em perdas de suculência após o cozimento (GOLI et al., 2014). Outra limitação do uso desses compostos é a possível ocorrência de sabor ácido na carne, que pode levar à sua rejeição sensorial (KE et al., 2009).

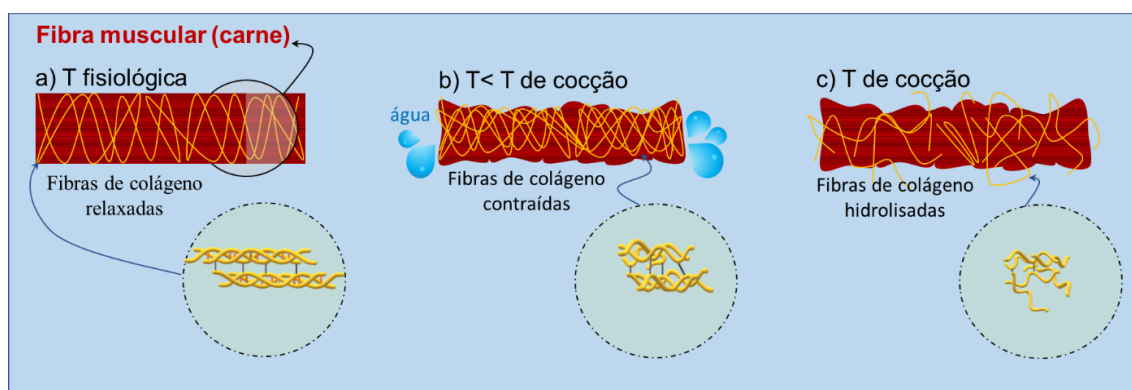
Os métodos mecânicos tradicionais incluem moagem, amaciamento com lâminas ou agulhas e tampleamento. A moagem é um

método de fácil operação e usado especialmente para cortes cárneos com alta resistência mecânica. Para o amaciamento de cortes de animais de idade avançada, essa solução tem sido uma alternativa economicamente rentável. No entanto, este procedimento pode reduzir o valor comercial do produto, já que a carne moída tem menor valor de mercado que a carne intacta (BOLUMAR et al., 2013). A tenderização ou amaciamento mecânico é uma das operações de amaciamento mais eficientes para melhorar a maciez de cortes cárneos duros. Nesse processo, um conjunto de agulhas ou lâminas estreitamente espaçadas com bordas afiadas perfuram a carne, rompendo as miofibrilas e o tecido conjuntivo, cortando-os em segmentos mais curtos (BHAT et al., 2018; PIETRASIK; SHAND, 2004; VANDENBERGHE-DESCAMPS et al., 2018). No tambleamento, cortes cárneos são massageados ao sofrerem quedas dentro de um tambor sob rotação. A energia envolvida na queda dos cortes contra as paredes do tambor induz à ruptura das miofibrilas, das fibras de colágeno, além da fragmentação do tecido conjuntivo. O massageamento da carne facilita o transporte de massa para o interior dos tecidos, melhorando a distribuição de temperos e de agentes de cura, inclusive dos ácidos e das proteases (DOLATA et al., 2004; CHENG et al., 2011; GAO et al., 2015; MOON et al., 2007; VILLALOBOS-DELGADO et al., 2014).

Embora populares e eficazes, os métodos mecânicos são operações invasivas e estão associados ao risco de contaminação da carne por patógenos e redução da vida de prateleira, devido ao aumento da superfície de contato da carne com o ambiente (CORLISS et al., 2015; HUANG, 2010; SMITH; FAZIL; LAMMERDING, 2013).

No amaciamento térmico, o calor causa alterações ao nível molecular do colágeno, como hidrólise de ligações cruzadas, quebra de ligações na estrutura helicoidal do tropocolágeno, desnaturação, alterações conformacionais, redução do diâmetro e encolhimento das fibras de colágeno. O efeito do calor sobre o colágeno é ilustrado na Figura 2.

**Figura 2** – Efeito do calor sobre o colágeno; T = temperatura; a) moléculas do colágeno inatas; b) contração do colágeno devido à cocção; c) hidrólise do colágeno devido à cocção excessiva



Fonte: os autores.

