

Marcio Augusto Ribeiro Sanches

Uso do ultrassom em salga de carne bovina: Efeito do cruzamento entre raças e da concentração de sal

São José do Rio Preto

2020

Marcio Augusto Ribeiro Sanches

Uso do ultrassom em salga de carne bovina: Efeito do cruzamento entre raças e da concentração de sal

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Andrea Carla da Silva Barretto

São José do Rio Preto

2020

S211u

Sanches, Marcio Augusto Ribeiro

Uso do ultrassom em salga de carne bovina: Efeito do cruzamento entre raças e da concentração de sal / Marcio Augusto Ribeiro Sanches. -- São José do Rio Preto, 2020
74 f. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientador: Javier Telis Romero

Coorientadora: Andrea Carla da Silva Barretto

1. Carne bovina. 2. Ultrassom. 3. Massa Transferência. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Marcio Augusto Ribeiro Sanches

Uso do ultrassom em salga de carne bovina: efeito do cruzamento entre raças e da concentração de sal

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Javier Telis Romero
Unesp/Ibilce – Câmpus de São José do Rio Preto
Orientador

Dr. Marco Antonio Trindade
USP/FZEA – Câmpus Pirassununga

Dr. Roger Darros Barbosa
Unesp/Ibilce – Câmpus de São José do Rio Preto

São José do Rio Preto

06 de março de 2020

*Aos meus pais, Adilson e Luciane, aos meus
irmãos Gustavo e Marcela e toda a minha família*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre me guardando e iluminando os meus caminhos e sempre me dando forças pra continuar.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Dr. Javier Telis Romero e Prof.^a Dr.^a. Andrea Carla da Silva Barretto, pela orientação, confiança, apoio, amizade e por todos os ensinamentos transmitidos, que levarei comigo durante toda a minha caminhada profissional.

Agradeço a Profa. Dra. Patrícia Maria Onofre Colombo Silva pela colaboração realizada durante o estudo.

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

À empresa Beef Passion, em especial ao Antonio Ricardo Sechis, pela confiança, parceria e apoio ao trabalho.

À toda minha família, especialmente aos meus pais, Marcio e Luciane, pelo exemplo de família, de caráter, simplicidade, amor e por toda força e apoio para que eu conseguisse o que eles nunca tiveram oportunidade de ter. Aos meus irmãos, Marcela e Gustavo, que sempre estiveram presentes, independentemente da situação.

Agradeço imensamente aos meus amigos do mestrado, em especial ao Rodrigo, ao Adilson, a Caroline e a Kamilla pela grande amizade, companhia de todos os dias, companheirismo e conhecimentos compartilhados durante essa fase do mestrado. Agradeço a Deus por ter colocado vocês em meu caminho.

Aos amigos do laboratório de Carnes e do laboratório de Medidas Físicas, que quando eu precisei, sempre que possível me ajudaram, especialmente a Elisa, o Tiago Barretto, a Camila, o João, o Gilmar, a Maria Júlia, a Bianca, o Tiago Polachini, a Lilian e a Bruna.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA-UNESP) por toda dedicação, conhecimentos transmitidos, empenho e por contribuírem para a nossa formação como profissionais, e principalmente, como pessoas.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) e a todos que de alguma forma contribuíram com esse trabalho.

RESUMO

Os efeitos do cruzamento entre raças bovinas e da aplicação do ultrassom sobre a cinética de transferência de massa durante a salga úmida de carne bovina foram avaliados. Os cortes de coxão duro (*biceps femoris*) resultantes de três cruzamentos - C1 ($\frac{1}{2}$ Angus e $\frac{1}{2}$ Nelore); C2 ($\frac{3}{4}$ Angus e $\frac{1}{4}$ Nelore) e C3 ($\frac{1}{2}$ Wagyu, $\frac{1}{4}$ Nelore e $\frac{1}{4}$ Angus) foram caracterizados quanto a composição química, pH, atividade de água e oxidação lipídica. Os cortes foram submetidos a salga úmida em salmoura (concentração de 5% de NaCl – Temperatura de 5°C): estática – SE e com aplicação de ultrassom – US. Em outros experimentos, os cortes de apenas um dos cruzamentos (C1) foram submetidos a salga úmida em salmoura estática – SE e com aplicação de ultrassom – US, nas concentrações de 10, 20 e 30% de NaCl – temperatura de 5°C, sendo posteriormente investigados quanto as propriedades tecnológicas (pH, cor, oxidação lipídica, atividade de água, temperatura e entalpia de desnaturação das proteínas). Em ambos os estudos, os cortes foram retirados durante 30, 60 e 120 minutos de salga úmida e analisados quanto aos teores de umidade e NaCl. Estes resultados foram utilizados para determinar os coeficientes de difusão para água e para o NaCl. Os resultados do primeiro estudo mostraram que a aplicação de ultrassom e o cruzamento entre raças afetaram o conteúdo de água e o coeficiente de difusão efetivo para a água, mostrando maiores valores nos cortes com maior conteúdo de proteínas. O cruzamento entre as raças e a aplicação de ultrassom também influenciaram o conteúdo de NaCl, entretanto somente a aplicação de ultrassom proporcionou aumento no coeficiente de difusão efetivo do NaCl durante a salga úmida. No segundo estudo, os resultados mostraram que a aplicação de ultrassom e o aumento da concentração de sal aumentaram o ganho de sal, a perda de água e o coeficiente de difusão de sal e de água nas amostras durante a salga úmida. O uso do ultrassom não influenciou as propriedades tecnológicas como pH, cor e oxidação lipídica, porém reduziu a atividade de água e a temperatura e entalpia de desnaturação das proteínas. O aumento da concentração de sal aumentou a oxidação lipídica, diminuiu os parâmetros de cor e a temperatura e entalpia de desnaturação das proteínas durante a salga úmida. Portanto, o ultrassom se mostrou uma tecnologia potencial para a aplicação no processo de salga úmida de carne bovina.

Palavras-chave: Salga úmida. Coeficiente de difusão. Oxidação lipídica. Atividade de água. Desnaturação de proteínas. NaCl.

ABSTRACT

The effects of crossbreeding and the application of ultrasound on mass transfer kinetics during wet salting of beef were evaluated. The cuts of muscle (*Biceps femoris*) resulting from three crossbreeds - C1 (½ Angus and ½ Nellore); C2 (¾ Angus and ¼ Nelore) and C3 (½ Wagyu, ¼ Nelore and ¼ Angus) were characterized by their chemical composition, pH, water activity and lipid oxidation. The cuts were submitted to wet brining in brine (5% NaCl concentration - 5 °C temperature): static brine - SE and with ultrasound - US. In another study, the cuts of only one of the crossbreeds (C1) were subjected to wet salting in static brine - SE and with the application of ultrasound - US, in concentrations of 10, 20 and 30% NaCl - temperature of 5 °C, which samples were investigated regarding technological properties (pH, color, lipid oxidation, water activity, temperature and enthalpy of protein denaturation). In both studies, cuts were removed after 30, 60 and 120 minutes of wet salting and analyzed for water and NaCl contents. These results were used to determine the diffusion coefficients for water and NaCl. The results of the first study showed that the application of ultrasound and the crossbreeding affected the water content and the effective water diffusion coefficient, showing higher values in the cuts with higher protein content. The crossbreeding and the application of ultrasound also influenced the NaCl content, however only the application of ultrasound provided an increase in the effective diffusion coefficient of NaCl during wet salting. In the second study, the results showed that the application of ultrasound and the increase the concentration of salt increased the salt gain, the loss of water and the coefficient of diffusion of salt and water in the samples during wet salting. The use of ultrasound did not influence technological properties such as pH, color and lipid oxidation, but it did reduce water activity, temperature and enthalpy of protein denaturation. The increase in salt concentration increased lipid oxidation, decreased color parameters and the temperature and enthalpy of protein denaturation during wet salting. Therefore, ultrasound proved to be a potential technology for application in the wet salting process of beef.

Key words: Wet salting. Diffusion coefficient. Lipid oxidation. Water activity. Protein denaturation. NaCl.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Touros das raças: A) Nelore; B) Angus; C) Wagyu.	15
Figura 2. Representação esquemática da organização estrutural do músculo.....	17
Figura 3. Transferência de massa na desidratação osmótica.....	19
Figura 4. O espectro do som.....	20
Figura 5. Frequência de uma onda.	21
Figura 6. Atenuação da intensidade do ultrassom.	22
Figura 7. Esquema de um banho ultrassônico.....	24
Figura 8. Sistema de sonda para aplicação de ultrassom de potência.	25
Figura 9. Fenômeno da cavitação acústica.	26
Figura 10. Amostras do coxão duro dos três cruzamentos.	29
Figura 11. Salmouras: A) Estática; B) Com aplicação de ultrassom.	30
Figura 12. Cinética de difusão de água (A) e NaCl (B) em amostras tratadas em salmoura estática (SE) e salmoura com aplicação de ultrassom (US).	43
Figura 13. Resíduo entre os valores previstos e experimentais do conteúdo de água (a) e conteúdo de NaCl (b) em amostras tratadas em salmoura estática (SE) e salmoura por ultrassom (US).....	44
Figura 14. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre o teor de água (%) em carne bovina.	49
Figura 15. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre o teor de NaCl (%) durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.	50
Figura 16. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl na salmoura sobre a atividade de água durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição centesimal, pH, atividade de água e índice de TBARS.	37
Tabela 2. Efeito do cruzamento entre raças e da aplicação de ultrassom no teor de água (%) durante salga úmida dos cortes de carne bovina.....	38
Tabela 3. Efeito do cruzamento entre raças e da aplicação de ultrassom no teor de NaCl (%) durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.....	41
Tabela 4. Efeito do cruzamento entre raças e da aplicação de ultrassom sobre o coeficiente de difusão efetivo de água e NaCl durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.	46
Tabela 5. Propriedades físico-químicas das salmouras a 5°C.	47
Tabela 6. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl na salmoura sobre a estabilidade da cor durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.....	52
Tabela 7. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl na salmoura sobre o índice de TBARS durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.	56
Tabela 8. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre a temperatura de desnaturação das proteínas durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.	58
Tabela 9. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre a entalpia de desnaturação das proteínas durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.	59
Tabela 10. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre o coeficiente de difusão efetivo de água e de NaCl durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1. Carne bovina: Produção e consumo.....	14
3.2. Bovinocultura no Brasil	14
3.3. Estrutura e composição do tecido muscular	16
3.4. O papel do sal	17
3.5. Tratamento osmótico e o processo de salga de carnes.....	18
3.6. Ultrassom	19
3.6.1. Classificação das ondas sonoras	20
3.6.2. Parâmetros ultrassônicos	20
3.6.2.1. Frequência.....	20
3.6.2.2. Comprimento de onda.....	21
3.6.2.3. Velocidade	21
3.6.2.4. Intensidade	21
3.6.2.5. Atenuação	22
3.6.3. Equipamentos de ultrassom.....	23
3.6.3.1. Banhos Ultrassônicos.....	23
3.6.3.2. Sistema de sondas	24
3.7. Mecanismos e Efeitos do Ultrassom.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1. Parte I: Efeito do cruzamento entre raças bovinas e da aplicação de ultrassom sobre a cinética de transferência de massa durante o processo de salga úmida	27
4.1.1. Matéria prima.....	27
4.1.2. Composição Química.....	28
4.1.2.1. Umidade	28
4.1.2.2. Cinzas.....	28
4.1.2.3. Proteínas.....	28
4.1.2.4. Lipídeos	28

