

**O EFEITO DO TEMPO E DA TEMPERATURA NA
DIGESTIBILIDADE PROTEICA E BIOACESSIBILIDADE
DE MINERAIS EM CARNE BOVINA PROCESSADA
PELO MÉTODO *SOUS VIDE***

KALISA FERNANDA SILVA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos no Programa Interunidades entre a Faculdade de Ciências Farmacêuticas (FCF/Araraquara) junto do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (IBILCE/São José do Rio Preto)

Financiador: CNPq

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Renata Tieko Nassu.

Araraquara

2024

**O EFEITO DO TEMPO E DA TEMPERATURA NA
DIGESTIBILIDADE PROTEICA E BIOACESSIBILIDADE
DE MINERAIS EM CARNE BOVINA PROCESSADA
PELO MÉTODO *SOUS VIDE***

KALISA FERNANDA SILVA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos no Programa Interunidades entre a Faculdade de Ciências Farmacêuticas (FCF/Araraquara) junto do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (IBILCE/São José do Rio Preto)

Financiador: CNPq

Orientadora: Prof^ª. Dr^a. Renata Tieko
Nassu.

Araraquara

2024

S586e Silva, Kalisa Fernanda.
O efeito do tempo e da temperatura na digestibilidade proteica e bioacessibilidade de minerais em carne bovina processada pelo método *sous vide* / Kalisa Fernanda Silva. – Araraquara, 2024.
65 f. : il.

Orientadora: Renata Tieko Nassu.

Dissertação (Mestre) – Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós-graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos.

1. Vácuo. 2. Maciez. 3. Qualidade. 4. Coxão duro. I. Nassu, Renata Tieko, orient. II. Título.

Diretoria do Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP - Campus de Araraquara

CAPES: 33004153070P3

Esta ficha não pode ser modificada

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: O EFEITO DO TEMPO E DA TEMPERATURA NA DIGESTIBILIDADE
PROTEICA E BIOACESSIBILIDADE DE MINERAIS EM CARNE BOVINA
PROCESSADA PELO MÉTODO SOUS VIDE

AUTORA: KALISA FERNANDA SILVA

ORIENTADORA: RENATA TIEKO NASSU

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, área: Alimentos e Nutrição pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. RENATA TIEKO NASSU (Participação Virtual)
Embrapa Pecuária Sudeste / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) - São Carlos

Profa. Dra. MARTA REGINA VERRUMA BERNARDI (Participação Virtual)
Centro de Ciências Agrárias / Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Dra. ANA RITA DE ARAUJO NOGUEIRA (Participação Virtual)
Embrapa Pecuária Sudeste / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) - São Carlos

Araraquara, 26 de março de 2024

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a todo que contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho, em especial:

À minha orientadora Dra. Renata Tieko Nassu pela orientação, incentivo, apoio e por todo aprendizado que eu obtive durante a execução deste projeto.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro deste trabalho. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Embrapa Pecuária Sudeste de São Carlos - SP pelo espaço, financiamento e oportunidades concedidas e aos funcionários do local por todo auxílio na execução do projeto.

À UNESP de Araraquara (FCFar) e à secretaria de pós-graduação em Alimentos e Nutrição.

Aos meus pais Alexsandro Donizete da Silva e Ellen Karina da Silva pela educação recebida, por todo suporte que me proporcionam e por apoiarem meus sonhos. Ao meu irmão Kauan Henrique Silva por toda parceria de sempre.

Aos meus colegas do Laboratório de Carnes, em especial as minhas amigas Suelen Cristina dos Santos Carvalho e Dra. Vanessa Cristina Francisco, pela ajuda nos trabalhos diários e apoio na execução do projeto

Ao Ívero Pita de Sá, ao Reinivaldo Sérgio Ferraz Júnior, ao Herick Macedo Santos e a Dra. Ana Rita de Araujo Nogueira pela ajuda no trabalho desenvolvido.

A minha amiga Amanda Karoline Dias que esteve comigo me apoiando em todos os momentos.

Aos meus familiares e amigos, que de forma indireta, estiveram ao meu lado, me apoiando.

RESUMO

O processo de cocção afeta as características físicas e sensoriais da carne bovina, como também a digestibilidade proteica e a quantidade de nutrientes do alimento. O crescimento da utilização do método de processamento *sous vide* (“*sob vácuo*”) ocorre pois promove maior maciez e redução perda de nutrientes da carne bovina. Por proporcionar o cozimento do produto no próprio suco, os sabores e aromas inerentes ao alimento são preservados. Além disso, o processo de cozimento é realizado a menores temperaturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de variações do tempo e temperatura de cozimento nas características físicas e sensoriais, na digestibilidade proteica e na bioacessibilidade de minerais em carne bovina processada pelo método *sous vide*. Foi utilizado o músculo *Biceps femoris* (coxão duro) adquirido em frigorífico comercial. Neste experimento, foram testados as combinações de três tempos (60 min, 210 min e 360 min) e três temperaturas (60°C, 65°C e 70°C) para cocção da carne bovina pelo método *sous vide*. As amostras foram analisadas para perda por cocção, força de cisalhamento, perfil de textura (dureza e elasticidade), digestibilidade proteica, bioacessibilidade de minerais e avaliadas em relação a aroma, sabor e textura. A menor temperatura (60°C) se mostrou a melhor condição para processamento de bife de coxão duro cozido pelo método *sous vide* nos tempos 60 e 360 min em relação à perda por cocção (28%), força de cisalhamento (3,2 e 3,5kgf), dureza (3,5 e 3,9 kgf), elasticidade (3,7 e 3,9 kgf). As combinações de temperaturas e tempos estudados apresentaram digestibilidade proteica entre 60 a 68%. A combinação de 60°C com 60 min apresentou maior teor bioacessível de cálcio (3mg/100g) e de fósforo (93,9 mg/100g). Na análise sensorial descritiva, o tratamento a 60°C/60min apresentou a maior nota de aroma de sangue (3,9) e suculência (5,3) e o tratamento de 70°C/360min apresentou maior nota de maciez (5,5) em relação aos tratamentos a 70°C/60 e 65°C/210min, mas não mostraram diferença significativa nos tratamentos com a menor temperatura (60°C) com menor (60min) e maior tempo (36min). A menor temperatura 60°C se mostrou uma boa condição de cocção *sous vide* para o corte coxão duro para as análises físicas, sensoriais e bioacessibilidade de minerais independente do tempo de cocção utilizado.

Palavras-chave: vácuo; maciez; qualidade; coxão duro.

ABSTRACT

The cooking process affects the physical and sensory characteristics of beef, as well as protein digestibility and the amount of nutrients in the food. The growth in the use of the *sous vide* (“*under vacuum*”) processing method occurs because it promotes greater tenderness and reduces in its own juice, the flavors and aromas inherent to the food are preserved. Furthermore the cooking process is carried out at lower temperatures. The objective of this work was to evaluate the effect of variations in cooking time and temperature on physical and sensory characteristics, protein digestibility and bioaccessibility of minerals in beef processed by the *sous vide* method. The outside flat muscle (*Biceps femoris*) purchased from a commercial slaughterhouse was used. In this experiment, combinations of three times (60 min, 210 min and 360 min) and three temperatures (60°C, 65°C and 70°C) were tested for cooking beef using the *sous vide* method. The samples were analyzed for cooking loss, shear force, texture profile (hardness and elasticity), protein digestibility, mineral bioaccessibility and evaluated in relation to aroma, flavor and texture. The lowest temperature (60°C) proved to be the best condition for processing outside flat steak cooked by the *sous vide* method at times 60 and 360 min in relation to cooking loss (28%), shear force (3,2 and 3,5 kgf), hardness (3,5 and 3,9 kgf), elasticity (3,7 and 3,9 kgf). The combinations of temperature and times studied showed protein digestibility between 60 and 68%. The combination of 60°C and 60 min showed a higher bioaccessible content of calcium (3mg/100g) and phosphorus (93,9mg/100g). In the descriptive sensory analysis, the treatment at 60°C/60min presented the highest score for blood aroma (3,9) and juiciness (5,3) and the treatment at 70°C/360min presented the highest score for tenderness (5,5) compared to treatments at 70°C/60min and 65°C/210min, but did not show a significant difference in treatments with the lowest temperature (60°C) with the lowest (60min) and longest time (360min). The temperature of 60°C proved to be a good *sous vide* cooking condition for the outside flat for physical, sensory analyzes and bioaccessibility of minerals regardless of the cooking time used.

Keywords: vacuum; softness; quality; outside flat

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Condições (tempo e temperatura) de cocção de coxão duro pelo método de <i>sous vide</i>	25
Tabela 2. Resultados obtidos para o parâmetro perda por cocção (PPC), força de cisalhamento (FC) e perfil de textura (dureza e elasticidade) para bifes de coxão duro submetidos ao processamento <i>sous vide</i> . São Carlos, SP, 2024.....	36
Tabela 3. Resultados de quantidade de proteína bruta e digerida em bifes de coxão duro submetidos ao processamento <i>sous vide</i> . São Carlos, SP, 2024.....	39
Tabela 4. Quantidade total e bioacessível de minerais e seus respectivos percentuais bioacessíveis após digestibilidade <i>in vitro</i> de amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento <i>sous vide</i> . São Carlos, SP, 2024.....	40
Tabela 5. Médias de notas sensoriais para bifes de coxão duro submetidos ao processamento <i>sous vide</i> , por atributo para diferentes tempos e temperaturas de cozimento. São Carlos, SP, 2024.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Amostra sendo processada em termocirculador profissional, TermoLAB - ULTRA da marca H2heater.....	26
Figura 2. Fluxograma do direcionamento das amostras para cada análise do experimento após o processamento por <i>sous vide</i> . PPC = perda por cocção; FC = força de cisalhamento; TPA = análise de perfil de textura; PB = proteína bruta; DP = digestibilidade proteica.....	27
Figura 3. Fluxograma das etapas de digestibilidade proteica e quantificação de minerais após digestão <i>in vitro</i>	31
Figura 4. Ficha de avaliação sensorial de amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento <i>sous vide</i>	36
Figura 5. Percentuais bioacessíveis de cálcio após digestibilidade <i>in vitro</i> de amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento <i>sous vide</i> . São Carlos, SP, 2024.	41
Figura 6. Percentuais de teores bioacessíveis de ferro após digestibilidade <i>in vitro</i> de amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento <i>sous vide</i> . São Carlos, SP, 2024.....	43
Figura 7. Percentuais bioacessíveis de magnésio após digestibilidade <i>in vitro</i> em amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento <i>sous vide</i> . São Carlos, SP, 2024.....	43
Figura 8. Percentuais bioacessíveis de fósforo após digestibilidade <i>in vitro</i> em bifes de coxão duro submetidos ao processamento <i>sous vide</i> . São Carlos, SP, 2024.....	44
Figura 9. Percentuais bioacessíveis de zinco bioacessíveis após digestibilidade <i>in vitro</i> em bifes de coxão duro submetidos ao processamento <i>sous vide</i> . São Carlos, SP, 2024.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Carne bovina.....	11
2.1.2 Produção de carne bovina no Brasil.....	12
2.1.3 Qualidade da carne bovina.....	12
2.2 Composição da carne bovina.....	12
2.2.1 Proteínas	12
2.2.2 Água	12
2.2.3 Lipídeos.....	13
2.2.4 Micronutrientes.....	13
2.3 Qualidade sensorial da carne.....	16
2.4 <i>Sous vide</i>	18
2.5 Digestibilidade proteica.....	20
2.6 Bioacessibilidade de minerais.....	22
2.7 Consumo de carne em idosos.....	24
3 OBJETIVOS.....	25
3.1 Geral.....	25
3.2 Específicos.....	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 Condições de cocção por <i>sous vide</i>	25
4.2 Preparo da matéria prima.....	26
4.3 Processamento da carne bovina pelo método <i>sous vide</i>	26
4.4 Análises físico-químicas.....	27
4.4.1 Perda por cocção (PPC)	27
4.4.2 Perfil de textura (TPA)	28
4.4.3 Força de cisalhamento (FC)	28
4.4.4 Proteína bruta (PB)	28
4.4.5 Digestão <i>in vitro</i>	29
4.4.5.1 Instrumentação.....	29
4.4.5.2 Reagentes e soluções.....	30
4.4.5.3 Digestão gastrointestinal <i>in vitro</i> de coxão duro processado por <i>sous vide</i>	30
4.4.6 Determinação dos teores totais.....	30
4.4.7 Digestão da fração bioacessível.....	32
4.4.8 Digestão da fração residual.....	32
4.4.9 Balanço de massa.....	32
4.5 Bioacessibilidade de minerais.....	33
4.6 Digestibilidade proteica.....	33
4.7 Análise sensorial.....	33
4.8 Análises estatísticas.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 Análises físico-químicas.....	36
5.2 Determinação da digestibilidade proteica.....	38

5.3 Bioacessibilidade de minerais.....	39
5.6 Análise sensorial.....	45
6 CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS.....	61

1. INTRODUÇÃO

A carne bovina possui uma alta concentração de nutrientes e uma baixa densidade calórica, consistindo em um alimento fundamental para saúde humana (BARBOSA, 2013). É uma das fontes mais ricas em proteínas e apresenta vitaminas, principalmente vitamina B12 (cobalamina), que só é encontrada em produtos de origem animal (RIBEIRO, 2014; VIANA, 2022), bem como minerais importantes (cálcio, cobre, ferro, magnésio e zinco) que são elementos essenciais e necessitam serem ingeridos por meio da alimentação, para desempenharem funções regulatórias e metabólicas, evitando assim, doenças relacionadas com as suas carências (BAIERLE, 2010; GRÜDTNER, WEINGRILL; FERNANDES, 1997; MENEZES, 2010; PEREIRA, 2009).

O conceito de qualidade da carne, na perspectiva do consumidor é complexo e construído com base em diversos fatores, incluindo atributos intrínsecos e extrínsecos da carne, experiências anteriores e expectativas de consumo (BARRAGÁN-HERNÁNDEZ, 2021). Cor, maciez e suculência são as principais percepções de qualidade sensorial da carne pelos consumidores (OLIVO, 2017). Entre esses fatores, a maciez é o principal impulsionador para o estabelecimento de modelos de garantia de qualidade alimentar e é considerado o componente sensorial mais importante na avaliação da qualidade da carne (ARRUDA, 2021).

A escolha do método de cocção influencia diretamente os componentes nutricionais, perda de aminoácidos e oxidação lipídica (ALMEIDA, 2020). A extensão da desnaturação proteica, a qual varia de acordo com temperatura e do tempo de cozimento aplicados, afeta diretamente a maciez da carne (MORAES e RODRIGUES, 2017).

O método de cozimento *sous vide* consiste em uma técnica de cocção no qual o alimento é embalado a vácuo e cozido de forma controlada a uma temperatura entre 65°C e 95°C. (MORAES; RODRIGUES, 2017). A embalagem a vácuo viabiliza a transferência direta de calor da água ou vapor para os alimentos, evitando a perda de nutrientes além de proporcionar o cozimento do produto no próprio suco, selando sabores e aromas inerentes ao alimento e permitindo a retenção de textura e nutrientes (CASEMIRO; ZAMBIAZI; VENDRAMINI, 2022). Além disso, o processamento pelo método *sous vide*, em determinadas combinações de tempo e temperatura, favorecem a digestibilidade proteica de produtos cárneos (BATH et. al., 2020).

Durante o processamento dos alimentos há alterações químicas que afetam, a biodisponibilidade de nutrientes por meio da sua ação na digestão e absorção do alimento e por isso a fração bioacessível de minerais vem sendo estudada (MENEZES et al., 2018). Os estudos sobre os efeitos de tempo e temperatura em cozimento *sous vide* sobre a maciez e textura em diferentes músculos de carne bovina disponibiliza informações para otimização do processo de cocção asseguram a qualidade dos alimentos. Na literatura há poucos estudos de

processamento *sous vide* utilizando o corte coxão duro e avaliando a sua maciez junto da sua qualidade nutricional.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de tempo e temperatura nas características físicas e sensoriais, na digestibilidade proteica e na bioacessibilidade de minerais no corte coxão duro (*Biceps femoris*), que são extremamente importantes para saúde humana, processada pelo método *sous vide*, visando a obtenção de um alimento mais nutritivo e com maior maciez, principalmente para pessoas com maiores necessidades nutricionais, como os idosos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Carne bovina

A utilização da carne bovina ocorre desde a pré-história, em que era obtida principalmente por meio da caça de animais selvagens. Com o advento da agricultura, os seres humanos passaram a criar animais para o consumo, o que possibilitou um maior acesso à carne (BARBOSA, 2013). A relação entre o consumo de carne e renda média de cada região, bem como o acesso a cortes de qualidade, métodos de produção e processamento, armazenamento, embalagem e técnicas de conservação é bastante significativa. Fatores socioeconômicos e culturais também desempenham um papel importante na explicação das diferenças nas preferências dos consumidores (BACCH; SANT, 2020).

2.1.1 Produção de carne bovina no Brasil

O rebanho brasileiro atingiu seu recorde em 2022 com 234,4 milhões de cabeças de gado segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). A criação de bovinos para corte compõe 80% do rebanho nacional, o que confere uma significativa importância para o país (SILVA, 2021). Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária, em janeiro de 2023, 182 mil toneladas de carne bovina foram exportadas, correspondendo a US\$ 848 milhões. A China é o maior importador desta proteína, respondendo por 57% do valor exportado (US\$ 483 milhões), seguida pelos Estados Unidos, União Europeia, Chile, Hong Kong e Egito, que também são importantes importadores (MAPA, 2023).

As projeções do Ministério da Agricultura e Abastecimento e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária indicam um aumento de produção do setor de carnes em 23,8% até 2029, com a carne bovina responsável pelo crescimento de 16,2%. O Brasil deverá se tornar líder na exportação de carnes com 28,7% do volume total, enquanto o consumo interno deverá crescer em 0,8% ao ano nos próximos dez anos (EMBRAPA, 2023). A maciez é o principal indicador de qualidade da carne, com isso os cortes de maior grau de maciez que apresentam os maiores valores no mercado (EMBRAPA, 2021).

2.1.2 Qualidade da carne bovina

O conceito de qualidade da carne, na perspectiva do consumidor é complexo e construído com base em diversos fatores, incluindo atributos intrínsecos e extrínsecos da carne, experiências anteriores e expectativas de consumo (BARRAGÁN-HERNÁNDEZ et al., 2021). A qualidade da carne bovina é bastante variável e pode ser resumida em quatro dimensões: visual (apresentação e aspecto da carne), gustativa (sabor), nutritiva (atendimento das demandas de nutrientes essenciais) e higiênico-sanitária (processo de produção) (GOMES, 2017).