A hidrólise de ligações no colágeno pelo calor inicia-se sob temperaturas imediatamente acima da temperatura fisiológica, com pequenas alterações conformacionais. Ao alcançarem temperaturas mais altas, em faixas acima de 60 °C a 65 °C, as moléculas de colágeno sofrem desnaturação. Essas temperaturas são alcançadas durante a cocção convencional ou em processos de pasteurização e esterilização da carne e de produtos cárneos. Nessas condições, o colágeno contrai-se intensamente, comprime as miofibrilas e provoca a expulsão da água, levando à desidratação da carne. Dependendo do grau de desidratação, a carne perde suculência (COMBES et al., 2004; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2014; SCUSSAT et al., 2017; TORNBERG, 2005). Sob temperaturas abaixo do intervalo de 60 °C a 65 °C, o grau de contração do colágeno é menor, com menores perdas de água pela carne e melhor conservação da suculência. Em detrimento da contração do colágeno, abaixo desse valor, ocorre a solubilização gradual do colágeno e redução do diâmetro das fibras de colágeno, com redução da dureza da carne. Esse é o fundamento do processo *long-time low-temperature* (LTLT), método de cocção sob temperaturas próximas de 60 °C por longo tempo, geralmente acima de 6 h. Uma variação do método LTLT é bastante difundida em cozinhas comerciais, o *sous vide*, onde o alimento é previamente embalado sob



vácuo (“sob vácuo” é a tradução de *sus vide* para o português) antes do processo de cocção (LARROTE et al., 2019; MITRA; RINNAN; RUIZ-CARRASCAL, 2017).

Embora o método *sous vide* seja uma técnica de cozimento muito difundida em cozinhas comerciais desde os anos 70, o processo é pouco explorado pela indústria de alimentos (AKOĞLU et al., 2018; NAVEENA et al., 2016). Além de promover a solubilização do colágeno, o longo tempo de processo sob baixas temperaturas favorece a ação de collagenases e outras proteases, algumas das quais apresentam atividade ótima nessas condições (CHRISTENSEN et al., 2011, ROLDÁN et al., 2013). Uma desvantagem do método é o tempo de processo, que requer normalmente períodos longos de cozimento, podendo chegar a 48 h (ALAHAKOON et al., 2019a; ALAHAKOON et al., 2019b). Tem-se questionado a segurança e estabilidade microbiológica do processo *sous vide*, considerando-se que, muitas vezes, não atinge temperaturas letais de micro-organismos patogênicos e deteriorantes. Sobre essas dúvidas, há necessidade de informações científicas conclusivas (ROLDÁN et al., 2013). Mesmo assim, ele é considerado um método com potencial a ser explorado pela indústria para a produção de alimentos prontos para consumo ou pré-cozidos, com suculência e maciez diferenciadas, partindo-se de cortes cárneos de baixo valor econômico (AKOĞLU et al., 2018; NAVEENA et al., 2016). Como exemplos, tem-se o caso do lançamento de novos produtos cárneos *sous vide*, de diferentes cortes, como ossobuco e costela suína, no mercado brasileiro nos últimos anos (COPETTI, 2021).

## **1.2 Tecnologias não convencionais**

Nos últimos anos, tecnologias não convencionais para a redução da dureza residual da carne estão sendo estudadas, especialmente, ultrassom de baixa e de alta potência, ondas de choque, pressão hidrostática e campo elétrico pulsado. Essas tecnologias e mecanismos

de ação sobre o colágeno e tecido conjuntivo estão resumidos no Quadro 1.

**Quadro 1** – Resumo de tecnologias não convencionais para a resolução da dureza residual da carne, destacando o seu provável mecanismo de ação sobre o colágeno.