4.1.3.	pH	28
4.1.4.	Atividade de água	29
4.1.5.	Oxidação Lipídica (TBARS)	29
4.1.6.	Preparo das amostras e da salmoura	29
4.1.7.	Tratamento por salga úmida	30
4.1.8.	Determinações analíticas durante o processo de salga úmida	31
4.1.8.1.	Conteúdo de água.....	31
4.1.8.2.	Conteúdo de NaCl.....	31
4.1.9.	Modelagem da transferência de massa	31
4.2.	Parte II: Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre a cinética de transferência de massa e propriedades tecnológicas durante o processo de salga úmida de carne bovina	32
4.2.1.	Matéria prima	32
4.2.2.	Preparo das amostras e da salmoura	32
4.2.3.	Propriedades das salmouras	33
4.2.4.	Tratamento por salga úmida	33
4.2.5.	Determinações analíticas durante o processo de salga úmida	33
4.2.5.1.	Conteúdo de água.....	33
4.2.5.2.	Conteúdo de NaCl.....	33
4.2.5.3.	Cor instrumental	34
4.2.5.4.	Atividade de água (aw)	34
4.2.5.5.	Potencial hidrogeniônico (pH).....	34
4.2.5.6.	Oxidação lipídica (TBARS).....	34
4.2.5.7.	Calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	35
4.2.6.	Modelagem da transferência de massa	35
4.3.	Análise Estatística.....	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1.	Parte I: Efeito do cruzamento entre raças bovinas e da aplicação de ultrassom sobre a cinética de transferência de massa durante o processo de salga úmida	36
5.1.1.	Composição centesimal	36
5.1.2.	Teor de água durante a salga úmida.....	37
5.1.3.	Teor de NaCl durante a salga úmida.....	40
5.1.4.	Coeficiente de difusão efetivo de água e de NaCl durante a salga úmida	42
5.2.	Parte II: Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura	

sobre a cinética de transferência de massa e propriedades tecnológicas durante o processo de salga úmida de carne bovina	47
5.2.1. Propriedades das salmouras	47
5.2.2. Teor de água durante a salga úmida.....	48
5.2.3. Teor de NaCl durante a salga úmida.....	50
5.2.4. Cor instrumental	51
5.2.5. Atividade de água (aw)	54
5.2.6. Potencial hidrogeniônico (pH).....	55
5.2.7. Oxidação lipídica (TBARS).....	55
5.2.8. Calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	57
5.2.9. Coeficiente de difusão efetivo de água e de NaCl durante a salga úmida	60
6. CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

A salga é um dos métodos mais antigos usados no processamento e conservação dos alimentos, sendo uma das principais etapas na preparação de uma variedade de produtos cárneos salgados, muitos dos quais consumidos em diversos países, principalmente devido as suas características sensoriais e maior vida útil considerada em relação a carne in natura (SHIMOKOMAKI et al., 1998). Os procedimentos para a salga podem ser divididos em salga seca, que é realizada empilhando camadas alternadas de carne e sal, e a salga úmida, que consiste na imersão da matéria-prima em salmoura. Esses processos envolvem trocas de massa entre a salmoura e o produto, que podem ocorrer na mesma direção ou direções opostas (BAMPI et al., 2016).

Atualmente o Brasil é o segundo maior produtor de carne bovina, ficando atrás somente dos EUA, e é líder na exportação de carne bovina (ABIEC, 2019). A dieta e a raça ou a combinação de raças contribuem com a qualidade final de carnes obtidas (AVILÉS et al., 2015). Nesse contexto, o cruzamento entre raças bovinas se mostra como uma alternativa importante para melhorar a qualidade da carne (LAGE et al., 2012) que está relacionada com a quantidade de gordura intramuscular, também denominada marmoreio, que é uma característica associada principalmente ao grupo genético de animais de determinadas raças. O cruzamento entre raças como Angus e Wagyu são responsáveis por melhorar as características sensoriais como suculência e sabor (FRANK et al., 2016; MOTOYAMA et al., 2016), levando a uma maior aceitação entre os consumidores, porém não se sabe se o cruzamento entre raças pode afetar a cinética de transferência de massa durante o processo de salga de produtos cárneos.

Entre os produtos cárneos salgados de origem bovina produzidos no Brasil, a carne de sol, o charque e o jerked beef são produtos que possuem características interessantes levando em consideração o mercado de exportação e a expansão comercial interna desses produtos, os quais devido à atividade de água intermediária, podem ser transportados e armazenados sem refrigeração. Entretanto, o processo de fabricação destes produtos ainda se mostra bastante empírico, envolvendo longas etapas de salga e secagem (VIDAL et al., 2019). Este fato impõe mudanças nas técnicas de processamento, dando espaço para as chamadas tecnologias emergentes, que visam de maneira geral a otimização desses processos (CHANDRAPALA et al., 2012).

O ultrassom é apontado como uma tecnologia emergente promissora nos processos industriais de alimentos. As ondas de ultrassom podem ser classificadas como alta e baixa intensidade. Os de alta intensidade possuem baixa frequência (20–100 kHz), chegando em

níveis mais altos de potência ($10 - 1000 \text{ W} \cdot \text{cm}^2$), que podem ocasionar rompimento de ligações intermoleculares, catalisar reações químicas, alterar propriedades físicas e acelerar processos de transferência de massa devido aos efeitos de cavitação (ALARCON-ROJO et al., 2019; BARRETTO et al., 2018). Entretanto, os resultados dos processos de aplicação dessa tecnologia são dependentes de variáveis inerentes a processos osmóticos, como temperatura e concentração da solução, tipo de agente osmótico e principalmente aspectos estruturais do produto (FERNANDES; GALLÃO; RODRIGUES, 2009; GARCIA-NOGUERA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2009).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a influência da aplicação de ultrassom na transferência de massa em salga úmida de carne bovina (*Biceps femoris*) – efeito do cruzamento entre raças Nelore, Angus e Wagyu e da concentração de sal.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a composição centesimal, o pH, a atividade de água e a oxidação lipídica dos cortes do coxão duro (*Biceps femoris*) de três cruzamentos entre raças bovinas Nelore, Angus e Wagyu.
- Avaliar a cinética de transferência de massa em salmoura estática (SE) e salmoura com aplicação de ultrassom (US) sobre o coeficiente de difusão de água e de NaCl no corte coxão duro (*Biceps femoris*) dos três cruzamentos.
- Avaliar o efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de sal em salmoura sobre a cinética de transferência de massa, coeficiente de difusão de água e de NaCl e sobre as propriedades tecnológicas (pH, cor, oxidação lipídica, atividade de água, temperatura e entalpia de desnaturação das proteínas) de cortes de coxão duro proveniente apenas um cruzamento submetidos a salga úmida.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Carne bovina: Produção e consumo

O Brasil exibe grande importância mundial na cadeia produtiva da carne, se mostrando como um dos principais responsáveis em produção e comercialização de carne bovina no mundo. O valor que inclui desde os insumos utilizados na produção do gado, investimento em genética, faturamento dos animais até o total comercializado pelas indústrias e varejos é o maior já registrado nos últimos dez anos (ABIEC, 2019).

No ano de 2018 foi registrado um crescimento de 6,9% no número de abates, que chegou a 44,23 milhões de cabeças. Dessa forma, também houve crescimento no volume de carne bovina produzida, com um total de 10,96 milhões de toneladas equivalente carcaça (TEC), 12,8% acima de 2017. Desse total, 20,1% foi exportada e 79,6% foi destinada ao mercado interno, responsável por um consumo per capita de 42,12 kg/ano (ABIEC, 2019).

3.2. Bovinocultura no Brasil

O rebanho Brasileiro é constituído 80% por animais zebuínos (*Bos indicus*), sendo 90% dos mesmos compostos pela raça Nelore. Apesar de bem adaptados às condições brasileiras, os *Bos indicus* são animais caracterizados por exibirem carne com resistência ao corte, superior a de animais de raças europeias como os *Bos taurus* (FERRAZ; FELÍCIO, 2010).

Existem diversas raças de bovinos de corte e o cruzamento entre elas produz diferentes genótipos, porém cada genótipo expressa um desempenho, sendo estas diferenças expressas na curva de crescimento, deposição de gordura, músculo e determinado peso de carcaça. Assim, através do cruzamento genético, o produtor pode direcionar-se ao produto de seu interesse, podendo colaborar para a redução na falta de padronização na maciez da carne bovina, sendo este um dos grandes problemas para a cadeia produtiva (KOOHMARAIE et al., 2002). Outro parâmetro que pode ser melhorado é o grau de marmoreio da carne, que está diretamente relacionado à suculência, sabor, maciez e apreciação do corte cárneo (ALBRECHT et al., 2015; CORBIN et al., 2015). A Figura 1 mostra as imagens de touros das raças Nelore, Angus e Wagyu, cujo os resultados de cruzamentos foram objetivos do presente estudo.

Figura 1. Touros das raças: A) Nelore; B) Angus; C) Wagyu.



Fonte: COMPRE RURAL (2020).

A raça Nelore é indicada para produzir carne com baixo custo de manutenção, visto que a mesma apresenta comprovada resistência ao calor e rusticidade devido a sua origem indiana, e devido a essas características é que são largamente empregados em programas de cruzamento e melhoramento genético (PRADO et al., 2012; SHACKELFORD et al., 1991). Entretanto, a carne desses animais apresenta desvantagens associadas a qualidade, quando comparada a de animais de origem europeia (*Bos taurus*) (POND; BELL, 2005).

Os animais de origem europeia como a raça *Aberdeen Angus*, ganham destaque por apresentar diversas qualidades em uma única raça. Uma delas é a gordura intramuscular, também chamada de marmoreio, que colabora com o sabor e a maciez da carne. Mesmo com ampla criação, ainda apresenta bom rendimento quando comparado às outras raças taurinas (CHAMBAZ et al., 2003) e se adaptam em regiões de clima ameno, entretanto são pouco resistentes aos ectoparasitas e elevadas temperaturas (FERRAZ ; FELÍCIO, 2010).