Embora os fatores relacionados ao preço e à renda ainda exerçam a maior influência no momento de compra de carne bovina, a influência de outros fatores, como meio ambiente, bem-estar animal, segurança alimentar, qualidade, sabor e conveniência, está se tornando cada vez mais relevante (BACCH; SANT, 2020). Atualmente, os aspectos relacionados à segurança alimentar e maior qualidade do produto são cada vez mais valorizados pelos consumidores. Foi observado que 83% dos consumidores estão dispostos a pagar a mais ao comprar uma carne, se o produto apresentar um certificado e garantias de sanidade (WESP-GUTERRES; TEIXEIRA; ARALDI, 2013).

2.2. Composição da carne bovina

2.2.1 Proteínas

A carne bovina é uma das fontes mais ricas em proteínas, que são macromoléculas fundamentais para a vida, pois desempenham uma variedade de funções essenciais em organismos vivos, desde a estruturação de tecidos e células, até a regulação de processos bioquímicos e metabólicos (RIBEIRO, 2014). O seu alto teor de proteína a caracteriza como uma excelente fonte para alcançar as necessidades diárias deste nutriente recomendadas para a população (DOS SANTOS QUARESMA, 2017).

As proteínas são constituídas por um conjunto de 20 aminoácidos que se unem por meio de ligações peptídicas para formar cadeias polipeptídicas. Dos 20 aminoácidos presentes na carne bovina, 9 são essenciais ao organismo humano. Os aminoácidos essenciais são aqueles que nosso organismo não é capaz de produzir, e por isso precisam ser obtidos por meio da alimentação (fenilalanina, valina, treonina, metionina, treonina, leucina, isoleucina, lisina e histidina) (BARBOSA, 2013; RIBEIRO, 2014).

2.2.2 Água

A carne é constituída de 75% água e as miofibrilas são responsáveis pela ligação entre água e proteína presentes na carne, devido a sua formação tridimensional (SILVA, 2004).

Durante o processo de cocção, ocorre uma perda de água que ocasiona um encurtamento das fibras musculares, o que pode provocar a diminuição da

porção de carne e afetar diretamente as características sensoriais, como suculência, textura, cor e sabor (MENEZES, 210; DOS SANTOS, 2017).

2.2.3 Lipídeos

A gordura é um dos componentes essenciais da dieta humana que auxilia no transporte e na absorção de das vitaminas lipossolúveis A, D, E e K (DO VALLE, 2000). A carne de ruminantes contém elevada quantidade de gordura saturada e monoinsaturada e pequenas quantidades de ácidos graxos poli-insaturados (PRADO et al., 2011).

2.2.4 Micronutrientes

Vitaminas

Vitaminas lipossolúveis (A,D,E,K) e uma pequena quantidade de vitamina C estão presentes na carne bovina, mas as vitaminas do complexo B recebem destaque, visto que, estão em maior quantidade neste alimento e atuam nas funções neurológicas, no crescimento dos indivíduos (SILVA, 2004).

A Vitamina B₁₂ (cobalamina) só é encontrada em produtos de origem animal, principalmente na carne bovina, e a sua deficiência pode resultar em diversos problemas neurológicos como alterações de humor, comprometimento cognitivo, depressão, Alzheimer e hipotonia (VIANA, 2022).

A carne bovina ainda apresenta quantidades significativas de riboflavina (B₂), piridoxina (B₆), niacina (B₃), folacina (B₉) e ácido pantotênico (B₅) (ROÇA, 2000).

Cálcio

O cálcio é o mineral mais presente no corpo humano, representando cerca de 1 a 2% do peso corporal e correspondendo a 39% da composição mineral. A maior parte desse mineral, cerca de 99%, está distribuída nos ossos, enquanto apenas 1% está presente no sangue extracelular e células de tecidos moles (GRÜDTNER; FERNANDES, 1997). A ingestão recomendada varia entre 800 a 1300 mg/dia (PADOVANI, 2006).

A absorção de cálcio ocorre no intestino delgado e é dividida em duas partes: uma ativa saturável, que é mediada pela vitamina D e envolve a proteína ligadora de cálcio (Ca-Bp), e outra passiva, que pode correr por difusão simples ou facilitada através de carreadores (BUZINARO, 2006).

O cálcio é um nutriente necessário para várias funções biológicas, como a contração muscular, mitose, coagulação sanguínea, transmissão do impulso nervoso ou sináptico e o suporte estrutural do esqueleto. O consumo adequado de cálcio tem sido associado à prevenção de várias doenças, como osteoporose, hipertensão arterial, obesidade e câncer de cólon (PEREIRA, 2009). A maioria da população não consome quantidades suficientes desse elemento, o qual não é produzido endogenamente e só pode ser adquirido por meio da ingestão diária de alimentos que o contenham (GRÜDTNER; FERNANDES, 1997). Mesmo

contendo uma quantidade relativamente baixa quando comparada à alimentos de origem láctea, a carne bovina cozida apresenta em 100g, aproximadamente 4 mg de cálcio (PHILIPPI, 2018).

A biodisponibilidade do cálcio é influenciada por componentes exógenos, tais como fitatos (encontrados em cereais e sementes), oxalatos (presentes em espinafre e nozes) e taninos (encontrados em chás), que formam complexos insolúveis com o mineral e reduzem a sua absorção. A absorção de cálcio também é regulada por fatores endógenos como idade, condições fisiológicas e regulação hormonal (PEREIRA, 2009).

Ferro

O ferro é um dos elementos essenciais para o organismo, que desempenha várias funções metabólicas importantes, como o transporte de oxigênio, respiração, metabolismo energético, destruição de peróxido de hidrogênio e síntese de DNA. O metabolismo do ferro é complexo devido à sua participação em vários aspectos da vida, incluindo a função das hemácias e da mioglobina, além de ser crucial para a respiração humana auxiliando no transporte de oxigênio e dióxido de carbono no sangue. Ele é um componente ativo de citocromos envolvidos no processo de respiração celular e geração de energia ATP (TEIXEIRA, 2014).

Normalmente uma dieta contém de 13 a 18 mg de ferro, sendo que apenas 1 a 2 mg serão absorvidos na forma inorgânica ou na forma heme por dia a nível intestinal, pelo epitélio do duodeno (GROTTO, 2008). Primeiramente ocorre o transporte de ferro do lúmen intestinal para dentro da célula através da membrana do enterócito (internalização). Em seguida há a movimentação do ferro dentro da célula (processamento) e, por fim, a saída do ferro para corrente sanguínea (exportação) (TEIXEIRA, 2014). Estima-se que em adulto, há perdas de 0,88-0,98 mg por dia de ferro total no trato gastrointestinal, na urina e na pele (YAMAGISHI et al., 2017).

Estima-se que 40% da população mundial possuam carência ou níveis baixos de hemoglobina (BATISTA-FILHO; FERREIRA, 1996; FAIRBANKS, 1994). No mundo, a anemia afeta cerca de 1,620 milhões de pessoas, sendo que a incidência causada por deficiência de ferro é 2,5 vezes maior (ANDRÉ et al., 2018). Fadiga, cefaleia, fraqueza, baixo crescimento e desenvolvimento, irritabilidade, intolerância aos exercícios e palidez são alguns sintomas da doença (YAMAGISHI et al., 2017). A baixa disponibilidade de ferro, principalmente dos alimentos de origem vegetal, é a principal causa da anemia (MENEZES, 2010).

A carne bovina é uma das principais fontes de ferro, apresentando em torno de 1,7 mg do mineral em 100g de carne, após sua cocção, o que é significativamente maior quando comparado à alimentos de origem vegetal, como o feijão por exemplo, que contém apenas 1 mg de ferro em 100g de feijão cozido (PHILLIPPI, 2018). A maior parte do teor de ferro nos alimentos de

origem animal se encontra na forma de ferro não heme (apresenta o íon ferroso, Fe +2) e sua absorção pode ser afetada por compostos lançados a partir de alimentos durante a digestão, que agem como inibidores, os polifenóis (taninos, leguminosas, sorgo), fitatos, algumas proteínas vegetais, fosfatos e cálcio (TEIXEIRA, 2014). O ferro heme, encontrado em aves, peixes, vísceras e carne de boi, apresenta alta biodisponibilidade e é absorvido com mais eficácia pelo intestino do que o ferro não heme (YAMAGISHI et al., 2017).

Devido à presença de altas quantidades de aminoácidos sulfurados e à ausência de fatores que inibem a absorção de ferro, as carnes podem aumentar de 2 a 4 vezes a absorção do ferro-não heme. Os alimentos ricos em vitamina C também são promotores dietéticos da biodisponibilidade de ferro, em razão da capacidade do ácido ascórbico manter o ferro dos alimentos no estado ferroso mais solúvel (MENEZES, 2010; DESLGADINHO, 2014).

Magnésio

O magnésio desempenha um papel crucial em diversas reações biológicas fundamentais no organismo humano. Esse nutriente é indispensável para a fosforilação oxidativa, metabolismo de nutrientes, contração muscular e possui função fundamental na transmissão e atividade neuromuscular. O cátion magnésio (Mg²⁺) atua como cofator para mais de 300 enzimas no metabolismo de componentes alimentares (TEIXEIRA, 2014).

Cerca de 60% do magnésio presente no organismo humano encontra-se nos ossos, enquanto aproximadamente 26% encontra-se nos músculos e o restante está distribuído nos tecidos moles. (DELGADO-ANDRADE et al., 2008).

Em uma dieta equilibrada apenas 1/3 de magnésio é absorvido pelo organismo e Aproximadamente 70% do magnésio ingerido pode ser eliminado nas fezes, o que pode sugerir que os mecanismos de absorção desse mineral são pouco eficientes, no entanto, em situações de carência, a absorção do magnésio pode aumentar consideravelmente, variando de 70 a 80% (MACÊDO, 2010).

Alimentos como nozes, sementes, legumes e grãos moídos são excelentes fontes de magnésio para a dieta humana. Outra fonte importante do mineral são as hortaliças verde-escuras, já que o magnésio é um constituinte essencial da clorofila presente nessas plantas (TEIXEIRA, 2014). A carne bovina também é uma fonte deste mineral e apresentando aproximadamente 14g de magnésio em 100g de carne (PHILLIPPI, 2018).

A absorção de magnésio pode ser diminuída pela presença de fitatos, fibras, álcool, excesso de fosfato e cálcio. Por outro lado, a presença de lactose e outros carboidratos pode aumentar a absorção do mineral. A deficiência pode acarretar em aumento de irritabilidade muscular e arritmias cardíacas (MENEZES, 2010).

Zinco

O zinco é essencial para várias reações do metabolismo celular desempenhando um papel importante em processos fisiológicos como crescimento e desenvolvimento, defesa antioxidante e se destaca por atuar no controle das vias de sinalização celular da imunidade inata e adaptativa (DE CARVALHO, 2020; DE SALLES, 2013).

O zinco está presente em todos os tecidos e fluidos corporais, sendo estimado que existam cerca de 2 a 4 gramas deste mineral no organismo humano. A maior parte encontra-se no cérebro, músculos, ossos, rins, fígado e próstata. A absorção média do zinco por via oral é de 10% a 40% através do processo de difusão. Após a absorção, o zinco forma um complexo com um ligante endógeno, como a histidina, ácido cítrico e ácido piclínico. Esse complexo é transportado ativamente para a corrente sanguínea e se combina com a albumina e aminoácidos em cerca de 55% enquanto que com a macroglobulinas em 40% (DESLGADINHO, 2014).

As principais fontes alimentares de zinco incluem as ostras, carne bovina, especialmente vísceras como fígado e rins, frutos do mar, oleaginosas, cereais integrais e leguminosas, bem como o leite (DE CARVALHO, 2020). Quando se trata de cortes magros, como o coxão duro por exemplo, o teor de zinco exibido é de 5 mg em 100g de carne, após sua cocção, o que é um valor muito significativo visto que sua recomendação diária para população varia de 8 a 11 mg (PADOVANI, 2006; PHILLIPI, 2018).

A insuficiência de zinco pode levar a vários sintomas, incluindo anorexia, crescimento prejudicado e desenvolvimento fetal, cicatrização lenta de feridas, intolerância à glicose devido à diminuição da produção de insulina, impotência sexual e atrofia testicular, atraso no desenvolvimento sexual e esquelético, limitação na absorção da vitamina A, distúrbios de comportamento, aprendizagem e memória, diarreia e dermatites (SENA; PEDROSA, 2005).

2.3 Qualidade sensorial da carne

Para análise sensorial são utilizados métodos para evocar, medir, analisar e interpretar as reações das características dos alimentos e outros materiais, conforme percebidos pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição (ABNT, 1993). É realizada geralmente por uma equipe montada para analisar as características sensoriais de um produto para um determinado fim, podendo ser a seleção da matéria prima a ser utilizada em um novo produto, o efeito de processamento, a qualidade da textura, o sabor, a estabilidade de armazenamento ou a reação do consumidor (TEIXEIRA, 2009).

A análise sensorial pode ser dividida em análise sensorial analítica que inclui avaliações discriminatórias e descritivas com objetivo de descrever e diferenciar os produtos e, análise sensorial afetiva, que avalia a aceitação do produto, podendo ser realizada por meio de testes de aceitação (RUIZ-CAPILLAS, 2021). Os métodos descritivos descrevem os parâmetros sensoriais

e aferem a intensidade em que são percebidos, para isso, pode ser utilizado o método da Análise Descritiva Quantitativa (ADQ), a qual permite traçar o perfil sensorial dos produtos, por meio do levantamento e quantificação de atributos pela equipe e pode explicar as diferenças responsáveis pela maior ou menor aceitação dos produtos estudados (ALMEIDA, 2016).

A demanda de produtos cárneos mais seguros e saudáveis pelos consumidores é crescente e para avaliação desses produtos, são mais comumente utilizados testes hedônicos ou descritivos, sendo a maciez e a suculência os principais atributos analisados sensorialmente, além da aparência, cor, aroma e sabor (RUIZ-CAPILLAS, 2021). Cor, maciez e suculência são os principais atributos de qualidade da carne considerados pelos consumidores (OLIVO, 2017). Dentre esses fatores, a maciez é o principal impulsionador para o estabelecimento de modelos de garantia de qualidade alimentar e é considerada o componente sensorial mais importante na avaliação da qualidade da carne (ARRUDA, 2021).

A maciez é uma característica da textura que é determinada pela percepção sensorial do consumidor que envolve fatores como a resistência à língua, a pressão dos dentes, a aderência e o resíduo pós mastigatório (MUCHENJE et al., 2009). Quanto mais avançada a idade da população, menor é o consumo de carnes devido a problemas de mastigação, o que induz a redução do consumo de alimentos mais sólidos e rígidos, resultando na diminuição do consumo de carne pelos idosos (PROCÓPIO, 2021). A maciez da carne é um atributo crucial para a satisfação do consumidor, afetando sua disposição para repetir a compra e pagar preços mais elevados (ARRUDA, 2021).

A maciez da carne pode ser avaliada por meio da força de cisalhamento, que é o método mais comumente utilizado. Mede a resistência da fibra muscular à ruptura durante a mastigação. Em geral, carnes mais macias apresentam valores menores de força de cisalhamento em comparação a carnes menos macias (ARRUDA, 2021; OLIVEIRA, 2021).

Embora não seja muito utilizado na avaliação de carnes até o momento, a análise de perfil de textura (TPA) é um método amplamente utilizado na avaliação da textura de outros alimentos e têm demonstrado bons resultados na avaliação da textura de músculos de peixes. A principal vantagem é a possibilidade de avaliar outras variáveis com um ciclo de compressão duplo. Dentre as variáveis que podem ser analisadas com esse método estão: dureza, elasticidade, coesividade, adesividade, resiliência, fraturabilidade, gomosidade e mastigabilidade. Na carne, as variáveis avaliadas incluem principalmente dureza e elasticidade, que junto da coesão, possibilitam o cálculo da mastigabilidade (DE HUIDOBRO, 2005).

Na Análise de Perfil de Textura (TPA) a dureza está diretamente relacionada à força máxima aplicada no primeiro ciclo de compressão da amostra. Essa força representa a quantidade necessária para atingir uma

determinada deformação e reflete a dureza da amostra na primeira mordida, que é influenciada principalmente pelas proteínas da carne e pela quantidade de água no músculo (FRIEDMAN, 1963; LAWRIE, 1980).

Pematilleke et al. (2021) encontraram correlação entre os parâmetros instrumentais e sensoriais, ao comparar as mudanças de textura do músculo *semintendinosus* bovino após o cozimento, usando painelistas sensoriais e análise instrumental do perfil de textura (TPA), bem como determinaram as perdas por cocção. Os painelistas conseguiram identificar e descrever precisamente os atributos de textura da carne com o treinamento com o perfil de textura sensorial, exceto a coesão e a elasticidade.

Naqvi et al. (2019) também encontraram correlações moderadas e altas entre as medidas sensoriais e físicas de maciez e suculência em carne bovina (*M. biceps femoris*) cozida pelo método *sous vide*.

2.4 *Sous vide*

Para melhorar a qualidade, reduzir custos, aumentar vida útil e melhorar a aceitação do consumidor de produtos cárneos, é fundamental a adoção de novas tecnologias (MORAES, 2017). A indústria de alimentos tem passado por transformações impulsionadas por mudanças nos hábitos alimentares dos consumidores, avanços tecnológicos e pressão econômica. Com isso, há uma crescente demanda por produtos prontos para consumo. Nesse contexto, a técnica *sous vide* surge como uma alternativa capaz de atender a esses requisitos. Esse método utiliza vácuo combinado com controle de temperatura para obter um produto pronto para consumo imediato ou posterior, após refrigeração ou congelamento (KATO et al., 2016).

O processo *sous vide* tem sido estudado desde os anos 90 e é uma técnica utilizada na gastronomia desde os anos 70, mas foi amplamente divulgada a partir de meados dos anos 2000 ocorrendo um aumento do seu uso em restaurantes e também em casa (CORBIN, 2012). É um método de processamento no qual o alimento é embalado a vácuo e cozido de forma controlada a uma temperatura entre 65°C e 95°C. Após o cozimento, o alimento é rapidamente resfriado e armazenado a uma temperatura de -3 a 18°C (MORAES, 2017).

A embalagem a vácuo do método *sous vide* viabiliza a transferência direta de calor da água ou vapor para os alimentos, evitando a perda de nutrientes além de proporcionar o cozimento do produto no próprio suco, selando sabores e aromas inerentes ao alimento e promovendo uma melhor textura (DE PAULA CASEMIRO; ZAMBIAZI; VENDRAMINI, 2022). Essa técnica de selagem a vácuo prolonga a vida útil do alimento eliminando o risco de recontaminação durante o armazenamento, previne a oxidação e a perda por evaporação de sabores voláteis e umidade durante o cozimento (CORBIN, 2012).

Uma das razões pelas quais o método *sous vide* tem sido estudado e documentado, é o grau de maciez alcançado ao cozinhar cortes de carne

tipicamente duros. Esse efeito é resultado da combinação de tempos de cozimento muito longos a temperaturas relativamente baixas, em comparação com métodos de cozimento tradicionais. Essa técnica é conhecida como LTLT (*long time, low temperature*) (RUIZ-CARRASCAL et al., 2019). Em comparação aos métodos de cozimento tradicionais, o processo *sous vide* visa preservar melhor a cor, sabor, textura e nutrientes dos alimentos, tornando-se uma alternativa atrativa para o consumo (KATO et al., 2016).