Tecnologia	Ação sobre o colágeno	Referências
Ultrassom de alta e baixa potência	Efeito de cavitação causa: alteração na estrutura de colagenases e ruptura da estrutura do colágeno; aumento na transferência de massa e no movimento de substratos para o sítio ativo de enzimas; ruptura de células, liberando proteases; alteração do sítio ativo, resultando em ativação enzimática.	Barekat; Soltanizadeh (2017) Barekat; Soltanizadeh (2018) Peña-Gonzalez et. al. (2017) Peña-Gonzalez et al. (2019)
Ondas de choque	O impacto de ondas de choque sobre os tecidos libera energia suficiente para romper as estruturas do colágeno; há enfraquecimento e desintegração do tecido conjuntivo.	Bolumar et al. (2014) Warner et al. (2017) Zuckerman et al. (2013)
Campo elétrico pulsado (PFE)	O fenômeno de eletroporação sobre os tecidos e membranas celulares, causa enfraquecimento dos tecidos conjuntivos musculares e liberação de enzimas proteolíticas; o campo elétrico gerado no tratamento com PFE reduz o número de ligações de hidrogênio e de ligações cruzadas, resultando em degeneração progressiva estrutural das fibras do colágeno.	Alahakoon et al. (2019a) Alahakoon et al. (2019b)

O uso desses métodos apresenta algumas vantagens, como possibilidade de processamento a frio, não são invasivos e agem de forma homogênea sobre a carne. Dentre as desvantagens, destaca-se a necessidade de plantas de processamento sofisticadas, com equipamentos de alto custo, alguns deles ainda de baixa eficiência energética. A maioria dessas tecnologias encontra-se em fase de

otimização e de avaliação de viabilidade técnica e econômica (BHAT et al., 2018; BOLUMAR et al., 2014). É improvável que essas novas tecnologias possam substituir totalmente os métodos tradicionais de amaciamento da carne. A tendência é que sejam utilizadas em combinação com processos tradicionais (WARNER et al., 2017). Barekat e Soltanizadeh (2018), propuseram um processo de amaciamento enzimático por imersão do músculo *Longissimus lumborum* em solução de papaína 0,1%, assistido com ultrassom (20 kHz; 100 W; 20 min). O uso do ultrassom aumentou a atividade enzimática da papaína e facilitou sua penetração para o interior da carne, resultando um produto mais macio. Os autores justificam esse ganho ao efeito de cavitação, o qual promove o aumento da transferência de massa e maior difusibilidade de componentes em solução. Em trabalho anterior, esses pesquisadores também reportam mudanças estruturais na papaína induzidas pelo ultrassom, que podem aumentar sua atividade e estabilidade (BAREKAT; SOLTANIZADEH, 2017).

Peña-Gonzalez et al. (2017) avaliaram o emprego do ultrassom (40 kHz, 11 Wcm<sup>-2</sup>, 60 min) posteriormente à etapa de maturação do músculo *Longissimus dorsi* por 7 ou 14 dias a 4°C. Os autores concluíram que essa associação intensifica mudanças na força de cisalhamento, aumentando a percepção da maciez e da suculência da carne. A carne sonicada após a maturação apresentou maior espaçamento entre as fibras musculares e aumento da degradação do tecido conjuntivo, comparativamente àquela apenas maturada, provavelmente devido aos efeitos mecânicos do processo de cavitação (PEÑA-GONZALEZ et al., 2019).

Alahakoon et al. (2019a) estudaram o uso prévio de processamento da carne com diferentes intensidades de campos elétricos pulsados (PFE) antes do cozimento LTLT. Os autores verificaram que o pré-tratamento da carne com 0,7 kV cm<sup>-1</sup> reduziu o processamento LTLT, de 24 h para 12 a 20,2 h, sem efeitos negativos sobre a oxidação lipídica, estabilidade de cor e rendimento. O campo elétrico gerado no tratamento com PFE

reduz o número de ligações de hidrogênio e de ligações cruzadas do colágeno, resultando em degeneração progressiva estrutural das fibras desta proteína. A quebra dessas ligações aumenta a solubilidade do colágeno durante o tratamento térmico e, conseqüentemente, acelera o cozimento da carne. Além disso, PFE causa eletroporação das redes de colágeno e das membranas biológicas, enfraquecendo os tecidos e intensificando a liberação de enzimas proteolíticas, respectivamente (ALAHAKOON et al., 2019a; ALAHAKOON et al., 2019b).