A espécie taurina *Wagyu* também tem sido estudada nos cruzamentos industriais no Brasil. Conhecida mundialmente pela produção da *Kobe Beef*, esses bovinos são provenientes da região de Kobe no Japão. O nome *Wagyu* refere-se a diversas raças de gado predispostas geneticamente a gerar intenso marmoreio, sendo consideradas como melhores produtoras de carne com gordura marmorizada (YAMADA; HIGUCHI; NAKANISHI, 2014).

Marmoreio ou marmorização refere-se à deposição de gordura intramuscular visível no corte transversal da carne. Está associada diretamente com a idade de abate, grupo

genético, desenvolvimento e alimentação dos animais (WANG et al., 2009). Encontra-se distribuída entre os feixes de fibras musculares, sendo a quantidade dependente da gordura presente na carcaça (SCOLLAN et al., 2006). Esse acúmulo de gordura na carcaça ocorre primeiramente na forma de gordura subcutânea ou de cobertura e posteriormente na forma intramuscular ou marmorizada, sendo que o marmoreio só é depositado após o término da fase de crescimento. Durante a fase de terminação, o marmoreio indica que as exigências nutricionais dos animais foram supridas pela dieta fornecida (MAGOLSKI et al., 2013). O mesmo tem sido associado à suculência, maciez e sabor da carne. Quando a carne marmorizada é aquecida durante o preparo, a gordura se desprende da matriz cárnea, formando espaços entre as fibras musculares, que possivelmente reduzem a força de cisalhamento da carne (LEGAKO et al., 2015; MORALES et al., 2013).

Essa quantidade de gordura pode ser mensurada por métodos químicos que quantificam os lipídeos totais, ou por escores de marmorização, a partir de uma escala desenvolvida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (FERGUSON, 2004) que varia de zero a dez, onde zero representa a ausência de gordura intramuscular e dez, a gordura intramuscular muito abundante. Contudo, no Brasil essa escala varia de zero a seis, devido ao baixo índice de marmorização do rebanho local. Logo, apresentam maior valor agregado aquelas que exibirem maior grau de marmoreio (ALBRECHT et al., 2015), dependendo do mercado. Portanto, essa característica precisa ser melhorada em animais da raça Nelore, visto que os mesmos apresentam baixo índice de marmorização (FERNANDEZ et al., 1999; MAGOLSKI et al., 2013), característica que pode ser proporcionada pelo cruzamento com outras raças.

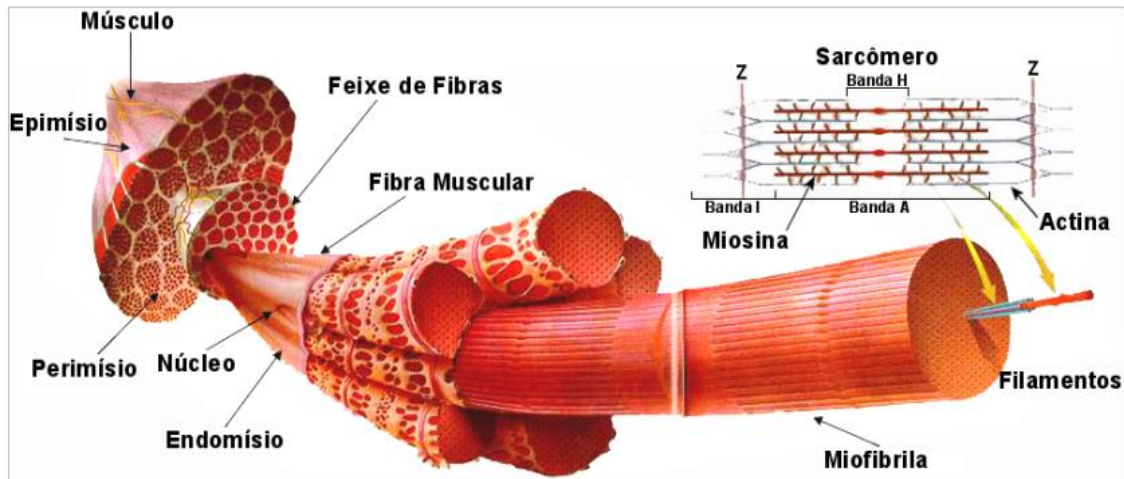
3.3. Estrutura e composição do tecido muscular

A composição da carne bovina é constituída por aproximadamente 65 a 80% de água, 16 a 22% de proteínas, 3 a 13% de gordura e 1% de cinzas. Essa composição varia em função de vários fatores, como alimentação, zona anatômica, idade, sexo, sendo a espécie animal uma das mais importantes (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; ORDÓÑEZ, PEREDA; MURAD, 2005).

A Figura 2 mostra uma representação esquemática da estrutura muscular da carne. O tecido muscular esquelético é recoberto por uma camada de tecido conjuntivo denominado epimísio, sendo o colágeno como principal componente. Os feixes de fibras musculares são envolvidos por uma camada denominada de perimísio que é composta por tecido conjuntivo, e

que contém vasos sanguíneos e nervos. Enquanto que o endomísio é o tecido conjuntivo que envolve cada fibra muscular (LAWRIE; RUBENSAM, 2005; ORDÓÑEZ, PEREDA; MURAD, 2005).

Figura 2. Representação esquemática da organização estrutural do músculo.



Fonte: SCHMIDT, (2010).

As proteínas do músculo esquelético podem ser classificadas quanto as suas funções biológicas e quanto a sua solubilidade.

- **Funções biológicas:** Podem ser divididas em proteínas que contribuem para a contração (actina e miosina); e as que exercem funções sobre o metabolismo (amilase, maltase e pepsina) (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).
- **Solubilidade:** As proteínas podem ser classificadas em solúveis em água ou em soluções salinas diluídas (proteínas sarcoplasmáticas), solúveis em soluções salinas concentradas (proteínas miofibrilares), e por último, aquelas que são insolúveis em soluções salinas concentradas (proteínas do tecido conjuntivo e outras estruturas formadas) (LAWRIE; RUBENSAM, 2005; ORDÓÑEZ PEREDA; MURAD, 2005).

3.4. O papel do sal

Na atualidade, os processos de salga e secagem de alimentos são altamente empregados na indústria para aumentar a sua vida de prateleira, atribuindo características

especiais sem afetar a qualidade. Essas técnicas foram adaptadas aos processos que estão baseados em especificações tecnológicas (DESMOND, 2006).

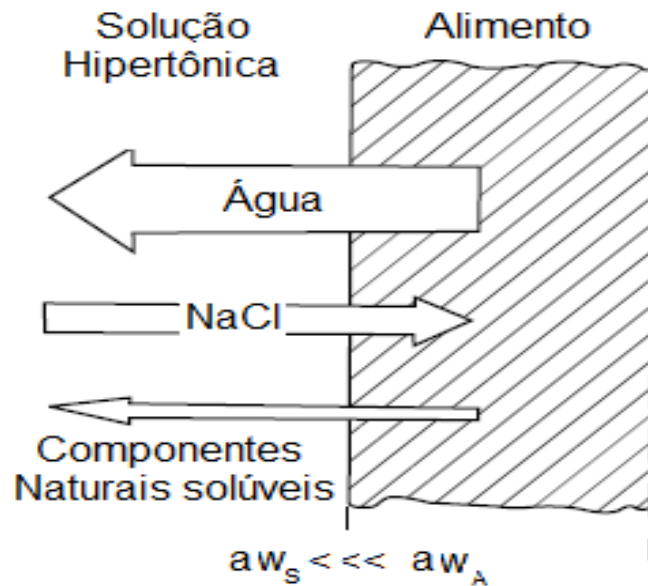
Na indústria, o sal possui um papel tecnológico importante no processamento e fabricação de produtos cárneos. Além de contribuir na conservação do produto e atribuir sabor salgado, o sal possui papel crucial na extração e solubilização de proteínas miofibrilares, melhorando a emulsificação de gordura, a capacidade de retenção de água e afetando rendimento e textura em produtos como salsicha, presunto, mortadela, entre outros (BOMBRUN et al., 2014; DESMOND, 2006).

Uma das principais funções do sal está associada a habilidade de inibir a multiplicação dos microrganismos patogênicos e deteriorantes (KILIC, 2009). O sal é capaz de fazer com que a água presente nos alimentos se ligue as macromoléculas por causa da difusão de sal no tecido, reduzindo a quantidade de água disponível para as reações, microrganismos e seus processos de metabolismo e desenvolvimento (MARTINS; MARTINS; PENA, 2015). O sal também pode interferir nas enzimas celulares, limitar a solubilidade do oxigênio ou induzir as células dos microrganismos a gastarem mais energia pra expulsar os íons de sódio da célula, podendo reduzir a taxa de crescimento (DAVIDSON; SOFOS; BRANEN, 2005).

3.5. Tratamento osmótico e o processo de salga de carnes

A imersão do alimento em uma solução contendo agentes osmóticos (sais, fosfatos, ácidos, açúcares, etc.) é denominado como tratamento osmótico. No processo de salga, a direção das trocas de massa depende de variáveis como concentração salina e temperatura da solução, podendo ocorrer dois processos distintos: a hidratação e a desidratação osmótica (SCHMIDT; CARCIOFI; LAURINDO, 2009). Em baixas concentrações de sal geralmente ocorre a hidratação da carne devido às ligações entre os íons cloreto com as proteínas musculares, permitindo maior impregnação da água na estrutura da proteína (ALBARRACÍN et al., 2011). Em altas concentrações de sal, ocorre o processo de desidratação osmótica que é a saída de água do alimento para a solução e migração de solutos da solução para o alimento conforme mostrado na Figura 3 (BARBOSA-CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 2000).

Figura 3. Transferência de massa na desidratação osmótica.



Fonte: MUJUMDAR, (2006).

3.6. Ultrassom

O processamento de alimentos através de imersão em soluções hipertônicas, como é o caso do processo de salga úmida, é caracterizado pela relativa demora em relação a transferência de massa. Diante disso, várias tecnologias como a aplicação de pulsos elétricos (TAIWO, ANGERSBACH; KNORR, 2003), vácuo (DEUMIER et al., 2003; BARAT et al., 2006), pressão (YASHODA et al., 2005) e ultrassom (CÁRCEL et al., 2007b; MULET et al., 2003) foram utilizados com intuito de acelerar o processo.

A tecnologia de ultrassom (US) tem sido usada para melhorar diferentes processos de transferência de massa em alimentos, como extração sólido-líquido (DUBIE et al., 2013), salga (CÁRCEL et al., 2012), desidratação osmótica (GARCIA-NOGUERA et al., 2010; NOWACKA et al., 2017), filtração por membrana (KOH et al., 2014; MUTHUKUMARAN et al., 2007) e secagem (KOWALSKI et al., 2016; NOWACKA et al., 2012; SZADZIŃSKA et al., 2017).