A escolha do método de cocção influencia diretamente os componentes nutricionais, perda de aminoácidos e oxidação lipídica (ALMEIDA, 2020). Os alimentos cárneos são favorecidos quando preparados pelo método *sous vide*, pois a ausência de oxigênio que o método viabiliza, diminui a velocidade das reações que ocasionam rancidez oxidativa (MEDEIROS, 2009).

Muitas pesquisas são direcionadas aos aspectos microbiológicos do processo, tendo em vista que o tratamento térmico do *sous vide* é efetivo na destruição de células vegetativas, mas não para esporos. Além disso, condições anaeróbicas nas embalagens podem favorecer a produção de toxinas pelo *Clostridium botulinum*, necessitando um rígido controle de higiene e condições de processo (ARAN, 2001; MENG; GENIGEORGIS, 1994). Os principais riscos à segurança alimentar associados ao cozimento de longo prazo em baixa temperatura são, como já comentada, a presença de *Clostridium perfringens*, que é o patógeno com mais facilidade de crescimento durante processamento em carnes *sous vide*, e a presença de bactérias que produzem toxinas resistentes ao calor, como *Bacillus cereus* e *Staphylococcus aureus*. *Clostridium perfringens* parece ser o patógeno mais bem adaptado ao crescimento durante o processamento de carnes *sous vide* e se este organismo for efetivamente controlado os riscos de contaminação por outras bactérias serão mínimos (WILLARDSSEN, 1978).

Atualmente não há uma regulamentação específica no Brasil para alimentos *sous vide*, no entanto, a Resolução 216, de 15 de setembro de 2004, da ANVISA estabelece que o processo de resfriamento de alimentos preparados deve ser realizado de forma a minimizar o risco de contaminação cruzada e evitar a permanência do alimento em temperaturas que possam favorecer a proliferação bacteriana (ANVISA, 2004). De acordo com o Serviço de Segurança e Inspeção de Alimentos (Food Safety and Inspection Service – FSIS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, a produtos cárneos não devem ser mantidos na faixa de temperatura de 10°C a 54,4°C por mais de 6 horas, devido ao favorecimento nessas temperaturas ao crescimento de patógenos que o reaquecimento do alimento pode ser ineficaz para torna-lo seguro, bem como ineficiente para degradar toxinas resistentes ao calor liberadas por bactérias toxigênicas como *Staphylococcus aureus* e *Clostridium perfringens* (FSIS, 2023). Várias cláusulas relacionadas ao tempo como medida de controle de saúde pública estão incluídas no *Food and Drug Administration* (FDA, 2023). O código alimentar dos Estados Unidos permite um máximo de quatro horas para

alimentos armazenados entre 5°C e 57°C, enquanto as temperaturas descritas pelo *Safe Food Australia* são entre 5°C a 60°C (ANZFA, 2001).

Park (2020) observou que o cozimento de carne de frango pelo método *sous vide* resultou em menor perda por cocção, menor força de cisalhamento e menor dureza do que a carne assada em forno convencional. As amostras do grupo controle foram cozidas em forno de convecção a 180°C e uma temperatura interna de 71°C, enquanto que para o tratamento *sous vide*, foram utilizadas seis combinações de temperaturas de cocção (60°C e 70°C) e tempo (1, 2 e 3h). A melhor condição de cocção pelo método *sous vide* apresentada neste estudo foi de 60°C por 2 a 3 horas.

Moraes e Rodrigues (2017) estudaram os efeitos de tempo e temperatura de lagarto bovino (*M. Semitendinosus*) submetido a cocção por *sous vide*, *cook chill* e cozimento convencional. Neste estudo foi observado que com a utilização do processamento *sous vide* foram obtidos maiores rendimentos em relação ao sistema *cook chill*.

2.5 Digestibilidade proteica

A digestibilidade da proteína é compreendida como a quantidade que pode ser hidrolisada por enzimas digestivas em aminoácidos, tornando-os biologicamente disponíveis, desde que não haja nenhum obstáculo na absorção dos aminoácidos pelo corpo humano. A digestibilidade *in vitro* de uma proteína é realizada empregando enzimas proteolíticas que atuam de maneira similar à digestão natural, simulando as condições de acidez presentes no estômago e do intestino, onde ocorre a digestão das proteínas (MENEZES, 2010).

O perfil de aminoácidos é um dos primeiros parâmetros a serem observados ao avaliar o valor nutricional de uma proteína, entretanto, é a sua digestibilidade que garante a liberação desses aminoácidos para serem absorvidos pelos enterócitos. Uma mistura proteica boa qualidade e alto valor biológico é aquela que proporciona quantidades adequadas de aminoácidos essenciais e nitrogênio total, além de ser facilmente digerível (PIRES, 2005).

A digestão se inicia na boca, onde os dentes são responsáveis por triturar e esmagar o alimento em partículas menores. Em seguida, por meio do peristaltismo, essas partículas chegam até o estômago estimulando a liberação do hormônio gastrina, a qual estimula a secreção do ácido clorídrico. A enzima pepsina é secretada na forma inativa, (pepsinogênio) que é convertido pelo ácido clorídrico. O suco gástrico apresenta pH 1,0 a 2,5 torna as ligações peptídicas mais susceptíveis à hidrólise (KRAUSE, 1998; NELSON; COX, 2014). Ao chegar no intestino, o quimo se mistura com as secreções do pâncreas, da vesícula biliar e do epitélio do duodeno. O bicarbonato de sódio contidos nessas secreções neutraliza o ácido, aumentando o pH para 7,0 possibilitando que as enzimas digestivas, funcionem com mais eficácia. Com o contato entre o quimo e a mucosa do intestino, ocorre a ação da enteroquinase, a qual transforma o tripsinogênio em tripsina ativa, a principal enzima pancreática em relação a

digestão das proteínas e que, por sua vez, ativa outras enzimas proteolítica. As enzimas tripsina, quimiotripsina e carboxipeptidase pancreática degradam a proteína intacta e a decomposição inicial do estômago continua até a formação de pequenos peptídeos e aminoácidos (KRAUSE, 1998). Através da ação sequencial de enzimas proteolíticas e peptidases, as proteínas são hidrolisadas em uma mistura de aminoácidos livres, que podem ser transportados através das células epiteliais que revestem internamente o intestino delgado. Os aminoácidos livres são absorvidos pelos capilares sanguíneos presentes nas vilosidades e transportadas até o fígado, onde serão metabolizados posteriormente (NELSON; COX, 2014).

A desnaturação das proteínas miofibrilares, sarcoplasmáticas e do tecido conjuntivo é a principal alteração que ocorre na carne pelo efeito do calor e resulta na quebra estrutural natural das proteínas, o que possibilita uma ação mais eficiente das enzimas digestivas e, conseqüentemente, uma maior digestibilidade e absorção. Entretanto, se essa desnaturação for excessiva (acima de 90°C) ocorre a insolubilização da proteína, afetando suas propriedades funcionais e aumentando sua viscosidade (MARTINEZ, 2018; MORAES, 2017).

A extensão da desnaturação proteica varia de acordo com a temperatura e o tempo de cozimento aplicados, que acarretam o encolhimento das miofibrilas e a solubilização do colágeno, afetando a maciez (MORAES, 2017). Durante o processo de aquecimento, as fibras musculares sofrem encolhimento (a partir de 35 a 40°C) tanto transversal quanto longitudinal, as proteínas sarcoplasmáticas se juntam (a partir de 40°C) e formam uma consistência gelatinosa e os tecidos conjuntivos se contraem, o que os torna mais solúvel, a partir de 60°C e apresentando o ápice da contração acima de 65°C (CORBIN, 2012). O tratamento térmico deve ser realizado adequadamente para evitar resultados indesejáveis, incluindo a diminuição da digestibilidade da proteína e da disponibilidade de aminoácidos essenciais (MARTINEZ, 2018).

Li et al. (2017), avaliaram a digestibilidade proteica de diferentes produtos de carne de porco (carne de porco cozida, salsichão, carne de porco curada, carne de porco estufada) e observaram que salga e secagem à longo prazo e cozimento com altas temperaturas podem fazer com que as proteínas da carne de porco sejam menos suscetíveis à digestão com pepsina e, com isso, apresentem redução na digestibilidade proteica. Os autores sugeriram que redução na digestibilidade da carne de porco cozida seria decorrente do tempo elevado de cozimento a 72 °C, o qual poderia induzir proteínas à oxidação e agregação, interferindo na susceptibilidade proteolítica.

Kaur et al. (2014), avaliaram a cocção da carne bovina submetida ao cozimento em banho-maria a 100 °C por 10 e 30 min a fim de observar o efeito na digestibilidade *in vitro* da proteína perante às condições de cocção geralmente utilizadas durante o preparo de ensopado de carne. Eles concluíram que a estrutura da carne crua parecia mais suscetível à ação enzimática que ocorreu de

forma mais aleatória, enquanto que na carne cozida ela progrediu das bordas miofibrilares em direção ao centro da miofibrila, constatando uma estrutura mais compacta. A desnaturação das proteínas da carne durante o cozimento resultou em maior e mais rápida digestão de proteínas e polipeptídeos, porém modificações de aminoácidos que ocorreram durante o cozimento podem ter induzido à formação de peptídeos que não são capazes de serem subdivididos em aminoácidos individuais, interferindo na sua biodisponibilidade. Os autores inferiram que a técnica *sous vide* seria uma alternativa promissora visto que com a aplicação do vácuo para o cozimento, ocorre o aumento da digestibilidade proteica da carne cozida.

Jiang et al. (2022), avaliaram o efeito do cozimento *sous vide* na qualidade, sabor e características digestivas da carne de porco estufada (barriga suína) utilizando as temperaturas de 65°C, 70°C e 75°C, nos tempos de 8h, 10h e 12h, e concluíram que o cozimento *sous vide* produziu melhores características de qualidade e digestão da carne suína assada.

Bath et al. (2020), analisaram o efeito do processamento *sous-vide* na digestão simulada *in vitro* em lagarto bovino, músculo *Semitendinosus* de vacas leiteiras descartadas, submetido a cocção à 60°C por 4,5 e 10h, e obtiveram aumento da digestibilidade, da proteína solúvel e de aminoácidos livres quando comparado com a amostra controle cozida à 80°C. Os autores observaram que o método *sous vide* demonstrou capacidade de agregar valor a um produto cárneo de baixo valor. YIN et al. (2022) também constataram que o cozimento por *sous vide* é um método promissor para melhorar a digestibilidade proteica de alimentos bovinos ao avaliarem os efeitos de *sous vide* a 55 °C por 4h, fervura a 100 °C e torrefação a 180 °C na digestibilidade de carne bovina (músculo bovino *semimembranosus*) em digestão gastrointestinal simulada (SM) e encontrarem maior digestibilidade gastrointestinal nas amostras processadas por *sous vide*.

2.6 Bioacessibilidade de minerais

A digestão humana é o processo que envolve transformações mecânicas e químicas dos alimentos, visando a conversão destes em compostos menores e absorvíveis. Esse processo é composto por seis fases distintas: ingestão, digestão mecânica, propulsão, digestão químicas, absorção e excreção (LIMA, 2022).

Os minerais, ou elementos essenciais, são substâncias inorgânicas que desempenham várias funções importantes no corpo humano e são classificados como nutrientes. No entanto, como o organismo não é capaz de sintetizá-los, é necessário obtê-los por meio da alimentação (LUZ; PALLONE, 2022).

Na literatura os termos biodisponibilidade e bioacessibilidade relacionados a alimentos são encontrados com grande frequência (VELA, 2017). A bioacessibilidade refere-se à avaliação da proporção de um composto que é liberada por um alimento durante a digestão gastrointestinal e se torna disponível para ser absorvida pelo organismo humano (IAQUINTA; PISTON;

MACHADO, 2021). No final da digestão, uma parte é bioacessível, composta pelos componentes alimentares disponíveis para a absorção humana, e a outra parte não bioacessível, que corresponde à excreção. Já a biodisponibilidade, consiste em correlacionar as concentrações desses nutrientes absorvidos com a quantidade presente nos tecidos, fluidos biológicos e componentes dependentes para avaliar o que de fato será utilizado pelo organismo (LUZ; PALLONE, 2022).

A estimativa *in vitro* simula a digestão humana utilizando a pepsina para fase gástrica e uma mistura de pancreatina com sais biliares para fase intestinal, bem como condições fisiologicamente relevantes de pH, temperatura, agitação e digestão, seguido da determinação da fração bioacessível dos analitos. Na literatura, existem estudos com a utilização da simulação gastrointestinal *in vitro* para determinar a bioacessibilidade de minerais em diferentes matrizes, que apresentaram bons resultados quando comparados aos obtidos *in vivo*, os quais são mais caros e envolvem questões éticas (HIGUERA et al., 2021).

O valor nutricional dos alimentos é reduzido diante de perdas de minerais e vitaminas durante, que ocorrem com processo de tratamento térmico. Essa perda é influenciada pelo tipo de mineral e método de cozimento utilizado o aquecimento de carne em altas temperaturas pode levar à formação de ligações intermoleculares, o que reduz a sua suscetibilidade das proteínas à quebra enzimática, afetando a liberação de aminoácidos e consequentemente, a biodisponibilidade durante o processo digestivo (MARTINEZ, 2018).

Muitos minerais estão associados ou compõem as proteínas das carnes, com isso, a bioacessibilidade dos minerais neste alimento pode sofrer modificações de acordo a técnica de cocção utilizada Quando um alimento é submetido à cocção em água, por exemplo, ocorre perda de parte dos minerais, como ferro, magnésio e cobre, para a água do próprio alimento durante o processo de cozimento visto que o aquecimento da matriz alimentar pode acarretar a lixiviação desses minerais pela água (DA SILVA et al., 2017). Segundo Schricker e Miller (1983) em temperaturas superiores a 85 °C ocorre a clivagem oxidativa do anel de porfirina que causa a liberação do complexo heme do ferro. Como o método *sous vide* permite um cozimento em baixas temperaturas (65°C), a clivagem do anel porfirínico provavelmente não é favorecida, mesmo em longos período de aquecimento.

Da Silva et al. (2017), observaram que o método *sous vide* proporcionou maior bioacessibilidade de minerais (Ca, Cu, Fe, K, Mg e Zn em fígado bovino do que o cozimento em água fervente.

Jiang et al. (2021) também encontraram melhor digestibilidade e bioacessibilidade de minerais em ostras submetidas à cocção no vapor do que as amostras submetidas ao cozimento e à fritura. Neste estudo também foi observado a diminuição da digestibilidade de todas as amostras com o aumento do tempo de cozimento, resultados semelhantes ao encontrado por Menezes

(2018), que observou diminuição da bioacessibilidade de minerais Ca, Cu, Mg, Fe e Zn e de proteínas com aumento da temperatura em carne bovina.

Estudos envolvendo alimentos de origem vegetal comprovaram os benefícios do *sous vide* para promoção da maior bioacessibilidade de minerais em couve de Bruxelas (DONIEC, 2022) e cubos de abóbora (RINALDI, 2021), quando comparados a métodos de cozimentos convencionais, entretanto, estudos envolvendo carnes bovinas estão sendo mais explorados apenas recentemente.

Os estudos citados evidenciam a relevância de compreender o impacto dos distintos métodos de preparo não só na digestibilidade de proteínas, como também na bioacessibilidade de minerais, visto que a aplicação de diferentes processos de cocção e diferentes tempos de cocção podem reduzir ambos.

2.7 Consumo de carne em idosos

A população idosa (pessoas com sessenta anos ou mais) apresenta um elevado crescimento no Brasil (PROCÓPIO, 2021). Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2030 o país terá a quinta população mais idosa do mundo (BRASIL, 2019). O processo de envelhecimento inclui mudanças anatômicas e funcionais, acarretando perda de massa magra e aumento de risco de doenças crônicas além de perdas sensoriais com a diminuição de sensações de paladar, visão, odor, audição e tato, o que tem influência no apetite e no prazer de se alimentar (NOGUEIRA, 2016).

No caso de produtos cárneos, é possível especular que os consumidores idosos concentram sua atenção mais na dureza e na mastigabilidade (BOTINESTEAN, 2021). Em um estudo foi relatado que a carne exige um mínimo esforço inicial de mordida pode ser percebida de forma mais favorável pelos consumidores idosos (FORDE et al., 2013).

Do ponto de vista nutricional, a carne é uma excelente fonte de aminoácidos essenciais, alto teor de proteína e alta disponibilidade biológica, no entanto as alterações fisiológicas que acontecem no processo de envelhecimento como as modificações na acidez gástrica e no esvaziamento gástrico, prejudicam a digestão de nutrientes e a mudança na arcada ou perda dentária e aumento da dificuldade de deglutição resulta em mudanças alimentares e consequente diminuição do consumo de carnes por este público, o que pode ser prejudicial ao estado nutricional dos idosos que apresentam necessidades maiores de proteína do que adultos e jovens (LEE, 2021; NOGUEIRA, 2016; PROCÓPIO, 2021).

Tendo em vista a importância do equilíbrio nutricional na saúde da população idosa, que necessitam de alternativas para facilitar o consumo e aproveitamento dos nutrientes da carne bovina, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar os efeitos de diferentes tempos e temperaturas em um corte de carne bovina de baixo custo (coxão duro) processado pelo método *sous vide* a fim de adquirir uma carne mais macia, com maior digestibilidade de proteína e bioacessibilidade minerais que são essenciais para o estado nutricional dos idosos, além de atributos sensoriais que satisfaça os consumidores.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral:

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tempo e temperatura nas características físicas e sensoriais, na digestibilidade proteica e bioacessibilidade de minerais no corte bovino coxão duro (*Biceps femoris*) processado pelo método *sous vide*.

3.2 Específicos

- Avaliar o efeito do tempo e temperatura na perda por cocção, força de cisalhamento, dureza, elasticidade e características sensoriais do corte coxão duro processado pelo método *sous vide*.

- Avaliar a digestibilidade proteica e a bioacessibilidade de minerais pelo método *in vitro* de carne bovina processada por *sous vide*.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Foi estudado o efeito do tempo e temperatura na maciez do corte bovino coxão duro (*Biceps femoris*) submetido ao processamento *sous vide*. Neste experimento, foram testadas as combinações de três tempos (60 min, 210 min e 360 min) e três temperaturas (60°C, 65°C e 70°C) de cocção.

4.1 Condições de cocção por *sous vide*

Os tempos e as temperaturas para o estudo foram escolhidos de acordo com o que a literatura descreve sobre as condições que mais afetam a maciez da carne durante o processo de cocção *sous vide* (CORBIN, 2012). Foram realizados cinco ensaios de forma aleatória, nas combinações apresentadas na Tabela 1. Os processamentos em cada combinação foram realizados em triplicata.