A combinação de ondas de choque a um processo tradicional de maturação da carne também foi vista como metodologia promissora para aumentar a maciez dos músculos *Semimembranosus* (ZUCKERMAN et al., 2013) e *Longissimus lumborum* (BOLUMAR et al., 2014) e reduzir o tempo de maturação. Cortes do músculo *Semimembranosus* tratados com ondas de choque eram mais macios que o controle (BOLUMAR et al., 2014), com redução da força de cisalhamento em cerca de 18%. *Longissimus lumborum* exposto a ondas de choque apresentou maior maciez, cerca de 37%, em comparação ao corte controle (lombo pré-maturado por 7 dias). Mesmo com o aumento do tempo de maturação do controle, de 7 para 21 dias, não foi alcançada aquela maciez, indicando que o uso de ondas de choque tem o potencial de encurtar o tempo de maturação e, assim, reduzir consideravelmente os custos de tecnologias de amaciamento da carne (ZUCKERMAN et al., 2013).

## REFERÊNCIAS

AKOĞLU, I. T. et al. Determination of the quality and shelf life of sous vide soaked turkey tutlet stored at 4 and 12°C. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 20, n. 1, p. 1-8, jan./mar., 2018.

ALAHAKOON, A. U. et al. Process optimisation of pulsed electric fields pre-treatment to reduce the sous vide processing time of beef briskets. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 823–834, mar., 2019a.

ALAHAKOON, A. U. et al. Quality and safety considerations of incorporating post-PEF ageing into the pulsed electric fields and sous vide processing chain. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, n. 5, p. 852–864, mai., 2019b.

AL-HAJJO, N. A. N. Tenderize chicken breast meat by using different methods of curing. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, p. 1180-1183, 2009.

AN, J. Y. et al. Effect of myofiber characteristics and thickness of perimysium and endomysium on meat tenderness of chickens. **Poultry Science**, v. 89, n. 8, p. 1750–1754, ago., 2010.

ANDEVARI, G. et al. Extraction, partial purification and characterization of alkaline protease from rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*) viscera. **Aquaculture**, v. 500, p. 458-463, fev., 2019.

BALDWIN, D. Sous vide cooking: A review. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 1, n. 1, p. 15-30, jan., 2012.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. et al. Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS), and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products. **Meat Science**, v. 98, n. 3, p. 420-434, nov., 2014.

BAREKAT, S.; SOLTANIZADEH, N. Improvement of meat tenderness by simultaneous application of high-intensity ultrasonic radiation and papain treatment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 39, p. 223-229, fev., 2017.

BAREKAT, S.; SOLTANIZADEH, N. Effects of ultrasound on microstructure and enzyme penetration in beef *Longissimus lumborum* muscle. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 3, p. 680–693, mar., 2018.

BHAT, Z. F. et al. Applied and emerging methods for meat tenderization:... **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.17, p. 841-859, 2018.

BERGE, P. et al. Tenderization of beef by lactic acid injected at different times post mortem. **Meat Science**, v. 57, n. 4, p. 347-357, abr., 2001.

BOLUMAR, T. Effect of electrohydraulic shockwave treatment on tenderness, muscle cathepsin and peptidase activities and microstructure of beef loin steaks from holstein young bulls. **Meat Science**, v. 98, n. 4, p. 759-765, dez., 2014.

BOLUMAR, T. et al. Effect of electrohydraulic shockwave treatment on tenderness, muscle cathepsin and peptidase activities and microstructure of beef loin steaks... **Meat Science**, v. 98, n. 4, p. 759-765, dez., 2014.

BOWKER, B. C. et al. Effects of hydrodynamic pressure processing and blade tenderization on intramuscular collagen and tenderness-related protein characteristics of top rounds from Brahman cattle. **Journal of Muscle Foods**, v. 18, n. 1, p. 35-55, jan., 2007.

CAO, H.; XU, S.-Y. Purification and characterization of type II collagen from chick sternal cartilage. **Food Chemistry**, v. 108, p. 439–445, 2008.