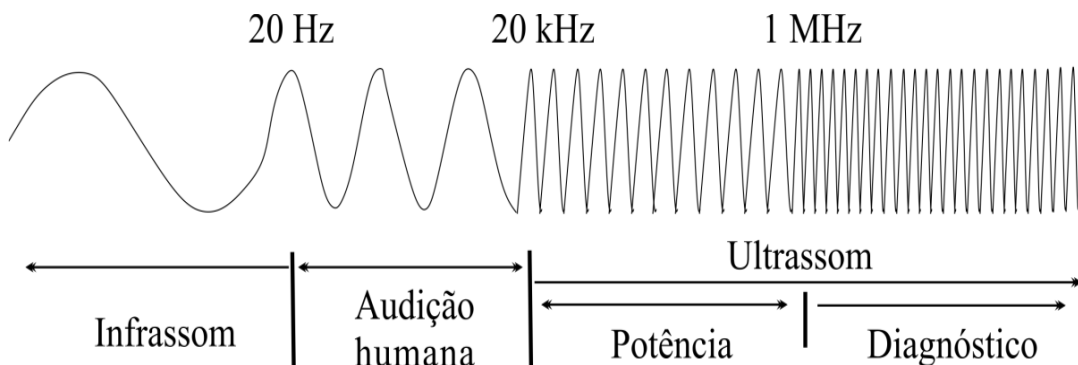
De modo geral, o ultrassom consiste na conversão de energia elétrica em energia acústica. Dois componentes são essenciais para a geração do ultrassom: a fonte de energia e um transdutor. Geralmente a energia elétrica é transformada em energia mecânica, que será transmitida na forma de energia vibracional através de um meio sonificado (ALARCON-ROJO et al., 2019). O transdutor é o responsável por transformar a energia elétrica em energia acústica,

com intensidades e frequências desejáveis (POVEY; MASON, 1998). A frequência do ultrassom varia entre 20 kHz a 10 MHz sendo dividida entre três categorias: 1) baixa frequência (20–100 kHz); 2) frequência intermediária (100 kHz – 1 MHz); 3) alta frequência (1 a 10 MHz) (ASHOKKUMAR; MASON, 2007).

3.6.1. Classificação das ondas sonoras

As ondas sonoras são classificadas de acordo com duas frequências como é mostrado na Figura 4. O termo infrassom relaciona-se com ondas de baixas frequências, que está abaixo da faixa de frequência perceptível pelo ouvido humano. Entre 20 Hz a 20 kHz encontra-se a faixa perceptível à audição humana. Acima da percepção humana está o ultrassom, que pode ser dividido em duas faixas: Ultrassom de potência e de diagnóstico.

Figura 4. O espectro do som.



Fonte: FENG; BARBOSA-CANOVAS; WEISS, (2011).

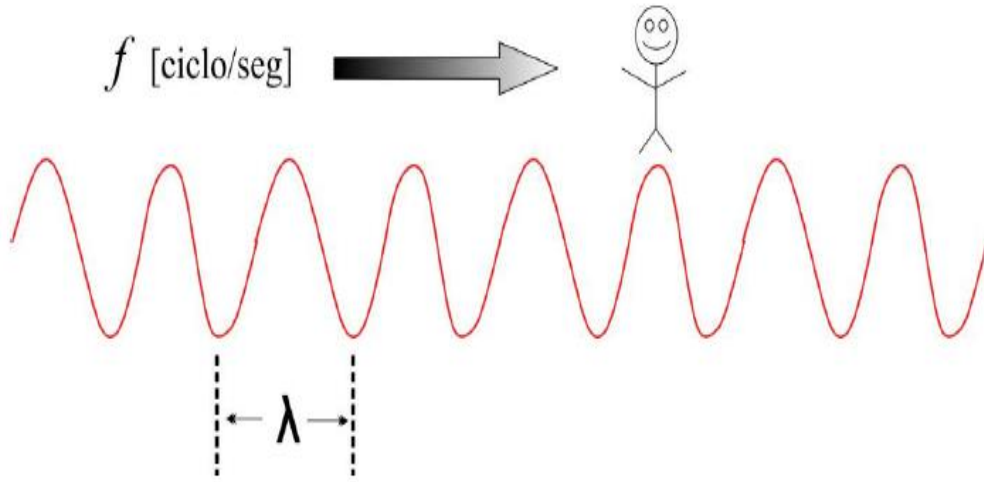
3.6.2. Parâmetros ultrassônicos

O ultrassom é caracterizado por uma série de parâmetros como frequência, potência, intensidade, etc., que são importantes para a compreensão das diversas aplicações do ultrassom:

3.6.2.1. Frequência

A frequência é definida como o número de vibrações ou ciclos completos por unidade de tempo, sendo sua unidade no sistema internacional, o Hertz (Hz).

Figura 5. Frequência de uma onda.



Fonte: VÉLEZ, (2015).

3.6.2.2. Comprimento de onda

Define-se comprimento de onda (λ) como sendo a distância que separa dois pontos consecutivos que vibram na mesma frequência. Pode ser determinado a partir da velocidade (V) e frequência (f):

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad \text{Equação 1}$$

3.6.2.3. Velocidade

A velocidade na qual o ultrassom se propaga é determinada pelo meio em que ele se difunde. Em se tratando de ultrassom, existem dois tipos de velocidades que são importantes: As velocidades de fase, que são aquelas medidas por uma onda de frequência única ao se propagar através de um meio; e a velocidade de grupo, que é a velocidade com que se propaga uma onda composta de várias frequências simples (FAHY, 2005).

3.6.2.4. Intensidade

Intensidade de uma onda é a energia média transmitida por meio de uma unidade de área perpendicular a direção de propagação da onda (MASON; LORIMER, 2002). A intensidade acústica pode ser dada pela seguinte equação:

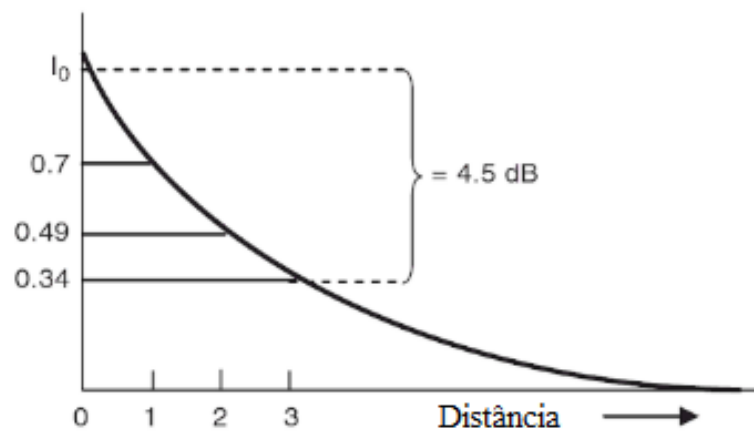
$$\text{Intensidade acústica} = \frac{(P_A)^2}{2\rho v} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: P_A é a pressão acústica máxima dada em atm; ρ é a densidade do meio (kg/m^3) e v é a velocidade da onda ao se propagar no meio (m/s).

3.6.2.5. Atenuação

Atenuação é a perda gradual de intensidade de qualquer tipo de fluxo através de um meio. Quando uma onda de ultrassom se propaga através de um meio, a intensidade diminui gradativamente com o aumento da distância da fonte emissora. O padrão é o de uma curva de decaimento exponencial (Figura 6), onde a taxa de diminuição é rápida no início, mas se torna mais gradual à medida que a intensidade diminui (HOSKINS; MARTIN; THRUSH, 2010).

Figura 6. Atenuação da intensidade do ultrassom.



Fonte: HOSKINS; MARTIN; THRUSH, (2010).

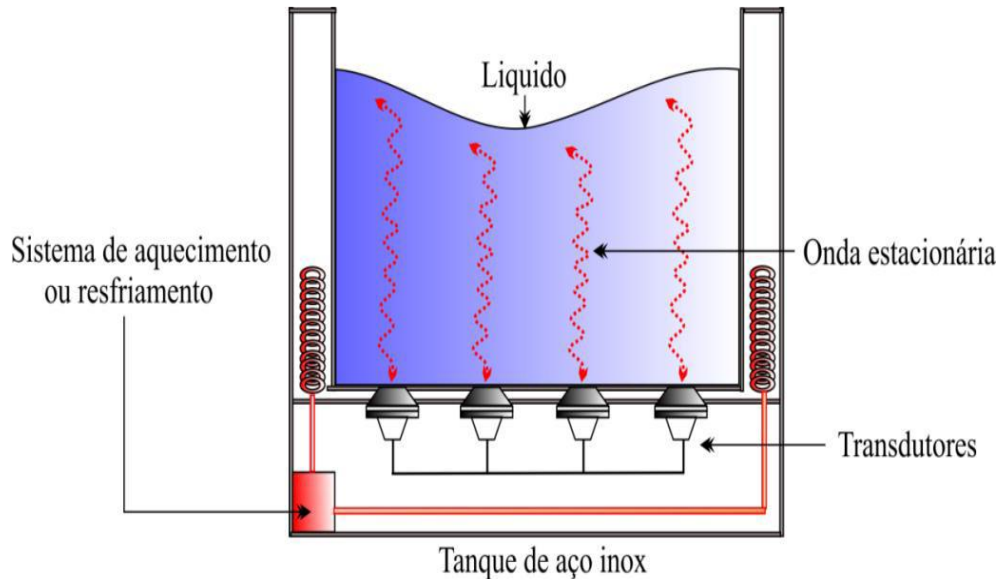
3.6.3. Equipamentos de ultrassom

As tecnologias emergentes são uma maneira simples de maximizar a eficiência do uso de recursos naturais, economizar energia e diminuir os custos de operação. Entre os processos alternativos, destaca-se a tecnologia de ultrassom (US), que pode reduzir os custos do processo e auxiliar na preservação de alimentos (CHEMAT; ZILL-E-HUMA; KHAN, 2011). São utilizadas duas formas de aplicação de ultrassom em alimentos: 1) Imersão em banho; 2) aplicação direta por sonda (CHEMAT; ZILL-E-HUMA; KHAN, 2011).

3.6.3.1. Banhos Ultrassônicos

Recentemente parte das pesquisas científicas publicadas utilizaram os sistemas de banhos ultrassônicos (CICHOSKI et al., 2015, 2019; ALVES et al., 2018a; FLORES et al., 2018; PINTON et al., 2019). O banho ultrassônico é o sistema mais comum e acessível em laboratórios. Possui uma carcaça metálica com transdutores piezoelétricos aderidos no fundo da carcaça. Quando os transdutores vibram transmitem vibrações para o líquido que preenche o recipiente, geralmente a água, que transfere essa energia ao alimento imerso nesse líquido. O número de transdutores pode variar, porém todos têm que vibrar na mesma fase, com isso, aumenta-se a quantidade de energia acústica produzida por unidade de superfície emitente. A potência gerada dependerá principalmente do número de transdutores e a frequência do tipo de transdutor (MASON, 2000; MULET et al., 2003). Os banhos ultrassônicos emitem baixas potências para evitar danos por cavitação nas paredes do tanque e a densidade de potência é baixa porque o volume dos líquidos nos tanques são geralmente grandes (POVEY; MASON, 1998). A Figura 7 ilustra o sistema de funcionamento de um banho ultrassônico.