Tabela 1. Condições (tempo e temperatura) de cocção de coxão duro pelo método de *sous vide*.

Ensaio nº	Temperatura (°C)	Tempo (minutos)
1	60	60
2	60	360
3	70	60
4	70	360
5	65	210

As variáveis dependentes foram perda de peso por cocção, força de cisalhamento, dureza e elasticidade. As amostras para a análise de digestibilidade proteica e de bioacessibilidade de minerais foram coletadas no mesmo experimento, em uma das triplicatas dos processamentos. Este experimento foi repetido em triplicata com as mesmas condições de tempo e temperatura sendo realizadas análises de perda por cocção, força de

cisalhamento, dureza, elasticidade. Para análise sensorial, foram coletadas amostras de dois processamento para obtenção de quantidade necessária de amostra para servir aos provadores.

4.2 Preparo da matéria prima

Foi realizada a toailete do corte coxão duro (*Biceps femoris*) adquiridos em frigorífico comercial, retirando o tecido adiposo e o tecido conjuntivo externo. O porcionamento da carne foi feito em corte transversal para obtenção de bifes de 2,5 cm de espessura. Os bifes foram pesados em balança semi-analítica da marca Unibloc, modelo UX6200H, identificados de acordo com o tipo de corte, tempos e temperaturas de cocção. As amostras foram identificadas, acondicionadas em embalagens próprias para cocção *sous vide* e seladas a vácuo em uma seladora Selovac, modelo 300B.

4.3 Processamento da carne bovina pelo método *sous vide*

Foi realizada a cocção *sous vide* em um termocirculador profissional TermoLAB - ULTRA da marca H2heater com capacidade de 45 litros, fabricado no Brasil (Figura 1). Em cada batelada, foram processadas duas amostras para cada combinação de tempo e temperatura pré-determinados pelo planejamento experimental (Tabela 1). A contagem e registro do tempo de cocção iniciou-se depois de atingida a temperatura de processamento térmico desejada no centro geométrico da carne. A temperatura durante o processamento foi monitorada por meio do painel do termocirculador, como também, por meio de um termômetro digital tipo espeto resistente à água, inserido no centro geométrico do bife.



Figura 1. Amostra sendo processada em termocirculador profissional TermoLAB - ULTRA da marca H2heater.

Após a cocção, as amostras foram resfriadas rapidamente em banho de gelo a 3°C durante 60 min, pesadas e em seguida, armazenadas sob refrigeração para análises de força de cisalhamento (FC) e perfil de textura (TPA). As demais amostras foram estocadas em freezer a -18°C para as demais análises de bioacessibilidade de minerais, proteína bruta (PB) e digestibilidade proteica (DP). As amostras foram igualmente pesadas após a cocção e armazenadas a 5°C por 24h para outras análises de força de cisalhamento e perfil de textura, e o restante das amostras ficaram congeladas até a realização da análise sensorial descritiva conforme apresentado na Figura 2. Foi realizada a análise de perda por cocção (PPC) em todas as amostras antes de cada análise do experimento.

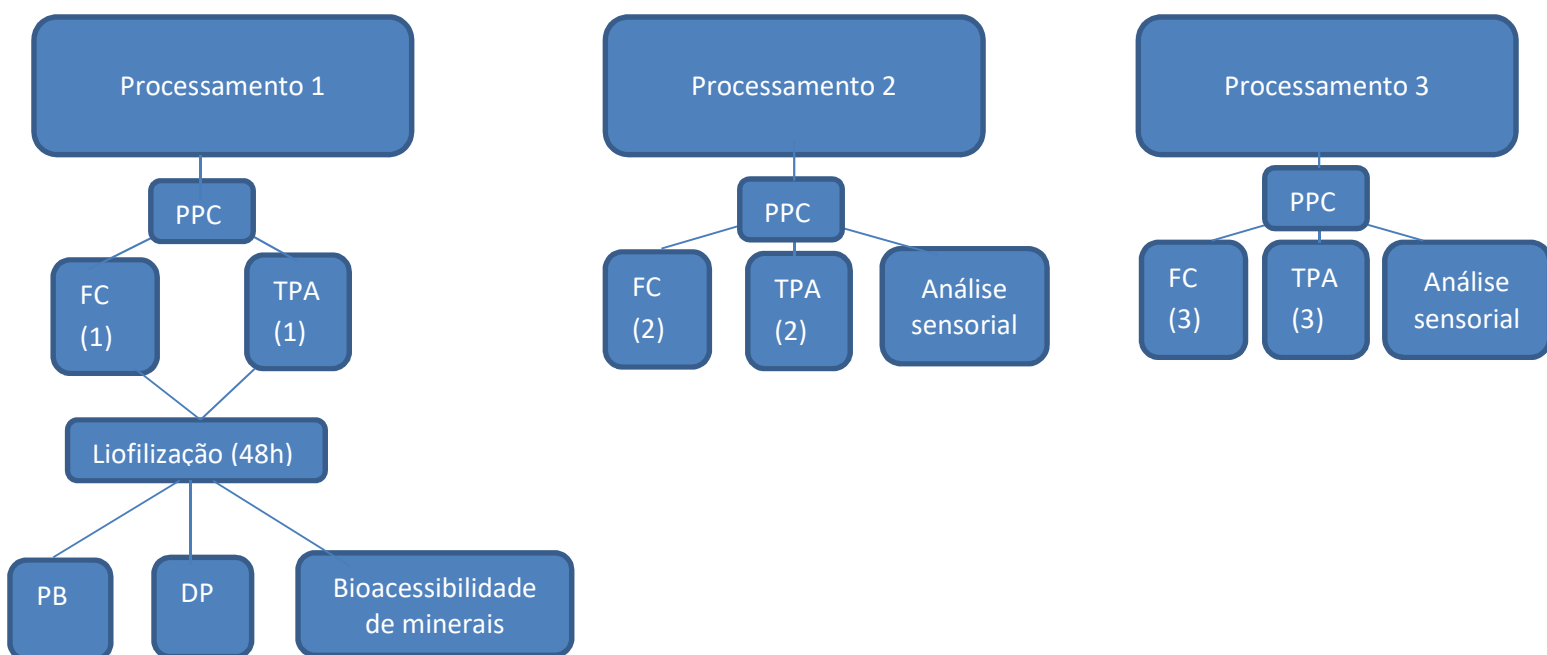


Figura 2. Fluxograma do direcionamento das amostras para cada análise do experimento após o processamento por *sous vide*. PPC = perda por cocção; FC = força de cisalhamento; TPA = análise de perfil de textura; PB = proteína bruta; DP = digestibilidade proteica.

4.4 Análises físico-químicas

4.4.1 Perda por cocção (PPC)

O cálculo da perda por cocção (PPC), foi realizado por meio da diferença entre a massa da carne *in natura* após o corte dos bifes e a massa da carne após a cocção, resfriamento e drenagem do exsudado da embalagem, utilizando uma balança semi-analítica com precisão de 0,01g, de acordo com a equação:

$$\%PPC = \frac{M0 - M1}{M0} * 100$$

%PPC= perda por cocção

M0 = massa da carne *in natura*

M1 massa da carne após a cocção, resfriamento e drenagem do exsudado da embalagem

4.4.2 Perfil de textura (TPA)

Foi realizada a análise de perfil de textura em nove diferentes partes do bife inteiro, utilizando-se texturômetro calibrado da marca TA.XT plus acoplado a uma probe cilíndrica de 10 mm, utilizando o programa Texture Expert com os seguintes parâmetros: velocidade de teste: 3,0 mm/segundo, velocidade pré-teste: 4,0 mm/segundo, velocidade pós-teste: 3,0 mm/segundo, intervalo entre o primeiro e o segundo ciclo de compressão: 5 segundos, calibração em relação a força e a altura. No texturômetro, diferentes partes do bife foram colocadas perpendiculares à lâmina (*probe*) e cada ponto do bife foi comprimido em dois ciclos completos. Foram considerados os parâmetros de perfil de textura, dureza: força máxima no primeiro ciclo, e elasticidade como sendo a força máxima no segundo ciclo. Os resultados foram obtidos com a média das 9 medidas obtidas de cada amostra da análise de perfil de textura.

4.4.3 Força de cisalhamento (FC)

Foram retiradas nove sub-amostras do bife na forma de cilindros de 2,5 cm no sentido longitudinal em relação às fibras musculares da amostra utilizando-se um amostrador “coring” acoplado a uma furadeira elétrica para a realização da força de cisalhamento com texturômetro calibrado da marca TA.XT plus acoplado a lâmina Warner-Bratzler com 1,016 mm de espessura com capacidade para 50 kg, utilizando o programa Texture Expert. O texturômetro foi calibrado para: velocidade do teste de 200 mm/min; velocidade pós-teste de 2400 mm/min; distância de 40 mm; peso de calibração de 10 kg. No texturômetro, as sub-amostras foram colocadas com as fibras do músculo perpendiculares à lâmina Warner-Bratzler e cada cilindro foi seccionado. Os resultados foram obtidos pela a média das 9 medidas obtidas de cada amostra na análise de força de cisalhamento.

4.4.4 Proteína bruta (PB)

Foi realizada a análise de proteína bruta (PB). Nesta análise a matéria orgânica foi decomposta e o nitrogênio presente convertido em amônia. Como diferentes proteínas apresentam teores de nitrogênio que correspondem a aproximadamente 16% do teor total de nitrogênio da proteína, o fator empírico 6,25 é normalmente utilizado para transformar o número de gramas de nitrogênio obtido em número de gramas de proteína (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2004).

A porcentagem de nitrogênio das amostras é calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$\%PB = \% N * 6,25$$

$$\%N = ((14 * 0,05 * 100) / 100) * (V \text{ H}_2\text{SO}_4 - V \text{ branco})$$

Onde:

14 = equivalente de nitrogênio;

0,05 = concentração de ácido;

100 = 100% (para expressar o resultado em porcentagem);

100 = massa utilizada (em miligrama – 0,100g * 1000);

V H₂SO₄ = volume de ácido consumido até o ponto de viragem do branco (em mL).

4.4.5 Digestão *in vitro*

4.4.5.1 Instrumentação

Um espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) com visão dupla vertical síncrona (SVDV) (Modelo 5110, Agilent Technologies, Santa Clara, CA) foi utilizado para a quantificação dos elementos Ca, Fe, Mg, P e Zn. Esse instrumento é equipado com um nebulizador seaspray, câmara de nebulização ciclônica de duplo-passo, e bomba peristáltica. Os parâmetros instrumentais empregados foram: 1,2 kW potência da RF aplicada, 1,0 L min⁻¹ vazão do gás auxiliar, 0,7 L min⁻¹ vazão do gás de nebulização, 12 rpm velocidade da bomba peristáltica, 15 s tempo de estabilização, e 3 s tempo de integração. A visão SVDV foi utilizada na determinação dos analitos e os comprimentos de onda monitorados foram: Ca 422,673 nm, Fe 238,204 nm, Mg 279,553 nm, P 213,618 nm, e Zn 202,548 nm. Argônio de alta pureza (99,9999%) (White Martins-Praxair, Sertãozinho, Brasil) foi utilizado para geração e manutenção do plasma, nebulização, e como gás auxiliar.

Forno de micro-ondas Multiwave Go (Anton-Paar GmbH, Graz, Áustria) equipado com 12 frascos de PTFE-TFM), foi empregado para as digestões referente às determinações dos teores totais e bioacessíveis de Ca, Fe, Mg, P e Zn.

Para a digestão gastrointestinal *in vitro*, um banho termostático com agitação (Dubnoff, Novatecnica, São Paulo, Brasil) foi usado para incubação das amostras. Um medidor de pH modelo W3B (BEL, Monza, Itália) e uma centrífuga modelo Excelsa II 206 (FANEM, São Paulo, Brasil) foram utilizados para ajuste de pH e separação do sobrenadante, respectivamente. Um liofilizador modelo EC MicroModulyo® (Edwards, Reino Unido) e um moinho IKA®

(IKA-Werke, Staufen, Alemanha) foram usados para liofilização e moagem das amostras, respectivamente.

Analizador elementar (Dumatherm CN, Gerhardt, Königswinter, Alemanha) foi empregado para a determinação do nitrogênio presente nas amostras de carne antes e após o ensaio *in vitro*.

4.4.5.2 Reagentes e soluções

Toda vidraria foi mantida em HNO₃ 10% v v⁻¹ por pelo menos 24 h e lavada com água ultrapura antes do uso. Todas soluções foram preparadas com reagentes de grau analítico e água ultrapura, resistividade 18.2 MΩ cm (Milli-Q®, Millipore, Bedford, MA, USA). As amostras foram digeridas em meio HNO₃ (Synth, Diadema, SP, Brasil) purificado em um sistema de destilação sub-boiling Distillacid™ BSB-939-IR (Berghof, Eningen, Alemanha) e H₂O₂ 30% m v⁻¹ (Sigma, Aldrich, Alemanha). As soluções padrão foram preparadas a partir de soluções estoque de 1000 mg L⁻¹ de Ca, Fe, Mg, P e Zn (Specsol, São Paulo, Brasil).

Os fluidos digestivos simulados para o ensaio de digestão *in vitro* foram preparados com os seguintes reagentes e enzimas: bicarbonato de sódio ACS EMSURE® (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha), ácido clorídrico previamente purificado em sistema de destilação abaixo do ponto de ebulição, hidróxido de sódio (≥ 98 %), pepsina de mucosa gástrica suína (P7000, ≥ 250 unidades/mg), pancreatina de pâncreas suíno (P1750, 4x especificações USP) e sais biliares (B8756, 50 % colato de sódio e 50 % desoxicolato de sódio), todos da Sigma-Aldrich (Saint Louis, MO, EUA).

4.4.5.3 Digestão gastrointestinal *in vitro* de coxão duro processado por *sous vide*

O ensaio *in vitro* foi baseado no método desenvolvido por García-Sartal et al. (2011) com algumas modificações. Foi realizada uma digestão *in vitro* para a análise de bioacessibilidade de minerais e outra digestão *in vitro* para a análise de digestibilidade proteica com amostras liofilizadas conforme apresentado na Figura 3.

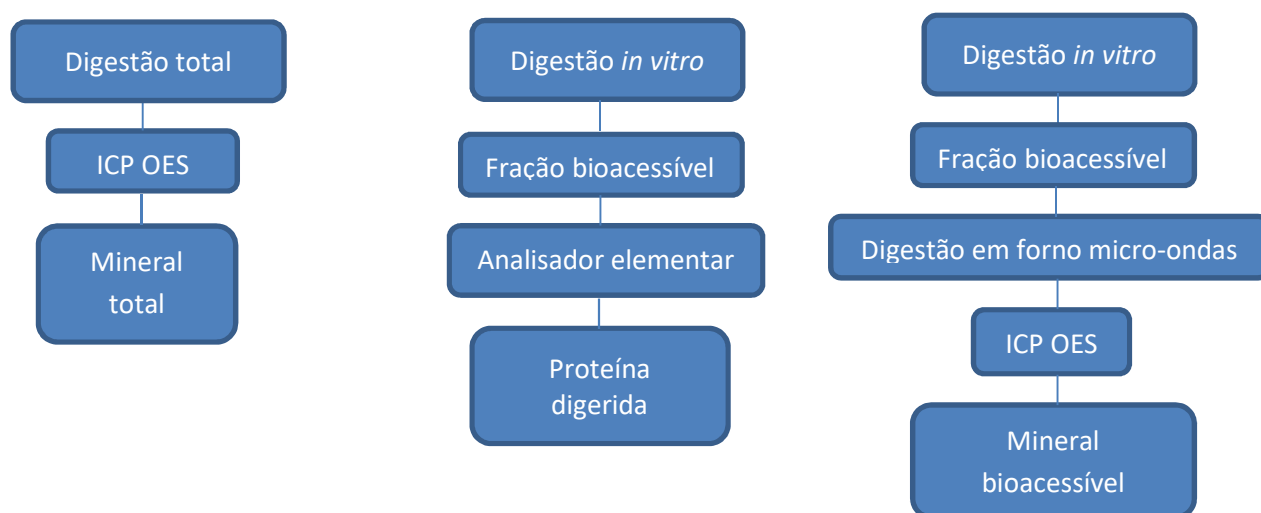


Figura 3. Fluxograma das etapas para quantificação de mineral total, proteína digerida e de mineral bioacessível.

As soluções foram previamente preparadas. Utilizou-se 0,18g de pepsina em 10 mL de HCL 0,1 mol L⁻¹ para a solução gástrica e 0,24g de pancreatina com 1,5g de sais biliares em 100 mL de NaHOC3 para a solução intestinal. A amostra liofilizada foi pesada em um frasco de polipropileno de 50 mL, e 9,5 mL de água ultrapura foi adicionada. Após 15 minutos, o pH da mistura foi ajustado para 2,0 utilizando uma solução de HCl 6,0 mol L⁻¹ ; e 200 µL do fluido gástrico simulado (SGF) foi adicionado. A amostra foi incubada em banho termostático a 200 rpm a 37°C por 2 h e em seguida colocadas em banho de gelo por 15 min, para interromper a atividade enzimática. Foi adicionado 3 mL de HCl 6 mol L⁻¹ para elevar o pH para 7 e acrescentado na amostra 150 µL de solução gástrica. Em seguida as amostras foram novamente para o banho termostático a 200 rpm a 37°C por 2 h. Após este período as amostras foram transferidas para banho de gelo por 15 min para interromper a atividade enzimática e centrifugadas por 10 min a 360 rpm. O sobrenadante foi considerado a fração bioacessível e o precipitado, a fração residual. A solução foi mantida a -20 °C até posterior decomposição ácida assistida por radiação micro-ondas e quantificação dos analitos por ICP OES para a determinação da bioacessibilidade dos analitos em análise. Os ensaios foram realizados em triplicatas.

4.4.6 Determinação dos teores totais

Para o procedimento de digestão, 200 mg de amostra de carne processada pelo método *sous vide* foram pesados diretamente nos frascos de Teflon modificado (PFA, polifluoralcoxi) próprios do forno de micro-ondas. A seguir foi realizada a digestão, de acordo com programação previamente definida pelo laboratório onde as análises foram realizadas. Foram adicionados às amostras 6,0 mL de HNO₃ (7,0 mol L⁻¹) e 2,0 mL de H₂O₂ (30% m v⁻¹) e os frascos

transferidos para o rotor do equipamento e iniciada a digestão, que consistiu no seguinte programa de aquecimento: (1) 20 min até atingir 180°C e (2) 20 min a 180°C. Um sensor infravermelho controlava a temperatura em um dos frascos. Frascos com as mesmas soluções, porém sem a amostra foram digeridos, representando o branco da digestão. Todo o experimento foi realizado em triplicata. Após resfriar, as soluções digeridas foram transferidas para frascos volumétricos, diluídas para 30,0 mL com água e conduzidas à determinação de Ca, Fe, Mg, P e Zn por ICP-OES.