CALVI, E. N. de C. et al. An experimental model for the study of collagen fibers in skeletal muscle. **Acta Cirurgica Brasileira**, v. 27, n, 10, p. 681 - 686, 2012.

CHANG, H.-J. et al. Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef Semitendinosus Muscle. **Journal of Food Quality**, v. 38, p. 256–267, jul., 2015.

CHENG, J.-H. et al. Effect of phosphate, ascorbic acid and  $\alpha$ -tocopherol injected at one-location with tumbling on quality of roast beef. **Meat Science**, v. 87, n. 3, p. 223-228, mar., 2011.

CHO, S. et al. Effect of Aging Time on Physicochemical Meat Quality and Sensory Property of Hanwoo Bull Beef. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 36, n. 1, p. 68–76, 2016.

CHINZORIG, C.; HWANG, I. Mechanical texture profile of Hanwoo muscles as a function of heating temperatures. **Journal of Animal Science and Technology**, v 60, n. 22, p. 1-7, set., 2018.

CHRISTENSEN, L. et al. Effect of prolonged heat treatment from 48 °C to 63 °C on toughness, cooking loss and color of pork. **Meat Science**, v. 88, n. 2, p. 280-285, jun., 2011.

CHRISTGAU, S. et al. Collagen type II C-telopeptide fragments as an index of cartilage degradation. **Bone**, v. 29, n. 3, p. 209-215, set., 2001.

COMBES, S. et al. Effect of cooking temperature and cooking time on Warner–Bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat. **Meat Science**, v. 66, n. 1, p. 91-96, jan., 2004.

COPETTI, T. **Pratos prontos premium Sadia Speciale chegam à região Sul.** Consumidor.RS, 2021. Disponível em: <http://consumidorbr.com.br/2013/inicial.php?case=2&idnot=62808>. Acesso em: 10/04/2024.

CORLISS, B. et al. The influence of beef quality characteristics on the internalization and thermal susceptibility of Shiga toxin-producing Escherichia coli (STEC) in blade-tenderized beef steaks. **Meat Science**, v. 110, p. 85-92, dez., 2015.

D'ALESSANDRO, A. et al. Chianina beef tenderness investigated through integrated Omics. **Journal of Proteomics**, v. 75, n. 14, p. 4381-4398, jul., 2012.

D'ALESSANDRO, A.; ZOLLA, L.; Meat science: From proteomics to integrated omics towards system biology. **Journal of Proteomics**, v. 78, p. 558-577, jan., 2013.

DA SILVA, C. M. L.; SPINELLI, E.; RODRIGUES, S. V. Fast and sensitive collagen quantification by alkaline hydrolysis/hydroxyproline assay. **Food Chemistry**, v. 173, p. 619-623, abr., 2015.

DEPALLE, B. et al. Influence of cross-link structure, density and mechanical properties in the mesoscale deformation mechanisms of collagen fibrils. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 52, p. 1-13, dez., 2015.

D'HONDT, S. et al. Type III collagen affects dermal and vascular collagen fibrillogenesis and tissue integrity in a mutant Col3a1 transgenic mouse model. **Matrix Biology**, v. 70, p. 72-83, set., 2018.

DOLATA, W. et al. The use of the MRI technique in the evaluation of water distribution in tumbled porcine muscle. **Meat Science**, v. 67, n. 1, p. 25-31, mai., 2004.

DUBOST, A. et al. Relationships between structural characteristics of bovine intramuscular connective tissue assessed by image analysis and collagen and proteoglycan content. **Meat Science**, v. 93, n. 3, p. 378-386, mar., 2013.

GAO, T. et al. Effect of Different Tumbling Marination Treatments on the Quality Characteristics of Prepared Pork Chops. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 28, n. 2, p. 260-267, fev., 2015.

GOLI, T. et al. Influence of sodium chloride and pH during acidic marination on water retention and mechanical properties of turkey breast meat. **Meat Science**, v. 96, n. 3, p. 1133-1140, mar., 2014.

GU, L. et al. Novel biomedical applications of crosslinked collagen. **Trends in Biotechnology**, v. 37, n. 5, p. 464-491, mai., 2019.