Figura 7. Esquema de um banho ultrassônico.

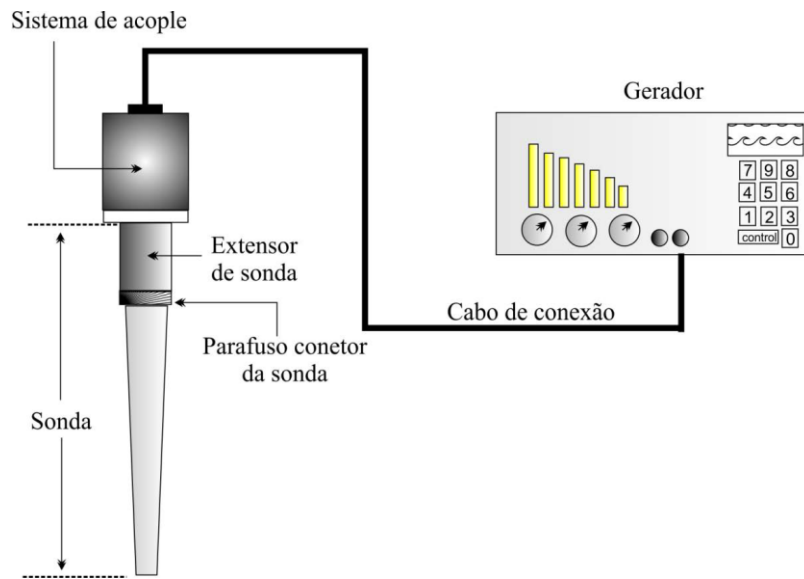


Fonte: VÉLEZ, (2015).

3.6.3.2. Sistema de sondas

Esse tipo de sistema possui controle de potência e é utilizado tanto em aplicações em líquidos, quanto em gases, sendo a energia ultrassônica produzida através de um transdutor por meio de uma sonda metálica. O gerador produz um sinal elétrico de acordo com a potência e frequência desejada e o transdutor piezoelétrico transforma essa energia elétrica em acústica, e por fim, a sonda, que tem a possibilidade de aplicar os sinais em modo contínuo ou em pulsos, transmite a energia acústica ao meio receptor (POLACHINI, 2015; POVEY; MASON, 1998).

Figura 8. Sistema de sonda para aplicação de ultrassom de potência.



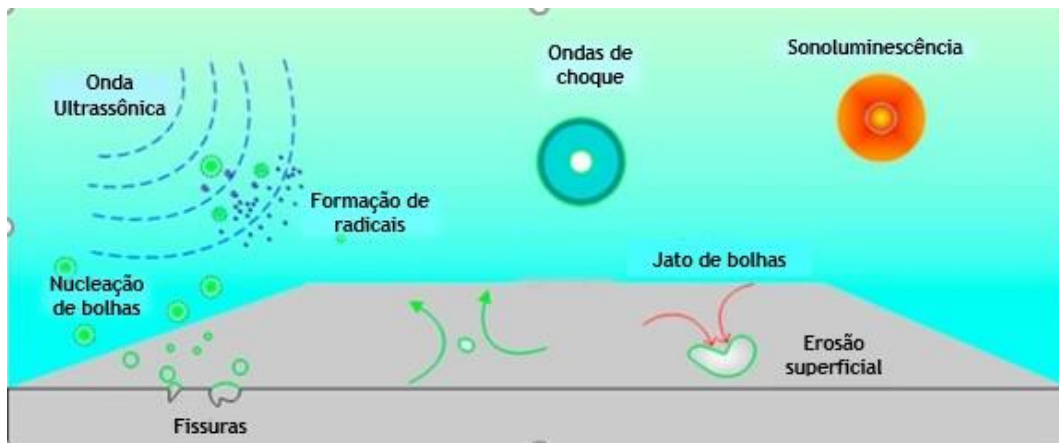
Fonte: VÉLEZ, (2015).

3.7. Mecanismos e Efeitos do Ultrassom

A aplicação de ultrassom a um sistema líquido provoca cavitação acústica, que é o fenômeno de geração, crescimento e eventual colapso das bolhas. À medida que as ondas de ultrassom se propagam, as bolhas oscilam e colapsam, podendo causar os efeitos térmicos, mecânicos e químicos, como mostrado na Figura 9. Os efeitos mecânicos incluem pressão de colapso, turbulências e tensões de cisalhamento, enquanto os efeitos químicos incluem a geração de radicais livres (LATEEF; OLOKE; PRAPULLA, 2007; YUSAF; AL-JUBOORI, 2014).

Se um fluido estiver sob tensão, as bolhas dentro dele se tornarão maiores, gerando bolhas macroscópicas dentro do fluido. As cavidades gasosas aumentam de tamanho até atingirem seu volume máximo. Assim, durante a expansão da onda de pressão, a energia potencial obtida durante o crescimento é transformada em energia cinética durante a implosão. As cavidades colapsam até que tamanhos de bolhas menores que os gerados originalmente sejam obtidos. Implosões de bolhas criam microjatos de fluido que afetam a interface (Figura 9). A velocidade média dos microjatos varia de 100 a 340 m/s, sendo dependente do perfil de pressão e do diâmetro inicial da bolha, que pode variar de 10 a 100 μm (ALARCON-ROJO et al., 2019).

Figura 9. Fenômeno da cavitação acústica.



Fonte: Adaptado de ALARCON-ROJO et al. (2019).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Parte I: Efeito do cruzamento entre raças bovinas e da aplicação de ultrassom sobre a cinética de transferência de massa durante o processo de salga úmida

4.1.1. Matéria prima

Foram utilizados cortes do músculo coxão duro (*biceps femoris*) proveniente de três cruzamentos genéticos entre raça Nelore, Angus e Wagyu. Os cortes foram fornecidos pela Empresa Beef Passion, onde o processo produtivo de cruzamento e cria dos animais, recria e engorda foram realizados em fazendas de inseminação artificial e melhoramento genético, denominadas Rodansechis localizadas em Nhandeara, estado de São Paulo. Os cruzamentos originam animais denominados:

- ✓ Cruzamento 1 (C1) - Meios sangue Angus ($\frac{1}{2}$ Angus e $\frac{1}{2}$ Nelore);
- ✓ Cruzamento 2 (C2) - $\frac{3}{4}$ Angus ($\frac{3}{4}$ Angus e $\frac{1}{4}$ Nelore);
- ✓ Cruzamento 3 (C3) - *Three cross* ($\frac{1}{2}$ Wagyu, $\frac{1}{4}$ Nelore e $\frac{1}{4}$ Angus);

Após a etapa de confinamento, os animais foram transportados e abatidos nas dependências do Frigorífico Olhos D'Água Indústria e Comércio de Carnes Ltda., situada na cidade de Ipuã, SP. O abate dos animais foi realizado seguindo as normas estabelecidas pelo Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RISPOA, 2017). Após o abate, as carcaças foram armazenadas em câmara fria sob refrigeração a 2 °C por 48 horas para então serem desossadas e separados os cortes do coxão duro. Foram abatidos 6 animais diferentes para cada cruzamento totalizando 18 animais, sendo coletados três bifes com aproximadamente 2,54 cm de espessura do coxão duro de cada animal. As amostras foram levadas para o Laboratório de Carnes e Produtos Derivados do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual Paulista — Júlio de Mesquita Filho (DETA – UNESP) onde foram armazenadas sob congelamento (-18°C) até a realização dos experimentos.

4.1.2. Composição Química

4.1.2.1. Umidade

A umidade foi determinada segundo a AOAC (2007), por meio de secagem das amostras em estufa a 105°C até peso constante.

4.1.2.2. Cinzas

A determinação do teor de cinzas foi realizada segundo a AOAC (2007), com as amostras sendo carbonizadas em mufla a 550°C.

4.1.2.3. Proteínas

As proteínas foram determinadas pelo método KJELDAHL, descrito na AOAC (2007), que consiste na determinação do conteúdo de nitrogênio total da amostra. Para conversão de nitrogênio em proteína bruta, foi utilizado um fator de 6,25.

4.1.2.4. Lipídeos

O conteúdo de lipídios foi determinado de acordo com o método descrito por Bligh; Dyer (1959). Os bifes de coxão duro sem gordura subcutânea, ou seja, somente a gordura presente no músculo (gordura intramuscular) representam os resultados sobre o grau de marmoreio.

4.1.3. pH

O pH da matéria prima antes do processo de salga úmida foi medido usando um medidor de pH digital PG 1800 (Gehaka, São Paulo, Brasil) que foi calibrado com duas soluções padrão (pH 4 e pH 7) a temperatura ambiente, com sonda de penetração. Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

4.1.4. Atividade de água

A atividade de água da matéria prima antes do processo de salga úmida foi determinada por meio de um higrômetro digital (Decagon Devices inc., Pullman, Aqualab Model Series 3).

4.1.5. Oxidação Lipídica (TBARS)

Os valores das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) da matéria prima antes do processo de salga úmida foram determinados conforme descrito por Vyncke (1970). A quantidade de TBARS foi expressa em mg de malonaldeído por quilograma de amostra ($\text{mg MDA} \cdot \text{kg}^{-1}$ de amostra). A leitura foi realizada a 532 nm e foi preparada uma curva padrão utilizando 1,1,3,3 tetraetoxipropano ($22,03\mu\text{g/mL}$) como solução padrão conhecida.

4.1.6. Preparo das amostras e da salmoura

A preparação das amostras e da salmoura e o processo de salga foi realizado de acordo com a metodologia proposta por Ojha et al. (2016), em que todas as amostras foram descongeladas por 24 horas a temperatura de 4°C , cortadas em fatias de peso e tamanho semelhantes, com aproximadamente 50 gramas, dimensão de 30 x 100 x 20 mm de (largura x comprimento x altura). Toda a gordura subcutânea e tecido conjuntivo foi removido antes da salga, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10. Amostras do coxão duro dos três cruzamentos.