4.4.7 Digestão da fração bioacessível

Uma alíquota de 4 mL da fração bioacessível foi submetida a decomposição ácida em forno micro-ondas juntamente com 4 mL de HNO₃ (7,0 mol L⁻¹) e 2,0 mL de H₂O₂ (30% m v⁻¹). O programa de aquecimento utilizado foi mesmo descrito anteriormente. Após resfriamento, os digeridos foram transferidos a frascos volumétricos e o volume aferido a 30 mL com água, sendo a seguir determinados os analitos Ca, Fe, Mg, P e Zn por ICP-OES. Brancos analíticos foram preparados com o emprego do branco resultante da decomposição gastrointestinal. A digestão da fração residual foi realizada da mesma forma porém os digeridos foram aferidos a 30 mL com água.

4.4.8 Digestão da fração residual

A digestão da fração residual foi mesmo utilizado no item 4.4.6, porém os digeridos foram aferidos a 30 mL com água ultrapura.

4.4.9 Balanço de massa

A veracidade do procedimento de bioacessibilidade foi avaliada através do estudo de balanço de massa, comparando-se a soma das frações bioacessível e residual e o teor total de cada elemento.

$$\% \text{ BAIMASSA} = \frac{(\text{F})_{\text{bio}} + (\text{F})_{\text{res}}}{(\text{F})_{\text{total}}} \times 100$$

4.5 Bioacessibilidade de minerais

O percentual bioacessível foi calculado a partir da diferença entre a quantidade total e a quantidade absorvida após a digestão *in vitro* de cada mineral de acordo com a fórmula a seguir:

$$\% \text{BIO} = \frac{\text{MBio} * 100}{\text{MTotal}}$$

%BIO= porcentagem bioacessível

MBio= mineral bioacessível

MTotal= mineral total

100= 100% (para expressar o resultado em porcentagem)

4.6 Digestibilidade proteica

Foi realizada a digestão gastrointestinal *in vitro*. A solução foi mantida a - 20 °C. A solução foi transferida a frascos volumétricos e o volume aferido a 30 mL com água ultrapura. A quantidade de nitrogênio de cada amostra foi obtida através de um analisador elementar da marca AGILENT modelo 7800. Foi realizado o cálculo de proteína digerida utilizando o fator empírico 6,25 para transformar o número de gramas de nitrogênio obtido em número de gramas de proteína e em seguida foi calculada a porcentagem de digestibilidade proteica (DP) utilizando-se a fórmula a seguir:

$$\% \text{ DP} = \frac{\text{PB dig} * 100}{\text{PB total}}$$

%DP= porcentagem de digestibilidade proteica

PB dig = proteína bruta digerida

PB total = proteína bruta total

100= 100% (para expressar o resultado em porcentagem)

4.7 Análise sensorial

Este experimento foi aprovado em Comitê de Ética de Pesquisa em Seres Humanos (protocolo CAAE: 70026523.2.0000.5380). Os participantes

assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) antes de cada sessão (Anexo 1).

Foram recrutados 12 colaboradores da Embrapa Pecuária Sudeste, incluindo pessoas que já pertenciam ao painel treinado do local e outras pessoas que gostariam de participar considerando os seguintes critérios: interesse, disponibilidade de tempo, saúde e habilidades de expressão (capacidade de expressar os atributos) por meio de questionário (Anexo 2). O treinamento do painel sensorial foi realizado em 2 sessões com a explicação dos atributos relacionadas à carne aos colaboradores e a apresentação das referências de cada atributo e seus respectivos extremos (Quadro 1). Em seguida os provadores participaram de uma análise sensorial para testar a ficha a ser utilizada (Figura 4) com amostras do experimento com uma amostra de carne, processada pelo método *sous vide* por 65°C durante 210 minutos.

Quadro 1. Terminologia descritiva de carne bovina incluindo definições de termos descritivos e suas respectivas referências.

ATRIBUTO		DEFINIÇÃO	EXTREMOS/REFERÊNCIAS
AROMA	Aroma característico de carne bovina	Intensidade de aroma característico de carne bovina assada	Suave: bife de coxão duro embebido em água durante 4 horas, assado a 75°C Forte: bife de coxão duro assado a 75°C
	Aroma de Sangue	Intensidade de aroma de sangue	Nenhum: nada Muito: filé mignon mal passado, assado a 65°C
SABOR	Sabor característico de carne bovina	Intensidade de sabor característico de carne assada	Suave: bife de coxão duro embebido em água durante 4 horas, assado a 75°C Forte: bife de coxão duro assado a 75°C
	Sabor ácido	Sabor azedo	Nenhum: nada Muito: bife de contra-filé embebido com iogurte desnatado
	Sabor metálico	Sabor de metal/ferro percebido ao se mastigar a amostra	Nenhum: nada Muito: contra filé embebido em solução 1g/L de sulfato ferroso durante 2 horas
TEXTURA	Maciez	Propriedade de textura que oferece pouca resistência à mastigação, variando de duro até macio	Dura: músculo assado a 75°C Macia: filé mignon assado a 75°C

	Suculência	Umidade dada pela presença de sucos na carne	Pouca: contra filé bem passado, assado a 80°C Muita: file mignon mal passado a 65°C
--	------------	--	--

Para a análise sensorial as amostras congeladas após a cocção pelo *sous vide*, foram previamente descongeladas sob refrigeração a 5°C por 24 horas. Em seguida as amostras em bifes foram assadas em forno até atingir a temperatura interna de 55°C, cortadas em cubos com 2,5 cm de aresta e envolvidas em papel alumínio para serem acondicionadas em estufa a 65°C até o momento da entrega da amostra durante a análise sensorial. As amostras foram servidas aos provadores, em cabines iluminadas com luz branca, em recipientes descartáveis codificados com números de 3 dígitos, para serem avaliadas em relação aos atributos definidos para aroma (aroma característico de carne bovina e aroma de sangue), sabor (sabor característico de carne bovina, sabor ácido, sabor metálico) e textura (maciez e suculência), utilizado a ficha apresentada na Figura 4. As amostras das 5 combinações do experimento em duas repetições foram apresentadas para os provadores em ordem aleatória de forma monádica junto das fichas de avaliação elaboradas com termos descritivos e escala não estruturada de 9 cm, água e pão para os provadores ingerirem entre uma amostra e outra, a fim de remover o sabor residual das amostras.

Nome: _____		Data: ____/____/____	
Você está recebendo uma amostra codificada de carne bovina. Por favor, prove a amostra e avalie a intensidade percebida para cada atributo listado abaixo, marcando com um traço vertical na escala correspondente.			
Aroma			
Característico de carne bovina		suave _____ forte	
Sangue		nenhum _____ muito	
Sabor			
Característico de carne bovina		suave _____ forte	
Ácido		nenhum _____ muito	
Metálico		nenhum _____ muito	

Textura	
Maciez	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: -5px; top: -5px; right: -5px; bottom: -5px; border: 1px solid black;"></div> <div style="position: absolute; left: 0; top: 0; right: 0; bottom: 0; border: 1px solid black;"></div> </div> <div style="margin: 0 10px;">dura</div> <div style="flex: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: -5px; top: -5px; right: -5px; bottom: -5px; border: 1px solid black;"></div> <div style="position: absolute; left: 0; top: 0; right: 0; bottom: 0; border: 1px solid black;"></div> </div> <div style="margin: 0 10px;">macia</div> </div>
Suculência	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: -5px; top: -5px; right: -5px; bottom: -5px; border: 1px solid black;"></div> <div style="position: absolute; left: 0; top: 0; right: 0; bottom: 0; border: 1px solid black;"></div> </div> <div style="margin: 0 10px;">pouca</div> <div style="flex: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: -5px; top: -5px; right: -5px; bottom: -5px; border: 1px solid black;"></div> <div style="position: absolute; left: 0; top: 0; right: 0; bottom: 0; border: 1px solid black;"></div> </div> <div style="margin: 0 10px;">muita</div> </div>
Observações: _____	

Figura 4. Ficha de avaliação sensorial de amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide*.

4.8 Análise estatística

O efeito das variáveis dos tratamentos (tempo e temperatura) nos dados (perda por cocção, perfil de textura e força de cisalhamento, digestibilidade proteica, bioacessibilidade de minerais e análise sensorial) foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de significância de 5%.

O programa Statistical Software for Excel (XLSTAT) foi utilizado para todas as análises estatísticas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises físico químicas

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos para os parâmetros perda por cocção (PPC), força de cisalhamento (FC) e perfil de textura (dureza e elasticidade).

Tabela 2. Resultados obtidos para o parâmetro perda por cocção (PPC), força de cisalhamento (FC) e perfil de textura (dureza e elasticidade) para bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide*. São Carlos, SP, 2024.

Variável	Tratamentos					Valor P
	60°C/60min	60°C/360min	65°C/210min	70°C/360min	70°C/360min	
PPC (%)	27,83±1,33c	27,99±1,33c	36,93±1,05b	36,36±1,33b	42,16±1,33a	<0,0001
FC (kgf)	3,19±0,18b	3,54±0,18b	4,38±0,12a	4,35±0,18a	4,39±0,18a	<0,0001
Dureza (kgf)	3,53±0,23c	3,86±0,23c	5,25±0,16b	5,81±0,23ab	6,33±0,23a	<0,0001
Elasticidade(kgf)	3,71±0,22c	3,89±0,22c	5,16±0,16b	5,91±0,22ab	6,21±0,22a	<0,0001

Médias seguidas de letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística (p<0,05).

Os valores de PPC das combinações à menor temperatura, em ambos os tempos estudados (60°C/60min e 60°C/360min), com valores de 27,83% e 27,99% respectivamente, foram menores ($p<0.05$) que os valores dos demais tratamentos. Esses resultados são similares aos valores encontrados por Moraes (2017), Park (2020), ISMAIL (2019), Christensen (2013) e Roldán (2013), onde em temperaturas mais baixas há favorecimento da retenção de água, o que é importante visto que as perdas estão relacionadas com uma carne mais seca, menor maciez e menor valor nutricional (MORAES, 2017). A PPC na combinação de maior temperatura com maior tempo de cocção (70°C/360min), com valor de 42,16% foi significativamente maior ($p<0.05$) do que para todos os outros tratamentos.

A estrutura muscular da carne bovina e sua estabilidade são atribuídas à natureza fibrosa de suas principais proteínas miofibrilares (actina e miosina) e do tecido conjuntivo (ZIELBAUER et al., 2016). A perda de água ocorre por meio da evaporação devido ao aumento da temperatura durante a cocção e redução da pressão, e em seguida, pelo encolhimento das proteínas miofibrilares, que se inicia a 40°C e progride conforme a temperatura aumenta, resultando em uma diminuição no volume interfibrilar, o que, por sua vez, reduz a capacidade da miofibrila de reter água pela capilaridade, sendo a mesma perdida durante o processo de cocção (LIGHT, 1985). Entre 56°C e 62°C ocorre contração do tecido conjuntivo perimisial ocasionando compressão dos feixes de fibras musculares estimulando a liberação de água da carne (BAILEY, 1977; LAWRIE, 1980). Estas ocorrências explicam as menores perdas de cocção em razão do sistema *sous vide* possibilitar o cozimento em temperaturas mais baixas, com a utilização de embalagem a vácuo que reduz perda de água por evaporação quando comparados a métodos convencionais, esse método de processamento pode ser uma ótima opção para se obter carnes com menores perdas por cocção (PARK, 2020).

Os valores de FC das combinações à menor temperatura, em ambos os tempos estudados (60°C/60min e 60°C/360min), com valores de 3,19kgf e 3,54 kgf respectivamente, foram menores ($p<0.05$) que os valores dos demais tratamentos. Resultado semelhante ao de Karki (2022) que utilizou as mesmas temperaturas (60°C, 65°C e 70°C) em costelas bovinas, mas por tempos de cozimentos mais longos (12, 24 e 36h), e encontrou a menor força de cisalhamento também na menor temperatura utilizada para a cocção *sous vide* (60°C). Os resultados encontrados indicam que o aumento da temperatura ocasiona a diminuição da maciez dos cortes estudados como também observado em outros estudos (PEMATILLEKE et al., 2021; SUN et al, 2017; BATH, 2020; NAQVI, 2021).

Ao compararmos os valores obtidos, com a faixa aceitável de maciez (inferior a 5,0 kgf) descrita na literatura, os bifes de coxão duro submetidos à cocção pelo método *sous vide* deste experimento apresentaram resultados abaixo

deste valor de referência em todas as combinações de tempo e temperatura estudadas (BIANCHINI, 2007).

Com o aquecimento da carne, as fibras musculares encolhem (a partir de 35 a 40°C) tanto no sentido transversal como longitudinal, sendo que as proteínas sarcoplasmáticas se juntam (a partir de 40°C) resultando em uma consistência gelatinosa e os tecidos conjuntivos se contraem, (CORBIN, 2012). A maciez da carne aumenta entre 60 a 70°C, devido à solubilização do colágeno e à redução da adesão entre as fibras que ocorrem nessa faixa de temperatura. A 60°C as fibras de colágeno começam a encolher e ao ultrapassar 65°C, se contraem com maior intensidade, desarranjando a estrutura da hélice tripla que transforma as fibras de colágeno em espirais solúveis em água, aumentando a maciez da carne (KARKI, 2022). Ao promover o cozimento da carne acima de 65°C, a maciez é reduzida, uma vez que acima desta temperatura a elasticidade passa a atuar de forma adversa (TORNBERG, 2005). Isso explica os resultados deste estudo, que apresentou os menores valores de força de cisalhamento na menor temperatura estudada (60°C).

Na análise de perfil de textura os valores para o parâmetro de dureza, as combinações à menor temperatura, em ambos os tempos estudados (60°C/60min e 60°C/360min), com valores de 3,53kgf e 3,86kgf respectivamente, foram menores ($p<0.05$) que os valores dos demais tratamentos. Esses resultados foram semelhantes não só aos resultados encontrados na perda por cocção e na força de cisalhamento, como também para o parâmetro de elasticidade em que as combinações à menor temperatura em ambos os tempos estudados (60°C/60min e 60°C/360min) com valores de 3,71kgf e 3,89kgf também foram significativamente menores ($p<0,05$) que os demais tratamentos.

A força de cisalhamento é útil para avaliar a maciez inicial, enquanto o TPA oferece informações adicionais sobre outras importantes propriedades de textura em alimentos. O TPA permite avaliar muitas variáveis, como dureza, elasticidade, coesividade, adesividade, resiliência, fraturabilidade, gomosidade e mastigabilidade, em um ciclo de compressão duplo (DE HUIDOBRO, 2005). Dessa forma, as medidas instrumentais mencionadas fornecem informações que completam a avaliação da textura (BOTINESTEAN, 2021).

A elasticidade (*springiness*) é a medida de quão rápido as fibras deformadas retomam à sua condição inicial após a remoção da força aplicada (KARKI, 2022). Este parâmetro reflete a dureza da amostra na segunda mordida, sendo representada pela força na compressão máxima durante o segundo ciclo da compressão (DE HUIDOBRO, 2005).

5.2 Determinação da digestibilidade de proteínas

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da análise de proteína bruta (PB) e de digestibilidade proteica (DP) para o corte coxão duro processado pelo método *sous vide*.

Tabela 3. Resultados do teor de proteína bruta e digerida em bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide*. São Carlos, SP, 2024.

Temperatura (°C)	Tempo (min)	%N	Proteína Bruta (%PB)	%N bioacessível	Digestibilidade proteica (%DP)
60	60	13,6	85	7,6	60
60	360	14,5	91	8,6	65
70	60	14,9	93	8,8	65
70	360	16,6	104	9,0	61
65	210	14,9	93	9,4	68

Segundo a literatura a digestibilidade proteica de carne bovina é superior a 94% (COZZOLINO, 2015). Neste estudo foram encontrados valores de 60 a 68% de digestibilidade proteica (DP). As principais variações numéricas de proteína bruta (PB) ocorreram entre a amostra cozida com a combinação de 65°C com 210 min apresentando 68% de digestibilidade proteica e a amostra cozida com a combinação de menor temperatura com o menor tempo (60°C/60min) com 60% de digestibilidade proteica.

Os resultados encontrados foram menores numericamente do que os resultados encontrados por Bath et al. (2020) de 80,5% a 90,5% em carne bovina cozida por *sous vide* a 80 e 60°C, por Menezes et al (2018) em carne bovina submetida à métodos de cozimento convencionais (cocção em água, grelhado, cocção em micro-ondas e forno convencional) que apresentaram 71% a 89% de digestibilidade proteica e por Pires et al (2006) em carne bovina sem nenhum tipo de processamento (92,4%).

O cozimento por longo período de tempo induz a proteína a ter menos susceptibilidade à digestão da pepsina além de poder induzir a oxidação e agregação das proteínas interferindo na susceptibilidade proteolítica (LI et al., 2017; MARTINEZ et al., 2018; SANTÉ-LHOUTELLIER, 2008).

5.3 Bioacessibilidade de minerais

Os limites de quantificação (LOQ) para os analitos Ca, Fe, Mg, P, e Zn calculados de acordo a Thompson (2012), considerando a concentração equivalente ao sinal de fundo (BEC), a relação sinal-ruído (SBR) e o desvio padrão relativo (RSD) de 10 medidas da solução do branco apresentaram os seguintes resultados: Mg 0,02 mg kg⁻¹; P 0,04 mg kg⁻¹; Fe 0,10 mg kg⁻¹; Zn 0,03 mg kg⁻¹ e Ca 0,13 mg kg⁻¹.

O balanço de massa resultou em 95% para Ca, 89% para Fe, 91% para Mg, 88%, para P e 102% para Zn.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores da quantidade total e da fração de massa dos minerais cálcio, ferro, magnésio, fósforo e zinco e da sua porcentagem bioacessível das amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide* em diferentes combinações de tempo e temperatura.

Tabela 4. Quantidade total e bioacessível de minerais e seus respectivos percentuais bioacessíveis após digestibilidade *in vitro* de amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide*. São Carlos, SP, 2024.