HA, M. et al. Characterisation of kiwifruit and asparagus enzyme extracts, and their activities toward meat proteins. **Food Chemistry**, v. 136, n. 2, p. 989-998, 2013.

HAZARD, S. W.; MYERS, R. L.; EHRLICH, H. P. Demonstrating collagen tendon fibril segments involvement in intrinsic tendon repair. **Experimental and Molecular Pathology**, v. 91, n. 3, p. 660-663, dez., 2011.

HERNÁNDEZ-HERRERO, M. M. Collagenase activity and protein hydrolysis as related to spoilage of iced cod (*Gadus morhua*). **Food Research International** v. 36, 141-147, 2003.



HEROD, T. W. et al. Collagen fibrils in functionally distinct tendons have differing structural responses to tendon rupture and fatigue loading. **Acta Biomaterialia**, v. 42, p. 296-307, set., 2016.

HILDRUM, K. I. et al. Classification of different bovine muscles according to sensory characteristics and Warner Bratzler shear force. **Meat Science**, v. 83, n. 2, p. 302-307, out., 2009.

HOCQUETTE, J.-F. et al. Modelling of beef sensory quality for a better prediction of palatability. **Meat Science**, v. n. 3, p. 316-322, jul., 2014.

HUANG, L. Growth kinetics of Escherichia coli O157:H7 in mechanically-tenderized beef. **International Journal of Food Microbiology**, v. 140, n. 1, p. 40-48, mai., 2010.

HUERTA-MONTAUTI, D. et al. Identifying muscle and processing combinations suitable for use as beef for fajitas. **Meat Science**, v. 80, n. 2, p. 259-271, out., 2008,

KE, S. et al. Impact of citric acid on the tenderness, microstructure and oxidative stability of beef muscle. **Meat Science**, v. 82, n. 1, p. 113-118, mai., 2009.

KRISHNAN, Y.; GRODZINSKY, A. J. Cartilage diseases. **Matrix Biology**, v. 71-72, p. 51-69, out., 2018.

LARROTE, M. E. et al. Specific effects on strength and heat stability of intramuscular connective tissue during long time low temperature cooking. **Meat Science**. v. 153, p. 109-116, jul., 2019.

MAK, K. M.; MEI, R. Basement Membrane Type IV Collagen and Laminin: An Overview of Their Biology and Value as Fibrosis Biomarkers of Liver Disease. **The Anatomical Record**, v. 300, p.1371–1390, fev., 2017.

MITRA, B.; RINNAN, R.; RUIZ-CARRASCAL, J. Tracking hydrophobicity state, aggregation behaviour and structural modifications of pork proteins under the influence of assorted heat treatments. **Food Research International**, v. 101, p. 266-273, nov., 2017.

MOHAMMADKHAH, M.; MURPHY, P.; SIMMS, C. K. Collagen fibril organization in chicken and porcine skeletal muscle perimysium under applied tension and compression. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 77, p. 734-744, jan., 2018.

MOON, S. S. et al. The effect of tumbling time on the quality and binding ability of restructured beef *M. Pectoralis profundus* with alginate binder. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 20, n. 3, p. 418 - 423, mar., 2007.

MOON, S. S. Effect of proteolytic enzymes and ginger extract on tenderization of *M. pectoralis profundus* from holstein steer. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 38, n. 1, p. 143–151, fev., 2018.

NAVEENA, B. M. et al. Effect of sous vide processing on physicochemical, ultrastructural, microbial and sensory changes in vacuum packaged chicken sausages. **Food Science and Technology International**, v. 23, n. 1, p. 75–85, jun., 2016.

NAKAMURA, Y.-N. et al. Histological contribution of collagen architecture to beef toughness. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 1, p. E73-E77, jan., 2010.

NIAN, Y. et al. Assessment of physico-chemical traits related to eating quality of young dairy bull beef at different ageing times using Raman spectroscopy and chemometrics. **Food Research International**, v. 99, p. 778-789, set., 2017.

LEPETIT, J. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. **Meat Science**, v. 76, n. 1, p. 147-159, mai., 2007.