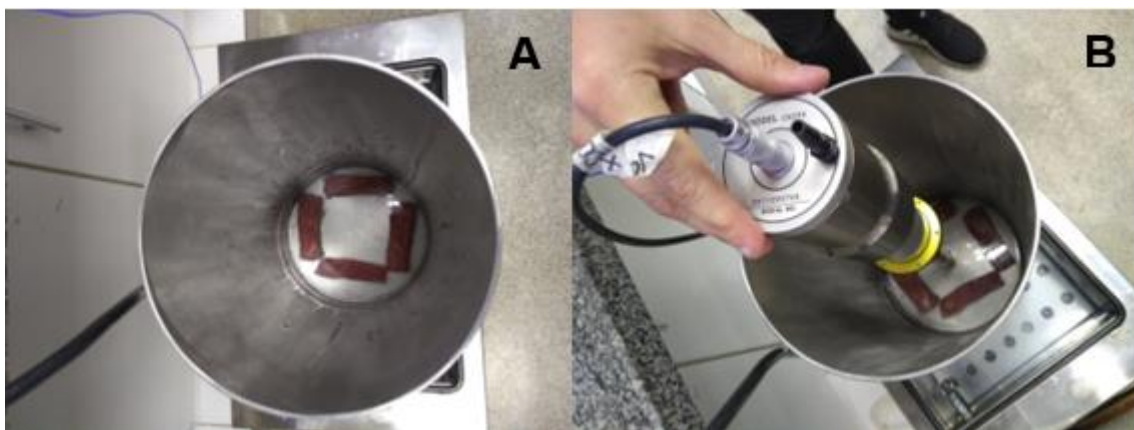
Fonte: Elaborado pelo autor.

A salmoura foi preparada na concentração de 50 g.L^{-1} e a proporção de peso entre a carne e a salmoura foi definida em 1:10 para assegurar concentração constante da solução durante o processo.

4.1.7. Tratamento por salga úmida

O processo de salga foi realizado em uma cuba de aço inoxidável cilíndrica com capacidade de 4 litros (21 cm de diâmetro, 42 cm de altura) que foi imersa em banho (Modelo MA 184, MARCONI, Piracicaba – Brasil) e depois submetida às ondas de ultrassom. O sistema consistiu de um processador de ultrassom VCX-1500 (Sonics & Materials Inc., Newtown, EUA) que emite ondas a uma frequência de 20 kHz. O processador foi equipado com uma sonda de titânio Ti-6Al-4V que emite ultrassom nas direções axial e radial (Sonics & Materials Inc., Newtown, EUA). A potência do ultrassom foi ajustada em 600 W de acordo com o estudo de Barretto et al. (2018). A sonda foi imersa na salmoura e posicionada no centro do recipiente como é mostrado na Figura 11. Durante o processo, a temperatura da salmoura foi mantida constante a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ colocando a cuba num banho de temperatura controlada. Também foi utilizado um termopar digital (Modelo MT 455, MINIPA) para controlar a variação de temperatura próxima a superfície da carne, que não variou acima de 1°C .

Figura 11. Salmouras: A) Estática; B) Com aplicação de ultrassom.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para cada tratamento ($n=6$), 4 amostras de coxão duro foram colocadas em salmouras (salmoura estática – SE e com aplicação de ultrassom – US), sendo uma amostra retirada em intervalos de 30, 60 e 120 minutos. Todas as amostras foram retiradas da salmoura e enxaguadas

em água destilada para remover a quantidade de sal superficial aderida. Em seguida, as amostras foram secas em papel filtro, embaladas a vácuo e armazenadas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para posterior análise. Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

4.1.8. Determinações analíticas durante o processo de salga úmida

4.1.8.1. Conteúdo de água

O conteúdo de água das amostras durante 0, 30, 60 e 120 minutos de tratamento por salga úmida foi determinado através da secagem das amostras a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ em estufa até peso constante (AOAC, 2007), sendo o resultado expresso em (%) em base úmida.

4.1.8.2. Conteúdo de NaCl

A concentração de NaCl das amostras durante 0, 30, 60 e 120 minutos de tratamento por salga úmida foi determinada através da quantificação de cloretos de acordo com o método de Möhr (AOAC, 2007), sendo o resultado expresso em (%) de cloretos.

4.1.9. Modelagem da transferência de massa

As amostras dos cortes submetidos aos tratamentos apresentavam geometria similar a um paralelepípedo, permitindo considerar a transferência de massa como sendo unidimensional na direção da menor dimensão. Supondo que as alterações de volume das amostras não eram significativas, e que as difusividades efetivas da água e do NaCl eram constantes a 5°C , o modelo matemático baseado na 2^o lei de Fick pode ser utilizado para determinar os coeficientes de difusão nas amostras durante a salga (CRANK, 1979; KANG et al., 2016; TELIS et al., 2004). Os coeficientes de difusão efetivo para água e para o NaCl foram calculados utilizando os seis primeiros termos da série através das Equações (3) e (4) a partir dos conteúdos determinados analiticamente em função do tempo de tratamento. Os conteúdos de água e de NaCl durante longos períodos de imersão (situação de equilíbrio) foram determinados por imersão em salmoura à 5% de NaCl por um período mínimo de 72 horas a 5°C .

$$\frac{C_{w,t} - C_{w,eq}}{C_{w,0} - C_{w,eq}} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} e^{\left(\frac{-D_s(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right)} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\frac{C_{s,t} - C_{s,eq}}{C_{s,0} - C_{s,eq}} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} e^{\left(\frac{-D_s(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right)} \quad (\text{Equação 4})$$

onde $C_{s,0}$ e $C_{w,0}$ são, respectivamente, o conteúdo inicial de NaCl e o teor de água na carne (expressos em (%)) de base seca). $C_{s,t}$ e $C_{w,t}$ correspondem à concentração de NaCl e o conteúdo de água na carne em determinado tempo t (s). C_{eq} indica o teor de NaCl ou o conteúdo de água durante longo período de imersão (situação de equilíbrio). L é a espessura da matéria-prima (m). D_s e D_w representam respectivamente os coeficientes de difusão efetivo de NaCl e de água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$).

4.2. Parte II: Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre a cinética de transferência de massa e propriedades tecnológicas durante o processo de salga úmida de carne bovina

4.2.1. Matéria prima

Para estudar o efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de sal em salmoura, foram utilizados cortes do músculo coxão duro (*bíceps femoris*) proveniente apenas do cruzamento 1 (C1) - Meios sangue Angus (½ Angus e ½ Nelore), sendo o cruzamento mais próximo de raças utilizadas pela indústria de carnes na elaboração de produtos cárneos salgados.

4.2.2. Preparo das amostras e da salmoura

O preparo das amostras ocorreu de acordo como descrito no item 4.1.6 da parte I. As salmouras foram preparadas utilizando água destilada e cloreto de sódio (NaCl) nas concentrações de 100, 200 e 300 g.L^{-1} . A proporção de peso entre a carne e a salmoura foi definida em 1:10 para assegurar concentração constante da solução durante o processo.

4.2.3. Propriedades das salmouras

A atividade de água (a_w) das salmouras em concentrações de 100, 200 e 300 g.L⁻¹ foram medidas utilizando o equipamento Aqualab (Modelo série 3; Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA) a 20 °C. A pressão osmótica (OP) está diretamente relacionada à atividade de água da salmoura (DIMAKOPOULOU-PAPAZOGLU; KATSANIDIS, 2016), podendo ser calculada pela Equação 5:

$$OP = -2.3026 \left(\frac{RT}{V} \right) \log (a_w) \quad (\text{Equação 5})$$

em que R é a constante universal dos gases (8,314 J/(K mol), T a temperatura da salmoura em K, V o volume molar (18 ml/mol de água) e a_w a atividade de água das salmouras.

A densidade das salmouras foi determinada utilizando um densímetro eletrônico digital (Meter – Modelo DMA 4500 – M, Anton Paar, Austria). A temperatura das salmouras foi estabilizada à 5 °C no próprio equipamento após a inserção de 50 mL de cada solução para cada medição de densidade.

4.2.4. Tratamento por salga úmida

O tratamento por salga úmida ocorreu de acordo como descrito no item 4.1.7 da parte I.

4.2.5. Determinações analíticas durante o processo de salga úmida

4.2.5.1. Conteúdo de água

O conteúdo de água das amostras durante 0, 30, 60 e 120 minutos de tratamento por salga úmida foi determinado por meio da secagem das amostras a 105 °C em estufa até peso constante (AOAC, 2007), sendo o resultado expresso em (%) de base úmida.

4.2.5.2. Conteúdo de NaCl

A concentração de NaCl das amostras durante 30, 60 e 120 minutos de tratamento por salga úmida foi determinada por meio da quantificação de cloretos de acordo com o método de

Möhr (AOAC, 2007), sendo o resultado expresso em (%) de cloretos.

4.2.5.3. Cor instrumental

A determinação da cor instrumental das amostras durante 30, 60 e 120 minutos de tratamento por salga úmida foi realizada utilizando um espectrofotômetro Colorflex EZ 45/0 (HunterLab, Reston, EUA) calibrado utilizando um padrão preto e branco. As amostras foram colocadas sobre o equipamento com inserção de entrada de 1.25 polegadas, ângulo iluminante D65, à temperatura ambiente. Por meio da escala de leitura CIELab, obteve-se os parâmetros L* (luminosidade), a* (vermelho-verde), b* (amarelo-azul).

4.2.5.4. Atividade de água (a_w)

A atividade de água (a_w) das amostras durante 0, 30, 60 e 120 minutos de tratamento por salga úmida foi determinada utilizando o equipamento Aqualab (Modelo série 3; Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA) a 20 °C.

4.2.5.5. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH das amostras durante 30, 60 e 120 minutos de tratamento por salga úmida foi determinado em triplicata usando um medidor de pH digital PG 1800 (Gehaka, São Paulo, Brasil). Aproximadamente 10g de amostra foram homogeneizadas em 90 mL de água destilada na proporção de (1:10), em um agitador magnético por 1 min. A solução foi filtrada em papel filtro (Whatman, N^o. 1) e o valor de pH foi determinado.

4.2.5.6. Oxidação lipídica (TBARS)

Os valores das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico das amostras durante 30, 60 e 120 minutos de tratamento por salga úmida foram determinadas de acordo com Vyncke (1970). O resultado foi expresso em mg de malonaldeído por quilograma de amostra (mg MDA · kg⁻¹). Foi preparado uma curva padrão usando 1.1.3.3 tetraetoxipropano. A leitura foi realizada a 532 nm.

4.2.5.7. Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

Os estudos de DSC foram realizados utilizando DSC 8000 (Pyris Series, Perkin Elmer) de acordo com a metodologia proposta por Siró et al. (2009). Apenas as amostras de carne tratadas durante 30 e 120 minutos de salga úmida foram analisadas. 9 a 10 mg de amostras foram obtidas do centro de cada fatia de carne e colocadas em cápsulas de metal hermeticamente seladas. A taxa de aquecimento foi realizada em uma faixa de 25 a 90 °C em 3 °C/min. Cada ensaio foi realizado pelo menos em quintuplicata.

4.2.6. Modelagem da transferência de massa

A modelagem da transferência de massa ocorreu de acordo como descrito no item 4.1.9 da parte I.