	Mineral	Tratamentos					Valor P
		60°C/60min	60°C/360min	65°C/210min	70°C/60min	70°C/360min	
Ca	Total (mg/100g)	5,3±0,1a	5,2±0,1a	5,2±0,1a	5,7±0,1a	5,3±0,1a	0,379
	Bioacessível (mg/100g)	3,0±0,2a	2,3±0,2ab	1,5±1,0bc	1,3±0,2c	1,0±0,2c	<0,0001
	% bioacessível	56a	43a	28b	22b	18b	<0,0001
Fe	Total (mg/100g)	1,2±0,1a	1,4±0,1a	1,3±0,0a	1,4±0,1a	1,5±0,1a	0,146
	Bioacessível (mg/100g)	0,8±0,20a	0,2±0,20a	0,3±0,10a	0,3±0,20a	0,3±0,20a	0,295
	% Bioacessível	18a	13a	19a	23a	22a	0,515
Mg	Total (mg/100g)	25,2±0,1a	25,9±0,1a	24,0±0,4a	26,3±0,1a	24,2±0,1a	0,185
	Bioacessível (mg/100g)	12,1±0,7a	12,7±0,7a	10,5±0,4a	9,9±0,7a	10,1±0,7a	0,042
	% Bioacessível	48a	50a	44a	38a	45a	0,055
P	Total (mg/100g)	227,6±6,5a	235,5±1,5a	223,6±3,2a	246,2±6,5a	229,0±6,5a	0,431
	Bioacessível (mg/100g)	88,2±4,4ab	93,9±4,4a	76,9±2,2ab	73,9±4,4b	74,9±4,4b	0,008
	% Bioacessível	39ab	40a	35b	30d	33cd	0,000

Zn	Total (mg/100g)	5,1±0,2c	6,6±0,2ab	6,2±0,1b	6,0±0,3bc	7,4±0,2a	0,000
	Bioacessível (mg/100g)	4,0±0,2a	4,0±0,2a	4,1±0,1a	4,3±0,2a	4,4±0,2a	0,957
	% Bioacessível	56a	44a	28b	22b	18b	0,009

Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna indicam diferença estatística ($p < 0,05$).

A quantidade diária recomendada de cálcio é de 1000mg (ANVISA, 2005). Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) há 4mg em 100g de coxão duro cozido (PHILLIPI, 2018). Neste estudo foi encontrado valores correspondentes a esse parâmetro, de 5,2 mg a 5,7 mg/100g de cálcio total e não apresentou-se diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$). Em relação a teor bioacessível de cálcio, foi encontrado maior valor ($p < 0,05$), com 3,0 mg/100g, no processamento em que utilizou-se a menor temperatura (60°C) com o menor tempo (60min) do que nos tratamentos com as demais temperaturas (65°C/210min, 70°C/60min e 70°C/360 min). Já os menores valores de cálcio ($p < 0,05$) foram encontrados no processamento em que utilizou-se a maior temperatura (70°C) com o menor tempo (60min) apresentando 1,3 mg/100g e o maior tempo (360min) apresentando 1,0 mg/100g de Ca. Há poucos estudos sobre a bioacessibilidade de cálcio em carnes, visto que as principais fontes deste mineral são os laticínios. Os resultados encontrados foram semelhantes ao de Menezes et al., (2018) onde foi obtido um teor bioacessível de cálcio de 2,3 mg para carne bovina.

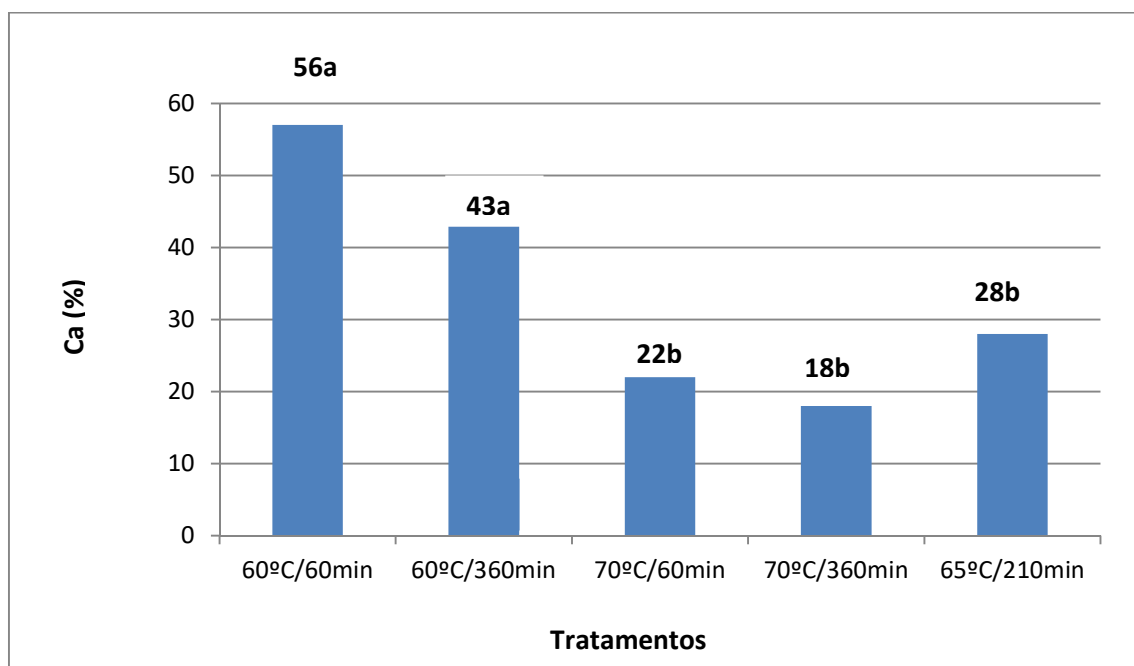


Figura 5. Percentuais bioacessíveis de cálcio após digestibilidade *in vitro* de amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide*. São Carlos, SP, 2024.

O cálcio apresentou um percentual bioacessível (56%) significativamente maior ($p<0,05$) na amostra processada com o menor tempo e a menor temperatura (60°C/60min) que os tratamentos utilizando temperaturas mais elevadas (65°C e 70°C) conforme apresentado na Figura 5.

A quantidade diária recomendada de ferro é de 14mg (ANVISA, 2005). Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), há 1,7mg de Fe em 100g de coxão duro cozido (PHILLIP, 2018). A quantidade total de ferro encontrada foi de 1,2 mg a 1,5 mg/100g e não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos ($p<0,05$). Os teores encontrados de Fe bioacessível ficaram entre 0,2 e 0,8 mg/100g. Resultados inferiores aos encontrados em produtos processados de carne bovina com 1,5mg/100g (REBELATO et al. 2022). Não houve diferença significativa para o teor bioacessível de Fe entre os tratamentos ($p<0,05$), bem como não houve diferença entre o percentual bioacessível que ficou entre 18 a 23% (Figura 6). Resultados semelhantes ao de Moura e Canniatti-Brazaca (2006) e Menezes et al. (2018) que encontraram 24% e 20% de digestibilidade em carne bovina respectivamente. Segundo Schricker e Miller (1983) em temperaturas superiores a 85 °C ocorre a clivagem oxidativa do anel de porfirina que causa a liberação do complexo heme do ferro. Como o método *sous vide* permite um cozimento em baixas temperaturas (65°C), a clivagem do anel porfirínico provavelmente não é favorecida, mesmo em longos período de aquecimento o que explicaria os valores baixos de ferro bioacessível.

A quantidade diária recomendada de magnésio é de 260mg (ANVISA, 2005). Segundo a Tabela de Composição de Alimentos (TACO) há 14mg de magnésio em 100g de coxão duro cozido (PHILLIPPI, 2018). Neste estudo foram encontrados valores totais superiores a este parâmetro de magnésio de 24,0 mg a 26,3mg/100g. O processo de cocção afeta a quantidade de magnésio devido à lixiviação de minerais através da água, o que explicaria os valores deste mineral ser maior no processamento *sous vide* em que a embalagem a vácuo do impede a perda de nutrientes do alimento (DE PAULA CASEMIRO, ZAMBIAZI e VENDRAMINI, 2022; MENEZES, 2010).

Os valores de teor bioacessível de magnésio ficaram entre 9,9 mg e 12,7 mg/100g. A quantidade de magnésio não apresentou diferença significativa entre os tratamentos ($p<0,05$) para a quantidade total, para o teor bioacessível, e para os percentuais bioacessíveis (Figura 7).

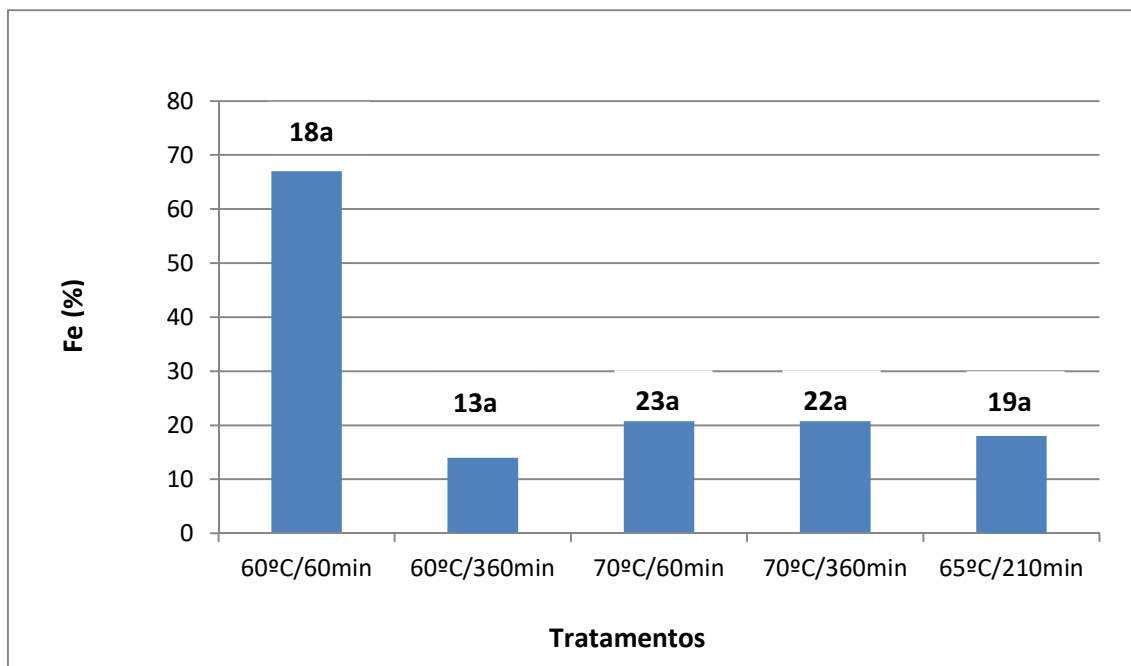


Figura 6. Percentuais de teores bioacessíveis de ferro após digestibilidade *in vitro* de amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide*. São Carlos, SP, 2024.

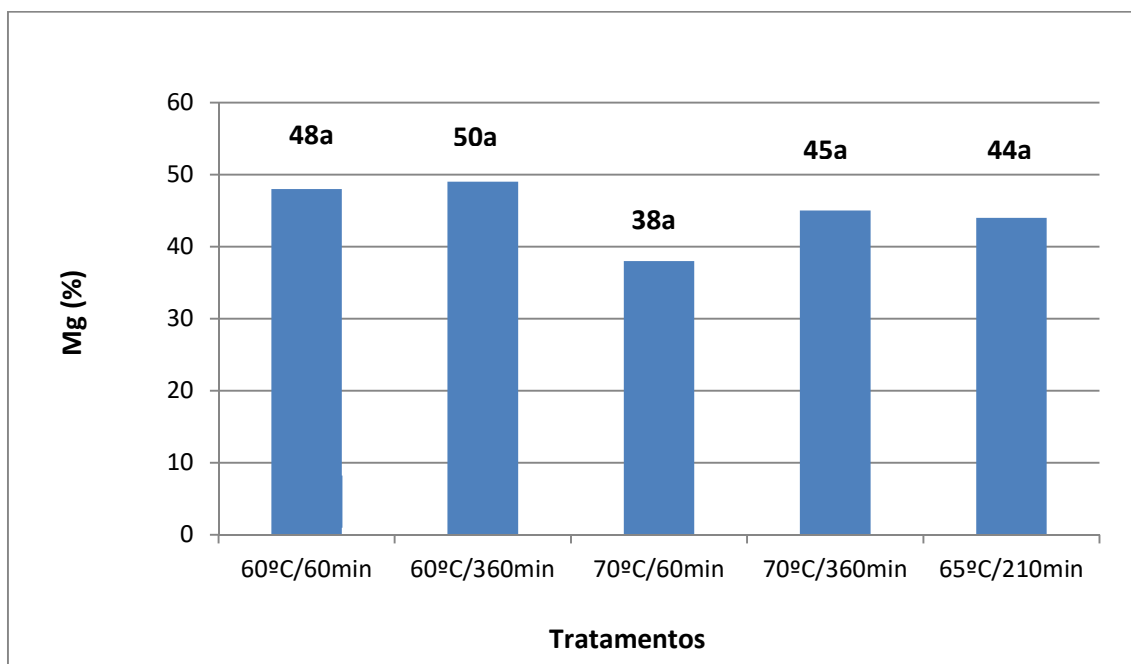


Figura 7. Percentuais bioacessíveis de magnésio após digestibilidade *in vitro* em amostras de bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide*. São Carlos, SP, 2024.

A quantidade diária recomendada de fósforo é de 700 mg (ANVISA, 2005). O valor de fósforo para 100g de coxão duro cozido é de 189mg

(PHILLIPI). Neste estudo os valores totais de fósforo foram superiores a este parâmetro e ficaram entre 223,6 mg e 246,2 mg/100g, sem diferença significativa $p(<0,05)$ entre os tratamentos. Os valores encontrados no coxão duro submetido ao processamento *sous vide* corresponde a aproximadamente 30% da recomendação de fósforo diária.

O processamento em que utilizou-se a menor temperatura (60°C) com o maior tempo (360min) apresentou maior valor de teor bioacessível de P (93,9) do que tratamentos à temperatura de 70°C a 60min e 360min ($p<0,05$).

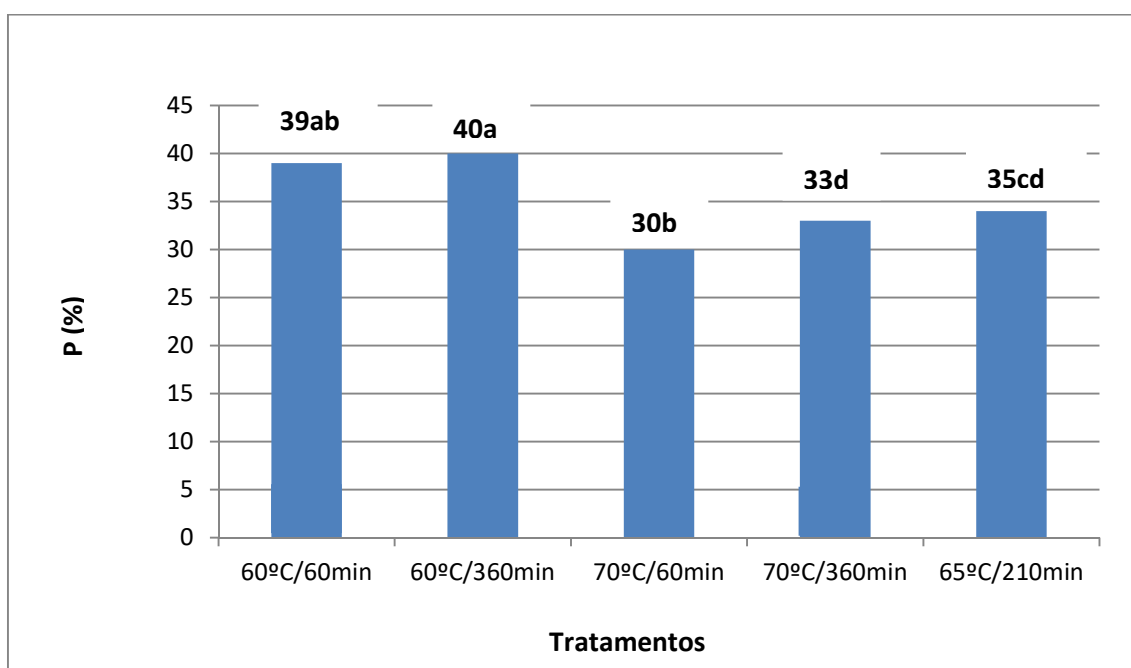


Figura 8. Percentuais bioacessíveis de fósforo após digestibilidade *in vitro* em bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide*. São Carlos, SP, 2024.

O percentual bioacessível de fósforo das amostras processada com a menor temperatura (60°C) e com o maior tempo (360min) foi maior ($p<0,05$) do que nas amostras processadas à 65°C/210min, 70°C/60min e 70°C/360min, com valor de 40% (Figura 8).

A quantidade diária recomendada de zinco é de 7 mg (ANVISA, 2005). A quantidade de zinco total foi maior ($p<0,05$) no processamento com a maior temperatura (70°C) e maior tempo de cocção (360min) com 7,4 mg, do que os tratamentos à 60°C/60min, 65°C/210min e 70°C/60min. Este valor é superior ao descrito na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) para 100g de coxão duro cozido (5mg) (PHILLIPI, 2018). O menor valor total encontrado foi de 5,1 mg/100g no processamento à 60°C/60min. Na maioria dos casos o cozimento acarreta perda de minerais, porém em certos minerais ele favorece o micronutriente, em razão de promover o aumento da solubilidade que os torna

mais disponíveis para absorção, o que foi observado no zinco por KAWASHIMA (1997).

Os teores bioacessíveis de zinco encontrados neste estudos ficaram entre 4,0 mg e 3,4 mg/100g. Estes valores são superiores aos encontrados por Menezes et al. (2018) em amostras cozidas por métodos convencionais de 1,73mg. Não houve diferença significativa para o teor bioacessível entre os tratamentos estudados para este mineral ($p<0,05$).

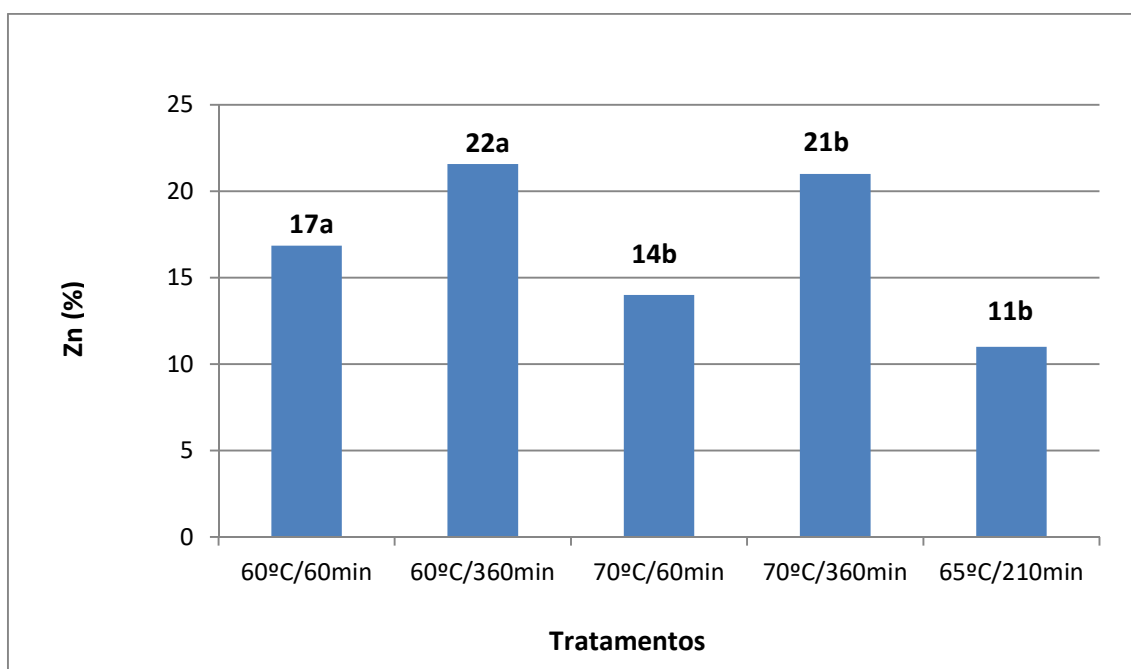


Figura 9. Percentuais bioacessíveis de zinco bioacessíveis após digestibilidade *in vitro* em bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide*. São Carlos, SP, 2024.