LI, X. et al. Meat quality, microbiological status and consumer preference of beef gluteus medius aged in a dry ageing bag or vacuum. **Meat Science**, v. 95, n. 2, p. 229-234, out., 2013.

LI, C.; ZHOU, G.; XU, X. Changes of meat quality characteristics and intramuscular connective tissue of beef semitendinosus muscle during postmortem aging for Chinese Yellow bulls. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, p. 838–845, fev., 2008.

O'QUINN, T. G. et al. Evaluation of the contribution of tenderness, juiciness, and flavor to the overall consumer beef eating experience. **Translational Animal Science**, v. 2, n. 1, p. 26–36, fev., 2018.

PAOLA, C. M. et al. Functional textile finishing of type I collagen isolated from bovine bone for potential healthtech. **Heliyon**, v. 5, n. 2, p. 1-15, fev., 2019.

PASSERIEUX, E. et al. Physical continuity of the perimysium from myofibers to tendons: Involvement in lateral force transmission in skeletal muscle. **Journal of Structural Biology**, v. 159, n. 1, p. 19-28, jul., 2007.

PEÑA-GONZALEZ, A. et al. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef. **Italian Journal of Food Science**, v. 29, n. 3, p. 463-475, 2017.

PEÑA-GONZALEZ, E. et al. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. p. 134-141, mai., 2019.

PIETRASIK, Z.; SHAND, P. J. Effect of blade tenderization and tumbling time on the processing characteristics and tenderness of injected cooked roast beef. **Meat Science**, v. 66, n. 4, p. 871-879, abr., 2004.

PIETRASIK, Z. et al. Influence of blade tenderization, moisture enhancement and pancreatin enzyme treatment on the processing characteristics and tenderness of beef semitendinosus muscle. **Meat Science**, v. 84, n. 3, p. 512-517, mar., 2010.

POLKINGHORNE, R. et al. Development of a commercial system to apply the Meat Standards Australia grading model to optimise the return on eating quality in a beef supply chain. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 11, p. 1451-1458, out., 2008.

RADMER, R. J.; KLEIN, T. E. Triple helical structure and stabilization of collagen-like molecules with 4(R)-hydroxyproline in the Xaa position. **Biophysical Journal**, v. 90, n. 2, p. 578-588, jan., 2006.

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

RINCÓN, L. et al. Differences in proximal and fatty acid profiles, sensory characteristics, texture, colour and muscle cellularity between wild and farmed blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*). **Aquaculture**, v. 451, p. 195-204, jan., 2016.

ROLDÁN, M. et al. Effect of different temperature–time combinations on physicochemical, microbiological, textural and structural features of sous-vide cooked lamb loins. **Meat Science**, v. 93, n. 3, mar., 2013.

ROY, B. C. et al. Modification of mature non-reducible collagen cross-link concentrations in bovine m. gluteus medius and semitendinosus with steer age at slaughter, breed cross and growth promotants. **Meat Science**, v. 110, p. 109-117, dez., 2015.

ROY, B. C. et al. Role of myofibers, perimysium and adipocytes in horse meat toughness. **Meat Science**, v. 146, p. 109-121, dez., 2018.

SCHUMACHER, M. A.; MIZUNO, K.; BÄCHINGER, H. P. The crystal structure of a collagen-like polypeptide with 3(S)-hydroxyproline residues in the Xaa position forms a standard 7/2 collagen triple helix. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 281, n. 37., p. 27566 –27574, set., 2006.

SCUSSAT, S. et al. The impact of cooking on meat microstructure studied by low field NMR and Neutron Tomography. **Food Structure**, v. 14, p. 36–45, out., 2017.

SILVA, T. H. et al. Marine Origin Collagens and Its Potential Applications. **Mar Drugs**, v. 12, n. 12, p. 5881–5901, dez., 2014.

SMITH, B. A.; FAZIL, A.; LAMMERDING, A. M. A risk assessment model for Escherichia coli O157:H7 in ground beef and beef cuts in Canada: Evaluating the effects of interventions. **Food Control**, v. 29, n. 2, p. 364-381, fev., 2013.