4.3. Análise Estatística

Os resultados foram expressos como média e o erro padrão da média. O método de tratamento - MT (salmoura estática – SE e salmoura com aplicação de ultrassom – US) o cruzamento entre as raças - CR (somente para a parte I), a concentração de NaCl em salmoura (somente para a parte II) e o tempo de tratamento – TT foram definidos como fatores na análise estatística. Um fator ou sua interação foi considerado significativo quando os valores de p foram menores que 0,05. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente usando o modelo linear generalizado (GLM) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para o cálculo dos coeficientes de difusão, o modelo foi ajustado aos dados experimentais utilizando os seis primeiros termos da série, sendo determinados por uma estimação não-linear usando o software Statistica 7.0 (Statsoft Inc., USA). Para avaliar a adequação do modelo aos dados experimentais, a porcentagem de variância explicada (%VAR) foi calculada por meio da Equação 6 (KANG et al., 2016a; SANJUÁN et al., 1999) e o erro quadrado médio (RMSE) calculado pela Equação 7 (SCHMIDT; CARCIOFI; LAURINDO, 2009).

$$\%VAR = 1 - \frac{S^2_{Cal}}{S^2_{exp}} \quad (\text{Equação 6})$$

onde S_{cal}^2 e S_{exp}^2 são respectivamente os valores calculados e os dados experimentais.

$$RMSE = \frac{1}{n} \left[\sum n (C_{predito} - C_{exp})^2 \right]^{0,5} \quad (\text{Equação 7})$$

onde C_{exp} e C_{pred} são, respectivamente, as concentrações experimentais e as previstas pelo modelo e n o número de valores experimentais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Parte I: Efeito do cruzamento entre raças bovinas e da aplicação de ultrassom sobre a cinética de transferência de massa durante o processo de salga úmida

5.1.1. Composição centesimal

A Tabela 1 mostra o efeito do cruzamento genético entre três raças bovinas (Angus, Wagyu e Nelore) sobre a composição centesimal do coxão duro, pH, atividade de água e índice de TBARS. O cruzamento entre as raças não influenciou ($p \geq 0,05$) os conteúdos de umidade e cinzas, mas afetou ($p \leq 0,05$) os teores de lipídeos e proteínas. Rossato et al. (2010) também não encontraram diferenças nos conteúdos de umidade e cinzas em carne bovina proveniente do cruzamento entre raças Nelore e Angus terminados a pasto.

Para o teor de gordura, C3 foi maior ($p \leq 0,05$) que C2 e C2 foi maior ($p \leq 0,05$) que C1. Essa diferença se deve ao cruzamento com o gado Wagyu e seu intenso marmoreio (MOTOYAMA; SASAKI; WATANABE, 2016; YAMADA; HIGUCHI; NAKANISHI, 2014) principalmente quando comparado ao cruzamento C1, que contém maior contribuição do grupo genético Nelore.

Tabela 1. Composição centesimal, pH, atividade de água e índice de TBARS.

	C1	C2	C3	SEM	P valor
Umidade	63,56 ^a	63,98 ^a	63,29 ^a	0,561	0,907
Cinzas	0,84 ^a	0,84 ^a	0,86 ^a	0,064	0,990
Proteínas	20,59 ^a	19,66 ^b	17,24 ^c	0,355	< 0,01
Lipídeos	13,89 ^c	15,75 ^b	18,57 ^a	0,709	< 0,01
pH	5,68 ^a	5,72 ^a	5,71 ^a	0,011	0,467
Aw	0,984 ^a	0,985 ^a	0,986 ^a	0,004	0,100
TBARS	0,14 ^a	0,13 ^a	0,13 ^a	0,006	0,762

a-c Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$). C1 = (½ Angus e ½ Nelore); C2 = (¾ Angus e ¼ Nelore); C3 = (½ Wagyu, ¼ Nelore e ¼ Angus). SEM - Erro padrão da média.

Dias et al. (2016) também encontraram maior teor de gordura em carne de animais Wagyu quando comparado a carne de animais Nelore. Duarte et al. (2013) estudaram o teor de gordura intramuscular de animais *Angus* e *Wagyu* manejados sob as mesmas condições e concluíram que o conteúdo de gordura intramuscular foi melhorado no gado *Wagyu*.

Para o conteúdo de proteínas, C1 apresentou um teor significativamente maior ($p \leq 0,05$) quando comparado a C2, e este mostrou um teor significativamente maior ($p \leq 0,05$) comparado ao cruzamento C3. O menor conteúdo de proteínas do cruzamento C3 provavelmente está relacionado ao seu alto conteúdo de lipídeos, que segundo Lawrie; Rubensam (2005) na composição centesimal de carnes, o teor de lipídeos é o parâmetro com maior variação, e que quando este é aumentado ocorre diminuição dos outros parâmetros como umidade, cinzas ou proteínas. Maggioni et al. (2010) também encontraram maior percentual de proteínas em bovinos da raça Nelore quando comparados a animais cruzados. Quanto aos resultados de pH, atividade de água e índice de TBARS, o cruzamento entre as raças não mostrou influência significativa ($p \geq 0,05$). Os resultados obtidos para o pH e atividade de água estão próximos aos encontrados por Bampi et al. (2016) em amostras de carne bovina, sendo 5,6 para o pH e 0,99 para atividade de água.

5.1.2. Teor de água durante a salga úmida

A Tabela 2 mostra o efeito do cruzamento genético entre três raças bovinas e a aplicação de ultrassom no transporte de água durante a salga dos cortes de carne bovina.

Tabela 2. Efeito do cruzamento entre raças e da aplicação de ultrassom no teor de água (%) durante salga úmida dos cortes de carne bovina.

Tempo (min)	Tratamentos						SEM 1	<i>P</i> valor		
	Salmoura estática (SE)			Salmoura com ultrassom (US)						
	C1	C2	C3	C1	C2	C3		MT	CR	MT X CR
0	62,89 ^{aC}	63,18 ^{aB}	62,72 ^{aA}	62,89 ^{aC}	63,18 ^{aC}	62,72 ^{aB}	0,226	0,346	0,432	0,134
30	63,09 ^{bcBC}	63,04 ^{cB}	62,66 ^{cA}	63,84 ^{abBC}	64,21 ^{aBC}	62,40 ^{cB}	0,130	0,035	< 0,01	0,026
60	64,52 ^{abAB}	63,71 ^{abAB}	63,23 ^{bA}	65,03 ^{aB}	64,73 ^{abBC}	63,23 ^{bB}	0,186	0,102	< 0,01	0,405
120	65,89 ^{bA}	65,16 ^{bA}	63,17 ^{cA}	68,42 ^{aA}	67,68 ^{aA}	64,64 ^{bA}	0,334	< 0,01	< 0,01	0,180
<i>P</i> Valor	< 0,01	0,019	0,708	< 0,01	< 0,01	< 0,01				
	Salmoura estática (SE)			Salmoura com ultrassom (US)						
SEM 2		0,145		0,205						
<i>P</i> Valor	TT	< 0,01		< 0,01						
	CR	< 0,01		< 0,01						
	TT X CR	0,055		< 0,01						

a-c Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$). A-C Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$). SEM 1 - Erro padrão da média para o método de tratamento (MT) e cruzamento entre raças (CR) em cada tempo de tratamento. SEM 2 - Erro padrão da média para o tempo de tratamento (TT) e cruzamento entre raças (CR) para salmoura estática e US. C1 = (½ Angus e ½ Nelore). C2 = (¾ Angus e ¼ Nelore). C3 = (½ Wagyu, ¼ Nelore e ¼ Angus). MT – Método de tratamento. CR – Cruzamento entre raças. TT – Tempo de tratamento.

Em relação ao teor de água inicial das amostras, não houve diferença ($p \geq 0,05$) entre os cruzamentos. Após 30 minutos de tratamento, houve efeito ($p \leq 0,05$) do método de tratamento (MT), do cruzamento entre as raças (CR) e da interação entre essas variáveis (MT x CR), onde C1-US e C2-US associados ao tratamento com ultrassom apresentaram os maiores teores de água. Em contrapartida, C3-US associado ao tratamento com ultrassom e C2 e C3 tratados em salmoura estática não diferem entre si ($p \geq 0,05$) possuindo o menor teor de água. Após 60 minutos de tratamento, houve efeito ($p \leq 0,05$) do cruzamento entre as raças (CR), onde o C1-US associado ao tratamento com ultrassom diferiu ($p \leq 0,05$) de C3-US e C3-SE, mas não diferiram ($p \geq 0,05$) de C2-US e C1-SE e C2-SE tratados em salmoura estática. Após 120 minutos, somente o método de tratamento (MT) e o cruzamento entre as raças (CR) mostraram efeito ($p \leq 0,05$), onde o C1-US e C2-US com aplicação de ultrassom apresentaram o maior ($p \leq 0,05$) teor de água, não diferindo entre si ($p \geq 0,05$).

Os resultados indicam que o efeito da aplicação de ultrassom e dos cruzamentos entre raças afetaram no teor de água nos cortes de carne bovina, pois ao aplicar o ultrassom, o teor de água aumentou significativamente com o tempo de processamento e foi maior ($p \leq 0,05$) quando associado aos cruzamentos C1 e C2. Esse efeito pode ter sido consequência da aplicação do ultrassom causando implosões assimétricas das bolhas de cavitação próximo da superfície sólida dos cortes, gerando microjatos que causam microinjeção de salmoura na direção da superfície da carne afetando a transferência de massa (ALARCON-ROJO et al., 2019; CÁRCEL et al., 2007).

A composição dos cortes provenientes dos cruzamentos também pode ter influenciado nesses resultados, considerando que os cruzamentos C1 e C2 que apresentaram os maiores ($p \leq 0,05$) teores de água durante a salga e os menores ($p \leq 0,05$) teores de lipídeos quando comparados ao cruzamento C3. O maior teor de lipídeos intramuscular do cruzamento C3 provavelmente dificultou o transporte de água. A água pode se ligar fortemente com os constituintes sólidos do alimento e estabelecer ligações iônicas principalmente com moléculas hidrofílicas como as proteínas, diferente das moléculas hidrofóbicas como é o caso das gorduras que possuem natureza apolar (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Como todas as amostras deste experimento ganharam água na concentração de NaCl de 5% pode-se atribuir este fato ao fenômeno “salting in” das proteínas. Neste fenômeno com o aumento da solubilidade das proteínas em baixas concentrações de sais em solução ocorre contribuição para a solubilização e hidratação das proteínas musculares fazendo com que os íons salinos interajam com as cargas iônicas das proteínas elevando o número disponível de cargas e a quantidade de moléculas de água fixadas à ionosfera proteica, causando maior

retenção de água na carne bovina e conseqüentemente o aumento de água (SCHMIDT; CARCIOFI; LAURINDO, 2009).