As amostras processadas com o maior tempo (360min) de cozimento apresentaram os maiores percentuais bioacessíveis de zinco com 22% e 21% na menor (60°C) e na maior (70°C) temperatura respectivamente (Figura 9).

5.6 Análise sensorial

Os resultados obtidos na análise sensorial descritiva estão na Tabela 5:

Tabela 5. Médias de notas sensoriais para bifes de coxão duro submetidos ao processamento *sous vide*, por atributo para diferentes tempos e temperaturas de cozimento. São Carlos, SP, 2024.

Variável	Tratamentos					Valor P
	60°C/60min	60°C/360min	65°C/210min	70°C/60min	70°C/360min	
Aroma característico de carne bovina	5,42±0,37a	4,64±0,46a	5,57±0,41a	5,04±0,41a	5,52±0,41a	0,500
Aroma de sangue	3,93±0,36a	2,21±0,48ab	1,46±0,43b	1,87±0,43b	1,48±0,43b	0,000
Sabor característico de carne bovina	4,37±0,41a	4,35±0,50a	4,91±0,48a	4,92±0,48 a	4,76± 0,48a	0,814
Sabor ácido	1,75±0,32a	1,81±0,39a	1,41±0,35a	1,00±0,35a	1,28±0,35a	0,470
Sabor metálico	2,12±0,38a	2,80±0,47a	1,77±0,42a	1,54±0,42a	1,63±0,42a	0,272
Maciez	4,25±0,39ab	4,86±0,48ab	3,54±0,45b	3,28±0,43b	5,54±0,44a	0,002
Suculência	5,33±0,29a	3,55±0,36b	1,52±0,32c	1,95±0,32c	1,44±0,32c	<0,0001

Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna indicam diferença estatística ($p<0,05$) pelo teste de Tukey.

Os atributos aroma característico de carne bovina, sabor característico de carne bovina, sabor ácido e sabor metálico não apresentaram diferença significativa ($p<0,05$) entre os tratamentos estudados.

Para o atributo “aroma de sangue”, o maior valor encontrado (3,9) foi para o tratamento com 60°C/60min se comparado com os tratamentos com maiores temperaturas 65°C/210min, 70°C/60min e 70°C/360min enquanto que o tratamento de 60°C/360min não apresentou diferença significativa entre os demais tratamentos p ($<0,05$).

Para o atributo “maciez” o maior valor encontrado foi para o tratamento 70°C/360min (5,5) se comparado aos tratamentos a esta mesma temperatura por menor tempo (70°C/60min) e 65°C/210min. Este tratamento não apresentou diferença significativa das combinações em que foi utilizada a menor temperatura (60°C) em ambos os tempos (60min e 360 min). Aquecimentos mais longos diminuem o tecido conjuntivo por conta da desnaturação das proteínas ou solubilização de colágeno e essas modificações estruturais das proteínas miofibrilares e do tecido conjuntivo estão diretamente relacionadas com a maciez da carne (HERNANDES, 2018).

O atributo “suculência” a combinação de 60°C/60min apresentou maior valor (5,33) e diferiu dos demais tratamentos e as combinações com maiores temperaturas (65°C e 70°C) apresentaram os menores valores e não apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$). A suculência é afetada pela capacidade de retenção de água do músculo que está associada ao tempo e temperatura utilizados no processo de cocção da carne (TONBERG, 2005; HUFF-LONERGAN; LONERGAN, 2005). O resultado na análise sensorial descritiva para “suculência” foi compatível com os resultados encontrados na análise de PPC e em que a amostra processada com essa combinação de tempo e temperatura apresentou menor perda por cocção. O aumento da temperatura de 60°C para 70°C ocasiona contração do tecido conjuntivo e consequentemente a compressão dos feixes de fibras musculares que resulta na eliminação de líquido do músculo (PURSLOW et al., 2016).

O resultado de suculência mostrou compatibilidade com os resultados encontrados tanto na análise de perfil de textura tanto para força de cisalhamento quanto na análise de perfil de textura onde foram encontrados os menores valores para ambos os parâmetros nesta mesma condição de cocção. O mesmo ocorreu com Naqvi et al. (2021) e Pematilleke et al. (2021), que obtiveram resultados da análise sensorial descritiva realizada por provadores treinados compatíveis com resultados das análises físicas (força de cisalhamento e perfil de textura), para a maciez e a suculência de carne submetida ao cozimento por *sous vide*. A compatibilidade de resultados da análise sensorial descritiva com as análises físicas atestam que as medições físicas são capazes de predizer aspectos da qualidade do produto estudado Naqvi et al. (2021).

6 CONCLUSÕES

Independente do tempo de cocção utilizado (60min ou 360min) a menor temperatura de 60°C se mostrou uma boa condição de cocção *sous vide* para todas as análises físicas (menor perda por cocção, menor força de cisalhamento, menor dureza e menor elasticidade), para obtenção de maior teor bioacessível (cálcio e fósforo) e percentual bioacessível dos minerais (cálcio e fósforo e zinco) e para obtenção de uma carne com maior maciez e suculência segundo a análise sensorial descritiva.

As temperaturas e tempos estudados para processamento de coxão duro pelo método *sous vide* apresentaram digestibilidade proteica inferiores a 90%, sendo necessários mais estudos para averiguar o efeito deste método e das condições estudadas na alteração da digestibilidade proteica no corte utilizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Análise sensorial de alimentos e bebidas – NBR 12806**. 1993. 8p. Disponível em: <https://idoc.pub/documents/nbr-12806-analise-sensorial-dos-alimentos-e-bebidas-en5ko1yz6eno>. Acesso em: 03 de mar. 2023.

ALVES, Dorismar Davi et al. Maciez da carne bovina. *Ciência Animal*. v. 6, n. 3, p. 135-149, nov., 2005.

ALAHAKOON, A. U. et al. Optimisation of sous vide processing parameters for pulsed electric fields treated beef briskets. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 2055-2066, 2018.

ALMEIDA, Renata Duarte et al. **Tecnologia para produção industrial de umbuzada de corte**. 2016. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

ALMEIDA, Jacqueline Antunes Martins. **Características físico-químicas e sensoriais da carne ovina submetida a diferentes métodos de cocção**. 2020. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2020.

ANDRÉ, Hercilio Paulino et al. Indicadores de insegurança alimentar e nutricional associados à anemia ferropriva em crianças brasileiras: uma revisão sistemática. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, n. 4, p. 1159-1167, 2018.

ANVISA. Agência Nacional De Vigilância Sanitária (Brasil). Resolução - RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004. **Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação**. Diário Oficial da União, 2004.

ANVISA. Agência Nacional De Vigilância Sanitária (Brasil). Resolução – RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0269_22_09_2005.html. Acesso em 17 de janeiro de 2024.

ANZFEA - Safe Food Australia. **A guide to the food safety standards**. 2ª Edição, 2001.

ARAN, Necla. The effect of calcium and sodium lactates on growth from spores of *Bacillus cereus* and *Clostridium perfringens* in a ‘sous-vide’beef goulash under temperature abuse. **International journal of food microbiology**, v. 63, n. 1-2, p. 117-123, 2001.

ARRUDA, Henrique Chagas. **Aspectos qualitativos da carne bovina e principais processos de maturação: a seco e a vácuo**. 2021. 36 f. Monografia (Conclusão de Curso em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

BACCH, Mirian Rumenos Piedade; SANT, Geraldo. Demanda de carne bovina no mercado brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 30, n. 1, p. 83-96, 2020.

BAIERLE, Marília et al. Possíveis efeitos do cobre sanguíneo sobre parâmetros hematológicos em idosas. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 46, p. 463-470, 2010.

BAILEY, Allen J.; SIMS, Trevor J. Meat tenderness: distribution of molecular species of collagen in bovine muscle. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 28, n. 6, p. 565-570. 1977.

BALDWIN, Douglas E. Sous vide for the home cook. **Paradox Press**, v.1, n. 1, p. 15-30. 2010.

BALDWIN, Douglas E. Sous vide cooking: A review. **International Journal of Gastronomy and Food Science** v 1, n.1 p.15-30. 14, p. 55. 2012.

BARBOSA, Anne Caroline Oliveira. **Aspectos positivos relacionados ao consumo de carne bovina**. 2013. 38 f. Monografia (Conclusão de Curso em Medicina Veterinária da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília. 2013.

BARRAGÁN-HERNÁNDEZ, Wilson. et al. Cómo los consumidores valoran atributos de calidad de carne bovina y su disposición a pago?. **Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 19, n. 1, p. 167-179, 2021.

BATISTA-FILHO, Malaquias.; FERREIRA, Luiz Oscar Cardoso. “Prevenção e tratamento da anemia nutricional ferropriva: novos enfoques e perspectivas”. **Cad. Saúde Pública**, v. 12, p. 411-415, 1996.

BHAT, Zuhair F. et al. et al. Sous-vide cooking improves the quality and in-vitro digestibility of Semitendinosus from culled dairy cows. **Food Research International**, v. 127, p. 108708, 2020.

BIANCHINI, Waldmaryan et al. Efeito do grupo genético sobre as características de carcaça e maciez da carne fresca e maturada de bovinos superprecoces. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 2109-2117, 2007.

BOTINESTEAN, Cristina et al. The influence of the interaction of sous-vide cooking time and papain concentration on tenderness and technological characteristics of meat products. **Meat Science**, v.177, p. 108491. 2021

BUZINARO, Elizabeth F.; ALMEIDA, Renata N.; MAZETO, Gláucia MFS. Biodisponibilidade do cálcio dietético. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 50, p. 852-861, 2006.

COZZOLINO, Silvia Maria Franciscatto; COMINETTI, Cristiane; BORTOLI, Maritsa Carla. Grupos das carnes e ovos. In: **Pirâmide dos alimentos: fundamentos básicos da nutrição**. p. 175-219, 2015.

CHRISTENSEN, Line et al. Relationship between meat toughness and properties of connective tissue from cows and young bulls heat treated at low temperatures for prolonged times. **Meat science**, v. 94, n. 4, p. 787-795. 2013.

CLOSS, Vera Elizabeth et al. Healthy eating index of elderly: description and association with energy, macronutrients and micronutrients intake. **Archivos latinoamericanos de nutrición**, v. 1, n.1, p. 34-41, 2014.

DA SILVA, Francisco LF et al. Comparison between boiling and vacuum cooking (sous-vide) in the bioaccessibility of minerals in bovine liver samples. **Food Research International**, v. 100, p. 566-571, 2017.

DE CARVALHO, Maria do Carmo et al. Zinco, vitamina D e sistema imune: papel na infecção pelo novo coronavírus. **Revista da FAESF**, v. 4, p. 16-27. 2020.

DELGADINHO, Michael Joe Cruz. **Distúrbios do metabolismo do cobre, ferro e zinco**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Fernando Pessoa, Porto. 2014.

DE LIMA JÚNIOR. Dorgival Morais et al. Alguns aspectos qualitativos da carne bovina: uma revisão. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 5, n. 4, p. 351-358, 2011.

DELGADO-ANDRADE, Cristina et al. Maillard reaction products consumption: Magnesium bioavailability and bone mineralization in rats. **Food chemistry**, v. 107, n. 2, p. 631-639, 2008.

DE PAULA CASEMIRO, Ítalo; ZAMBIAZI, Rui Carlos; DO AMARAL VENDRAMINI, Ana Lúcia. Sous-vide: aplicações e qualidade vegetais. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 1, n. 11, p. 73-115, 2020.

DE SALLES, Bruna dos Santos; RODRIGUES, Bruna Lauria; COELHO, Simone Côrtes. A importância do zinco na desnutrição humana e seus benefícios na infância. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, v. 28, n. 3, p. 245-50, 2013.

DE HUIDOBRO, F. Ruiz et al. A comparison between two methods (Warner–Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. **Meat science**, v. 69, n. 3, p. 527-536, 2005.

DÍAZ, Tatiana García et al. Metabolismo do cobre na nutrição animal: revisão. **PubVet**, v. 9, p. 252-286, 2015.

DOS SANTOS QUARESMA, Marcus Vinicius L.; DE OLIVEIRA, Erick P. Proteína para síntese proteica e hipertrofia muscular de adultos: quanto, quando e como consumir?. **Arquivos de Ciências do Esporte**, v. 5, n. 2, p. 24-27. 2017.

DO VALLE, E. R. **Carne bovina: alimento nobre indispensável**. Embrapa gado de corte. n. 41, p. 4. dez., 2000.

DONIEC, Joanna et al. Impact of Hydrothermal Treatments on Nutritional Value and Mineral Bioaccessibility of Brussels Sprouts (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*). **Molecules**, v.27, n. 6, p. 1861. 2022.

EMBRAPA. **Projeções para o Mercado de Carne Bovina do Brasil – 2029/2030**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/55375412/projecoes-para-o-mercado-de-carne-bovina-do-brasil--20292030>. Acesso em: 03 de mar. De 2023.

FAIRBANKS, Virgil F. **Iron in medicine and nutrition**. Philadelphia, In: SHILLS, M.E.; OLSON, J.A.; SHIKE, M. Modern nutrition in health and disease. Lea & Febiger, n.8, p. 185-213, 1994.

FERNANDES, Alexandre Rodrigo Mendes et al. Composição química e perfil de ácidos graxos da carne de bovinos de diferentes condições sexuais recebendo silagem de milho e concentrado ou cana-de-açúcar e concentrado contendo grãos de girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 705-712, 2009.

FDA- Food and Drug Administration. **Fish and fishery products hazards and controls guidance**. Fourth edition November 2011, Appendix 4: Bacterial growth and inactivation. US Food and Drug Administration. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/seafood-guidance-documents-regulatory-information/fish-and-fishery-products-hazards-and-controls>. Acesso em: 6 de mar. 2023.

FORDE, C. G. et al. Oral processing characteristics of solid savoury meal components, and relationship with food composition, sensory attributes and expected satiation. **Appetite**, v. 60, p. 208-219, 2013.

LEE, S. et al. Improvement of meat protein digestibility in infants and the elderly. **Food Chemistry**, v. 356, p. 129707, 2021.

FRANCISQUINI, Júlia d'Almeida et al. Reação de Maillard: uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 72, n. 1, p. 48-57, 2017.

FRIEDMAN, Herman H.; WHITNEY, James E.; SZCZESNIAK, Alina Surmacka. The texturometer—a new instrument for objective texture measurement. **Journal of Food science**, v. 28, n. 4, p. 390-396. 1963.

FSIS- Food Safety and Inspection Service of the United States Department of Agriculture. **Compliance guidelines for meeting lethality performance standards for certain meat and poultry products**. Disponível em: <https://www.canr.msu.edu/resources/appendix-a-compliance-guidelines-for-meeting-lethality-performance-standards-for-certain-meat-and-poultry-products>. Acesso em 26 mar. 2023.

GARCÍA-SARTAL, Cristina et al. Use of an in vitro digestion method to evaluate the bioaccessibility of arsenic in edible seaweed by inductively coupled plasma-mass spectrometry. **Microchemical Journal**, v. 98, n. 1, p. 91-96, 2011.

GOMES, R. da C.; FEIJÓ, G. L. D.; CHIARI, L. Referencial de Qualidade da Carne bovina fora da porteira. **Embrapa Gado de Corte**. Campo Grande-MS, v. 24, 2017.

GROTTO, Helena ZW. Metabolismo do ferro: uma revisão sobre os principais mecanismos envolvidos em sua homeostase. **Revista Brasileira de Hematologia e hemoterapia**, v. 30, p. 390-397, 2008.

GRÜDTNER, Vera Sônia; WEINGRILL, Pedro; FERNANDES, Antonio Luiz. Aspectos da absorção no metabolismo do cálcio e vitamina D. **Revista Brasileira Reumatol**, v. 37, n. 3, p. 143-51, 1997.

HIGUERA, Julymar M. et al. Animal and Vegetable Protein Burgers: Bromatological Analysis, Mineral Composition, and Bioaccessibility Evaluation. **ACS Food Science & Technology**, v. 1, n. 10, p. 1821-1829, 2021.

HUFF-LONERGAN, Elisabeth; LONERGAN, Steven M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. **Meat science**, v. 71, n. 1, p. 194-204, 2005.

IBGE. **Rebanho de bovinos (bois e vacas)**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>. Acesso em 25 mar. 2023.

ISMAIL, Ishamri et al. The alternative approach of low temperature-long time cooking on bovine semitendinosus meat quality. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 32, n. 2, p. 282, 2019.

IAQUINTA, Fiorella; PISTÓN, Mariela; MACHADO, Ignacio. In vitro bioaccessibility of Cu and Zn in cooked beef cuts. **LWT**, v. 150, p. 112027, 2021.

JACKSON, Kenneth Wade. Electrothermal atomization for analytical atomic spectrometry. **American Chemical Society**, v. 72, n 12, p. 159-168. 1998.

JIANG, Shuai et al. Effect of Sous-vide cooking on the quality and digestion characteristics of braised pork. **Food Chemistry**, v. 375, p. 131683, 2022.

JIANG, Suisui et al. Effects of cooking methods on the Maillard reaction products, digestibility, and mineral bioaccessibility of Pacific oysters

(*Crassostrea gigas*). **LWT-Food Science and Technology**, v. 141, p. 110943. 2021.

KARKI, Roman et al. Effect of sous vide processing on quality parameters of beef short ribs and optimisation of sous vide time and temperature using third-order multiple regression. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, n. 7, p. 1629-1646, 2022.

KATO, Hellen Christina de Almeida et al. Change in physical and chemical characteristics related to the binomial time-temperature used in sous pasteurization see Tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 224-232, 2016.

KRAUSE, Marie V.; MAHAN, L. Kathleen. **Krause: Alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9. ed. São Paulo: Roca, 1998. 1351 p.

KAUR, Lovedeep et al. Microstructure and protein digestibility of beef: The effect of cooking conditions as used in stews and curries. **LWT-Food Science and Technology**, v. 55, n. 2, p. 612-620, 2014.