STARKEY, C. P. et al. Do sarcomere length, collagen content, pH, intramuscular fat and desmin degradation explain variation in the tenderness of three ovine muscles? **Meat Science**, v. 113, p. 51-58, mar., 2016.

SVENSSON, R. B. et al. Evidence of structurally continuous collagen fibrils in tendons. **Acta Biomaterialia**, v. 50, n. 1, p. 293-301, 2017.

SUN, Q. et al. A novel aspartic protease from *Rhizomucor miehei* expressed in *Pichia pastoris* and its application on meat tenderization and preparation of turtle peptides. **Food Chemistry**, v. 245, p. 570-577, abr., 2018.

TAKAZA, M et al. Assessing the microstructural response to applied deformation in porcine passive skeletal muscle. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 40, p. 115-126, dez., 2014.

TORNBERG, E. Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. **Meat Science**, v. 70, n 3, p. 493-508, jul., 2005.

VANDENBERGHE-DESCAMPS, M. et al. Impact of blade tenderization, marinade and cooking temperature on oral comfort when eating meat in an elderly population. **Meat Science**, v. 145, p. 86-93, nov., 2018.

VILLALOBOS-DELGADO, L. H. et al. Quality characteristics of a dry-cured lamb leg as affected by tumbling after dry-salting and processing time. **Meat Science**, v. 97, n. 1, p. 115-122, mai., 2014.

VOLK, S. W. et al. Type III collagen regulates osteoblastogenesis and the quantity of trabecular bone. **Calcified Tissue International**, v. 94, n. 6, p. 621–631, jun., 2014.

WARNER, R. D. et al. Systematic review of emerging and innovative technologies for meat tenderisation. **Meat Science**, v. 132, p. 72-89, 2017.

ZHAO, G.-Y. et al. Tenderization effect of cold-adapted collagenolytic protease MCP-01 on beef meat at low temperature and its mechanism. **Food Chemistry**, v. 134, n. 4, p. 1738-1744, out., 2012.

ZHU, X. et al. Actinidin pretreatment and sous vide cooking of beef brisket: Effects on meat microstructure, texture and in vitro protein digestibility. **Meat Science**, v. 145, p. 256-265, nov., 2018.

ZUCKERMAN, H. et al. Microstructure alterations in beef intramuscular connective tissue caused by hydrodynamic pressure processing. **Meat Science**, v. 95, n. 3, p. 603-607, nov., 2013.

## **SOBRE OS AUTORES**

**José Dilson Francisco da Silva:** Doutor em Ciência e Tecnologia dos Alimentos - ênfase em tecnologia de produtos cárneos – pela Universidade Federal de Santa Maria, UFSM. Atualmente, é químico e pesquisador na UFSM, onde atua em áreas da química analítica e ciência e tecnologia de alimentos de origem animal.

**Renius de Oliveira Mello:** Doutor em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa, UFV. Atualmente é docente e pesquisador na UFSM, na área de análise de alimentos e estatística. Tem experiência em nutrição e produção de ruminantes, atuando principalmente nos seguintes temas: avaliação de alimentos e qualidade de carne.

# **COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE: Bioquímica, importância e tecnologias para o amaciamento**

A maciez é um dos principais indicadores de qualidade da carne, determinando a aceitação e o valor comercial. O teor e o grau de organização do colágeno, presente nos músculos, influenciam esse atributo. Neste livro, o leitor será atualizado com novas evidências científicas sobre as propriedades bioquímicas do colágeno e como essa proteína influencia na maciez da carne. Processos tecnológicos convencionais e não convencionais, que visam à modificação do colágeno e à melhoria da maciez da carne, também são apresentados neste livro. Essas informações são importantes para estudantes, pesquisadores e profissionais interessados na cadeia de produção da carne e áreas correlatas.

Home Editora  
CNPJ: 39.242.488/0002-80  
[www.homeeditora.com](http://www.homeeditora.com)  
[contato@homeeditora.com](mailto:contato@homeeditora.com)  
91988165332  
Tv. Quintino Bocaiúva, 23011 - Batista  
Campos, Belém - PA, 66045-315