KAWASHIMA, Luciane Mie. **Teores totais e frações solúveis de alguns elementos minerais nutricionalmente importantes em hortaliças folhosas e efeito do cozimento sobre solubilidade e perdas**. 1997. 107 f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

LAWLESS, Harry T.; HEYMANN, Hildegard. **Sensory evaluation of food: principles and practices**. New York: Springer, 2010.

LAWRIE, Ralston Andrew (Ed.). **Developments in meat science**. London: Applied Science Publishers, 1980.

LAWRIE, R. A. Ciência da carne, 6ª edição. **Porto Alegre: Ed. Artmed**, 2005.

LI, Li et al. In vitro protein digestibility of pork products is affected by the method of processing. **Food Research International**, v. 92, p. 88-94, 2017.

LIMA, Juliana Azevedo et al. Minerais essenciais em leite e os avanços no estudo da Bioacessibilidade por modelos estatísticos Digestão *in vitro*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: O Avanço da Ciência no Brasil**. v. 1, n. 1, p. 132-150, 2022.

LIGHT, Nicholas et al. The role of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscles. **Meat science**, v. 13, n. 3, p. 137-149, 1985.

LUZ, Gisele Marcondes; PALLONE, Juliana Azevedo Lima. Alimentos à base de plantas: dietas, tendências de mercado, composição nutricional e ensaios in vitro de bioacessibilidade e biodisponibilidade de minerais. São Paulo: **Científica Digital**, v. 6, p. 18. 2022.

MACÊDO, Érika Michelle C. de et al. Efeitos da deficiência de cobre, zinco e magnésio sobre o sistema imune de crianças com desnutrição grave. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 28, p. 329-336, 2010.

MADRUGA, Marta Suely et al. The impaired quality of chicken affected by the wooden breast myopathy is counteracted in emulsion-type sausages. **Journal of food science and technology**, v. 56, p. 1380-1388, 2019.

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária. **Exportações de produtos do agronegócio ultrapassam US\$ 10 bilhões em janeiro**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-ultrapassam-us-10-bilhoes-em-janeiro>). Acesso em: 03 de mar. De 2023.

MARTINEZ, M. S. **Efeito do processamento térmico na digestibilidade proteica de carnes: revisão**. 40 f. Monografia (Conclusão de Curso em Especialista em Qualidade e Segurança de Alimentos), Universidade Federal do Rio Grande, Santo Antônio da Patrulha, 2018.

MEDEIROS, Dalila Loreny. Pesquisa sobre a técnica de sous vide. 39 f. Monografia (Conclusão de Curso em Especialista em Qualidade de Alimentos) - Centro de Excelência em Turismo, Universidade de Brasília, Brasília. 2009.

MENEZES, Eveline A. et al. Bioaccessibility of Ca, Cu, Fe, Mg, Zn, and crude protein in beef, pork and chicken after thermal processing. **Food Chemistry**, v. 240, p. 75-83, 2018.

MENEZES, Eveline A. et al. **Determinação da disponibilidade de Ca, Cu, Fe, Mg e Zn em amostras de carnes bovinas, suínas e de frango in natura e processadas termicamente**. 2010. 108 f. 2010. Tese (Doutorado em Ciências) - Química Analítica, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

MENG, J.; GENIGEORGIS, C. A. Delaying toxigenesis of *Clostridium botulinum* by sodium lactate in 'sous-vide' products. **Letters in applied microbiology**, v. 19, n. 1, p. 20-23, 1994.

MINEKUS, Mans et al. A standardised static in vitro digestion method suitable for food—an international consensus. **Food & Function**, v. 5, n. 6, p. 1113-1124, 2014.

MODZELEWSKA- KAPITULA, Monika et al. Influence of sous vide and steam cooking on mineral contents, fatty acid composition and tenderness of semimembranosus muscle from Holstein-Friesian bulls. **Meat Science**, v. 157, p. 107877. 2019.

MORAES, Fabiane de; RODRIGUES, Nilo Sérgio Sabbião. Maximização do rendimento no processamento de carne bovina (músculo Semitendinosus) pelo sistema sous vide. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 2016048, p. 11. 2017.

MOURA, Neila Camargo de; CANNIATTI-BRAZACA, Solange Guidolin. Avaliação da disponibilidade de ferro de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em comparação com carne bovina. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 270-276, 2006.

MUCHENJE, V. et al. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. **Food chemistry**, v. 112, n. 2, p. 279-289, 2009.

NAQVI, Zahra B. et al. Sensory and physical characteristics of m. Biceps femoris from older cows using ginger powder (*Zingibain*) and sous vide cooking. **Foods**, v. 10, n. 8, p. 1936, 2021.

NELSON, David L.; COX, Michael M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. Artmed Editora, 2014.

NOGUEIRA, Luana Romão et al. Avaliação qualitativa da alimentação de idosos e suas percepções de hábitos alimentares saudáveis. **Journal of Health Sciences**, v. 18, n. 3, p. 163-70, 2016.

NSW- Food Authority. Sous-vide: **Food safety precautions for restaurants**, 2012. Disponível em: https://www.foodauthority.nsw.gov.au/sites/default/files/_Documents/scienceandtechnical/sous_vide_food_safety_precautions.pdf. Acesso em: 4 de mar. 2023.

OLIVEIRA, Jéssica Camargos. Perfil da textura do filé de peito de frango, em diferentes pontos, usando a lâmina padrão Warner-Bratzler. 2021.

OLIVO, Rubison. Tenderização da carne bovina. **Revista Uningá Review**, v. 29, n. 1, p. 116-121. 2017.

OSÓRIO, José Carlos da Silveira; OSÓRIO, Maria Teresa Moreira; SAÑUDO, Carlos. Características sensoriais da carne ovina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 292-300, 2009.

PADOVANI, Renata Maria et al. Dietary reference intakes: aplicabilidade das tabelas em estudos nutricionais. **Revista de Nutrição**, v. 19, p. 741-760, 2006.

PARK, C. H. et al. Combined effects of sous-vide cooking conditions on meat and sensory quality characteristics of chicken breast meat. **Poultry Science**, v. 99, n. 6, p. 3286-3291, 2020.

PEMATILLEKE, Nelum et al. Relationship between instrumental and sensory texture profile of beef semitendinosus muscles with different textures. **Journal of Texture Studies**, v. 53, n. 2, p. 232-241, 2022.

PEREIRA, G., A., P. et al. Cálcio dietético: estratégias para otimizar o consumo. **Revista brasileira de reumatologia**, v. 49, p. 164-171, 2009.

PHILIPPI, Sonia Tucunduva. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. v. 2, ed. 6, 2018.

PIRES, Christiano Vieira. **Otimização de técnicas de determinação da digestibilidade in vitro para a substituição da digestibilidade in vivo no cálculo do escore químico corrigido pela digestibilidade proteica-PDCAAS**. 82 f. Tese (Doutorado em Bioquímica Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2005.

PROCÓPIO, Amanda Francielli et al. Deficiência no consumo de proteína de origem animal no envelhecimento. **Revista Faculdades do Saber**, v. 6, n. 13, p. 911-921, 2021.

PURSLOW, P et al. A base estrutural da perda por cozimento na carne bovina: Variações com temperatura e envelhecimento. **Food Research International**, v. 739-748, 2016.

REBELLATO, Ana Paula. et al. Static in vitro digestion methods for assessing essential minerals in processed meat products. **Food Research International**, v. 155, p. 111121, 2022.

RIBEIRO António José Meireles. Proteína. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 3, p. 229, 2014.

RINALDI, Massimiliano et al. Comparison of physical, microstructural and antioxidative properties of pumpkin cubes cooked by conventional, vacuum cooking and sous vide methods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 6, p. 2534-2541. 2021.

ROÇA, Roberto de Oliveira. **Tecnologia da carne e produtos derivados**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, p. 202, 2000.

ROLDÁN, Mar 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, p. 572-578, 2013.

RUIZ-CARRASCAL, Jorge et al. Sous-vide cooking of meat: A Maillarized approach. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 16, p. 100138, 2019.

RUIZ-CAPILLAS, Claudia et al. Sensory analysis and consumer research in new meat products development. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 429, 2021.

SCHRICKER, B. R.; MILLER, D. D. Effects of cooking and chemical treatment on heme and nonheme iron in meat. **Journal of Food Science**, v. 48, n. 4, p. 1340-1343, 1983.

SENA, Karine Cavalcanti Maurício de; PEDROSA, Lucia de Fátima Campos. Efeitos da suplementação com zinco sobre o crescimento, sistema imunológico e diabetes. **Revista de Nutrição**, v. 18, p. 251, 2005.

SILVA, Diogo Claudio da. **Análise de sensibilidade na criação de bovinos de corte no Estado do Pará**. 2021 32 f. Monografia (Bacharel em Agronomia) - Universidade Federal de Toantins, Gurupi – TO, 2021.

SILVA, Marielen de Lima. **Efeito de dois métodos de cocção-água e vapor nos parâmetros de qualidade do músculo Semitendinosus**. 2004. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SUN, Shengqian et al. Effect of HPP treatment on the safety and quality of beef steak intended for sous vide cooking. **LWT-Food Science and Technology**, v. 86, p. 185-192. 2017.

SZCZESNIAK, Alina Surmacka. Classification of textural characteristics a. **Journal of food science**, v. 28, n. 4, p. 385-389, 1963.

TAVANO, Olga Luisa et al. Composição e digestibilidade proteica de suplementos alimentícios contendo proteína de soro de leite (whey protein). **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 72, n. 3, p. 131-138, 2017.

TEIXEIRA, Melina Borges. **Avaliação e especiação do ferro bioacessível em alimentos**. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto- SP. 2014.

TEIXEIRA, Lílían Viana. Análise sensorial na indústria de alimentos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 366, p. 12-21, 2009.

THOMPSEN, V. Spectral Background Radiation and the " Background Equivalent Concentration" in Elemental Spectrochemistry. **Spectroscopy**, v. 27, n. 3, p. 28-36, 2012.

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

VELA, Paredes Rafael Segundo. **Bioacessibilidade de compostos fenólicos e minerais em feijão comum (Phaseolus vulgaris L.)**. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. 2017.

VIANA, Ana da Silva Torres et al. Você sabia que a falta de vitamina B12 pode desencadear doenças neurológicas?. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. e43311326712-e43311326712, 2022.

VIDIGAL, Márcia Cristina Teixeira Ribeiro. **Caracterização reológica e sensorial de sobremesa láctea diet contendo concentrado protéico de soro**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2009.

XIMENES, Raquel Sousa Freitas. **Perfil de ácidos graxos da carne bovina**. 2009. 49 f. Monografia (Conclusão de Curso em Medicina Veterinária) - Faculdade de Veterinária, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009.

WESP-GUTERRES, Caroline; TEIXEIRA, José Domingos Lemos; ARALDI, Daniele. F. **Produção de Carne Bovina e Consumo Interno Brasileiro**. XVIII Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, XVI Mostra de Iniciação Científica e XI Mostra de Extensão, 2013.

WILLARSEN, R. R. et al. Growth and survival of *Clostridium perfringens* during constantly rising temperatures. **Journal of Food Science**, v. 43, n. 2, p. 470-475, 1978.

YAMAGISHI, Jessica Akemi et al. Anemia ferropriva: diagnóstico e tratamento. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 99-110. 2017.

YIN, Yantao et al. Insights into digestibility and peptide profiling of beef muscle proteins with different cooking methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 48, p. 14243-14251, 2020.

ZIELBAUER, Birgitta I. et al. Physical aspects of meat cooking: Time dependent thermal protein denaturation and water loss. **Food biophysics**, v. 11, p. 34-42, 2016.

ANEXO 1

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Título do estudo: Análise sensorial de carne bovina processada pelo método *sous vide*.

Pesquisadora responsável: Renata Tieko Nassu, R.G. 15.158.217

Endereço da pesquisadora responsável: Embrapa Pecuária Sudeste. Rodovia Washington Luiz, km 234 – Fazenda Canchim, C.P. 339 – São Carlos – SP.

Telefone da pesquisadora responsável para contato: 16-3411-5681

Prezado(a) Senhor(a):

- Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa de forma totalmente **voluntária**.
- Antes de concordar em participar desta pesquisa e responder este questionário, é muito importante que você compreenda as informações e instruções contidas neste documento.
- Os pesquisadores deverão responder a todas as suas dúvidas antes que você se decida por participar.
- Você tem o direito de **desistir** de participar da pesquisa a qualquer momento, sem nenhuma penalidade e sem perder os benefícios aos quais tenha direito.

Objetivo do estudo: avaliar a qualidade sensorial de carne bovina processada pelo método *sous vide*.

Justificativa A adoção de novas tecnologias é fundamental para melhorar a qualidade sensorial dos produtos e a aceitação do consumidor de produtos cárneos e obtenção de um produto com qualidades sensoriais adequadas elevaria a sua procura e comercialização, principalmente para grupos específicos da população. Além disso, há a possibilidade de agregar valor aos cortes bovinos criando um maior potencial para seu consumo e atendendo o consumidor.

Procedimentos: Sua participação nesta pesquisa durará aproximadamente 30 minutos e consistirá em realizar o teste sensorial envolvendo a ingestão de amostras de carne bovina cozida pelo método *sous vide*, conforme instruções. Informamos que para garantir a segurança microbiológica do produto serão tomadas as seguintes providências:

1. A carne bovina foi obtida de frigorífico, transportada em caixa térmica ao laboratório de carnes da Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos, SP e foram coletadas amostras do músculo coxão duro (*Biceps femoris*);
2. As amostras foram armazenadas sob congelamento a -18°C. Para análise sensorial as amostras foram descongeladas em geladeira desde o dia anterior, e no dia seguinte foram cozidas em um termocirculador profissional a 60, 65 ou 70°C até à temperatura interna de 73°C, assegurando a qualidade/segurança da mesma;
3. Para evitar risco de contaminação durante o período de armazenamento e preparo foram tomadas providências de padrão de higiene já praticadas no manuseio das amostras de alimentos. As amostras foram armazenadas em condições adequadas, evitando a deterioração e possíveis alterações das características microbiológicas, físicas, químicas e sensoriais.

Benefícios: Não haverá qualquer benefício ao provador ao participar desta análise sensorial. Porém, os provadores trarão informações importantes o que se refere à qualidade sensorial da carne bovina processada pelo método *sous vide* e avaliar em qual condição (tempo x temperatura) para o processamento utilizando esta tecnologia encontra-se melhores características sensoriais da carne bovina.

Riscos: Considerando que toda pesquisa envolve riscos, neste projeto os eventuais riscos que podem ocorrer são o desconforto ou constrangimento que poderão ser gerados a partir do preenchimento dos questionários e os riscos relacionados a qualidade microbiológica e sensorial da carne que serão evitados seguindo os procedimentos adequados descritos no item “Procedimentos”.

Acompanhamento e Assistência: Os participantes da pesquisa não serão acompanhados ou receberão qualquer tipo de assistência *a posteriori*. Caso quera receber alguma informação posterior ao encerramento da pesquisa, inclusive considerando os benefícios da pesquisa, o participante deverá entrar em contato por meio do e-mail renata.nassu@embrapa.br.

Sigilo: As informações fornecidas por você terão sua privacidade garantida pelos pesquisadores responsáveis. Os sujeitos da pesquisa não serão identificados em nenhum momento, mesmo quando os resultados desta pesquisa forem divulgados em qualquer forma.

Indenização e ressarcimento: É garantida indenização em casos de danos, comprovadamente, decorrentes da sua participação na pesquisa, por meio de decisão judicial ou extrajudicial.

Não há qualquer valor econômico, a receber ou a pagar, pela sua participação, considerando que a pesquisa será realizada durante sua rotina normal. No entanto, caso haja qualquer despesa decorrente relativo a deslocamento até o local da pesquisa para sua participação, haverá ressarcimento por meio de depósito bancário após devida comprovação da despesa gerada, sendo o valor pago proveniente do orçamento da pesquisa.

Em caso de dúvida: Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Seres Humanos da UNICEP situado na Rua Miguel Petroni, 5111 – Fone (16) 33622111, CEP 13563-570, São Carlos/SP. O Comitê de Ética é a instância que tem por objetivo defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e contribuir para o desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos.

Ciência e de acordo do participante (sujeito da pesquisa):

Ciente e de acordo com o que foi anteriormente exposto pelo(a) pesquisador(a), eu _____, RG: _____, estou de acordo em participar desta pesquisa, assinando este consentimento em duas vias, ficando com a posse de uma delas.

São Carlos, ____/____/____

Assinatura do sujeito de pesquisa ou Representante legal

Ciência e de acordo do pesquisador responsável:

Asseguro ter cumprido as exigências da resolução 466/2012 CNS/MS e complementares na elaboração do protocolo e na obtenção deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Asseguro, também, ter explicado e fornecido uma cópia deste documento ao participante. Informo que o estudo foi aprovado pelo CEP perante o qual o projeto foi apresentado e pela CONEP, quando pertinente. Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante.

Declaro que assinei 2 vias deste termo, ficando com 1 via em meu poder.

Assinatura do responsável pelo projeto

ANEXO 2

Questionário para Recrutamento de Degustadores	
Nome: _____ Data : ____/____/____ Sexo: () M () F	
Idade: _____ Escolaridade: _____ Setor de Trabalho: _____	
Função: _____ Tempo de permanência: _____	
1. Quais são os horários e dias da semana em que você trabalha? _____	
2. Quais são os horários e dias da semana que você não está disponível para as sessões de degustação? _____	
3. Indique os períodos em que você pretende tirar férias, viajar ou se ausentar por qualquer motivo neste ano. _____ _____	
4. Existe algum alimento, condimento ou ingrediente pelo qual você apresenta intolerância, aversão ou alergia? Explique o motivo. _____	
5. Você toma alguma medicação que afete seus sentidos, especialmente o paladar e o olfato? Em caso positivo, qual? _____	
6. Indique se você possui: () Diabetes () Doença do trato digestório () Hipoglicemia () Prótese dentária () Hipertensão () Doença crônica das vias nasais superiores () Hipotensão () É fumante?	
7. Indique o quanto você gosta de carne bovina () Gosto muito () Gosto ligeiramente () Nem gosto, nem desgosto () Desgosto ligeiramente () Desgosto muito	
8. Você segue algum tipo de dieta? Qual? Por quê? Por quanto tempo? _____	
9. Com que frequência você consome carnes? () menos de 1 vez por mês () 1 a 2 vezes por mês () 1 vez por semana () 2 a 3 vezes por semana () 4 vezes ou mais por semana	

☐ todos os dias

☐ nunca

10. Quais os tipos de cortes de carne de sua preferência?

11. Qual o modo de consumo da carne?

☐ assada

☐ cozida

☐ churrasco

☐ frita (bife)

☐ crua (carpaccio, kibe cru)

☐ grelhada

☐ Outros: _____

12. Cite cortes de carne que você considere:

Muito macia: _____

Média maciez: _____

Pouco macia: _____

13. Cite um exemplo de alimento que considere suculento.

14. Cite um exemplo de alimento que considere macio. _____

15. Cite um alimento que considere duro. _____