5.1.3. Teor de NaCl durante a salga úmida

A Tabela 3 mostra o efeito do cruzamento genético entre três raças bovinas e a aplicação de ultrassom no transporte de NaCl em diferentes tempos de tratamento durante a salga úmida. Inicialmente não houve diferença ($p \geq 0,05$) nos teores de NaCl entre os cruzamentos. Em 30 minutos de salga úmida, somente houve efeito do método de tratamento (MT) onde os cruzamentos C1-US e C3-US tiveram o maior conteúdo de NaCl, diferindo de C2-SE.

Após 60 minutos de tratamento, a aplicação de ultrassom e o cruzamento entre as raças mostraram efeitos, onde C1-US, C2-US e C3-US não diferiram ($p \geq 0,05$) de C3-SE, sendo que C3-SE diferiu ($p \leq 0,05$) apenas de C1-SE sem aplicação de ultrassom. Após 120 minutos de tratamento, houve efeito do método de tratamento (MT), do cruzamento entre as raças (CR) e da interação entre essas duas variáveis (MT x CR). C2-US e C3-US apresentaram os maiores ($p \leq 0,05$) teores de NaCl, diferente de C1-SE e C2-SE que apresentaram os menores teores de NaCl.

Os resultados mostraram que o método de tratamento (MT), o cruzamento entre raças (CR) e a interação entre esses fatores (MT x CR) influenciaram significativamente o teor de NaCl da carne bovina. Na salmoura com aplicação de ultrassom (US), houve também interação entre o tempo de tratamento (TT) e o cruzamento entre as raças (CR). O teor de NaCl na carne aumentou ($p \leq 0,05$) com o tempo de tratamento, tanto na salmoura estática (SE) quanto na salmoura com aplicação de ultrassom (US). Ao tratar os mesmos tempos, as amostras com aplicação de ultrassom apresentaram maior ($p \leq 0,05$) teor de NaCl quando comparadas a amostras tratadas sob condições estáticas. Neste caso, o efeito da aplicação do ultrassom também pode ser explicado com base nas cavitações induzidas no meio líquido, que podem ter levado a formação de microjatos que causaram microinjeção de salmoura na superfície da carne (CÁRCEL et al., 2007; KANG et al., 2016).

Quanto ao efeito do cruzamento entre as raças, os resultados dos três cruzamentos tratados em salmoura estática – SE não diferem entre si. Entretanto, ao aplicar o ultrassom, as amostras do cruzamento C3-US diferem de todos os cruzamentos tratados em salmoura estática - SE e C1-US tratada em salmoura com aplicação de ultrassom.

Tabela 3. Efeito do cruzamento entre raças e da aplicação de ultrassom no teor de NaCl (%) durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.

Tempo (min)	Tratamentos						SEM 1	P Valor		
	Salmoura estática (SE)			Salmoura com ultrassom (US)						
	C1	C2	C3	C1	C2	C3		MT	CR	MT X CR
0	0,031 ^{aD}	0,022 ^{aD}	0,022 ^{aD}	0,031 ^{aD}	0,022 ^{aD}	0,022 ^{aD}	0,002	0,461	0,422	0,164
30	0,398 ^{abC}	0,359 ^{bC}	0,396 ^{abC}	0,451 ^{aC}	0,409 ^{abC}	0,433 ^{aC}	0,007	< 0,01	0,110	0,418
60	0,531 ^{cB}	0,541 ^{bcB}	0,591 ^{abB}	0,624 ^{aB}	0,600 ^{aB}	0,642 ^{aB}	0,008	< 0,01	< 0,01	0,301
120	0,832 ^{cA}	0,821 ^{cA}	0,860 ^{bcA}	0,865 ^{bcA}	0,929 ^{abA}	0,985 ^{aA}	0,012	< 0,01	< 0,01	0,039
P Valor	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01				
	Salmoura estática (SE)			Salmoura com Ultrassom (US)						
SEM 2		0,0304			0,032					
P Valor	TT	< 0,01			< 0,01					
	CR	< 0,01			< 0,01					
	TT X CR	0,133			< 0,01					

a-c Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$). A-D Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$). SEM 1 - Erro padrão da média para o método de tratamento (MT) e cruzamento entre raças (CR) em cada tempo de tratamento. SEM 2 - Erro padrão da média para o tempo de tratamento (TT) e cruzamento entre raças (CR) para salmoura estática e US. C1 = (½ Angus e ½ Nelore). C2 = (¾ Angus e ¼ Nelore). C3 = (½ Wagyu, ¼ Nelore e ¼ Angus). MT – Método de tratamento. CR – Cruzamento entre raças. TT – Tempo de tratamento.

Uma hipótese considerada é a de que o cruzamento entre raças pode proporcionar diferenças no diâmetro das fibras musculares. Arrigoni et al. (2004) estudando sobre o desempenho, fibras musculares e carne de bovinos de três grupos genéticos (Angus x Nelore; Canchim x Nelore; e Simental x Nelore) concluíram que os animais mestiços Angus x Nelore possuem menor diâmetro de fibra muscular quando comparado aos outros dois grupos genéticos. Duarte et al. (2013) relataram em seu estudo que o diâmetro da fibra muscular foi maior no gado Wagyu do que no gado Angus. Segundo Joo, Kim, Hwang, Ryu (2013), as características das fibras musculares dependem de vários fatores como gênero (OZAWA et al., 2000), dieta (HA et al., 2012), desempenho de crescimento (KIM et al., 2013), localização muscular (HWANG et al., 2010) e raça (RYU et al., 2008).

O tratamento com ultrassom também pode ter causado os efeitos mecânicos decorrentes do fenômeno de cavitação, os quais por sua vez, podem ter causado um aumento nos espaços entre as fibras musculares dos cortes dos cruzamentos C2-US e C3-US, proporcionando aumento na transferência de NaCl. Siró et al. (2009) relataram uma maior distância entre as fibras musculares das amostras tratadas em salmoura com aplicação de ultrassom – US quando comparadas as amostras tratadas em salmoura estática – SE, e que esta distância aumentou com o aumento do tempo de tratamento e intensidade ultrassônica. É possível, portanto, ter havido interação entre os cruzamentos C2-US e C3-US associados aos tratamentos com ultrassom proporcionando o aumento na taxa de transferência de massa.

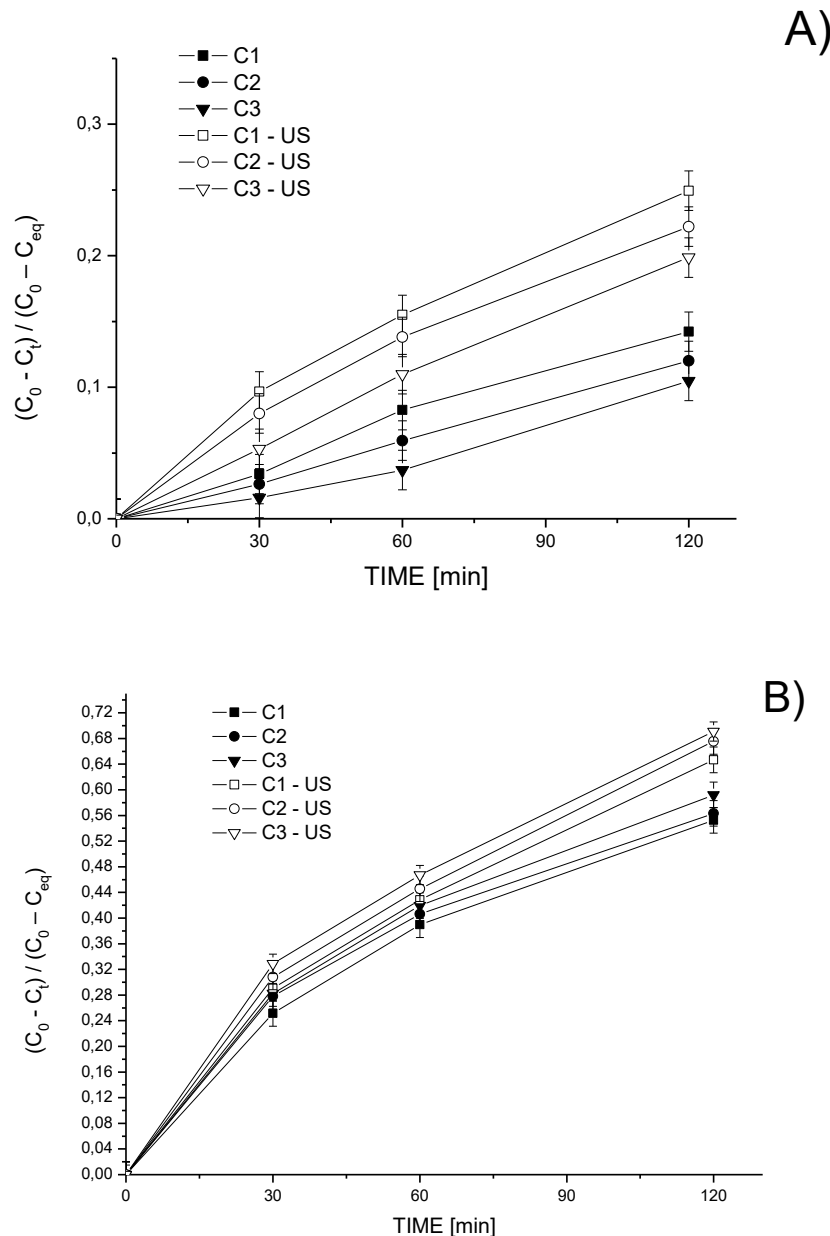
5.1.4. Coeficiente de difusão efetivo de água e de NaCl durante a salga úmida

A Figura 12 mostra respectivamente as cinéticas de difusão de água (a) e de NaCl (b) nas amostras tratadas em salmoura estática – SE e salmoura com aplicação de ultrassom – US. Observa-se que as taxas de difusão de água e de NaCl aumentaram com o tempo de salga em todos os tratamentos, sendo observado uma maior taxa de difusão tanto de água quanto de NaCl durante os primeiros 30 minutos de salga em todos os tratamentos. Este fato pode ser explicado devido ao maior gradiente de concentração entre as amostras e a salmoura. As taxas de difusão de água e de NaCl foram mais elevadas em amostras tratadas em salmoura com aplicação de ultrassom – US.

Uma das hipóteses é que a aplicação de ultrassom pode ter causado um aumento na distância entre as fibras musculares permitindo a maior difusão da salmoura nos cortes. A partir de resultados da aplicação de ultrassom, autores tem propostos diversos mecanismos para explicar os seus efeitos, que incluem as implosões de bolhas de cavitação próximo da superfície

do produto (CÁRCEL et al., 2007a; KNORR et al., 2004; SIRÓ et al., 2009), a criação de microcanais e o efeito esponja, que podem influenciar o processo de transferência de massa (SIRÓ et al., 2009).

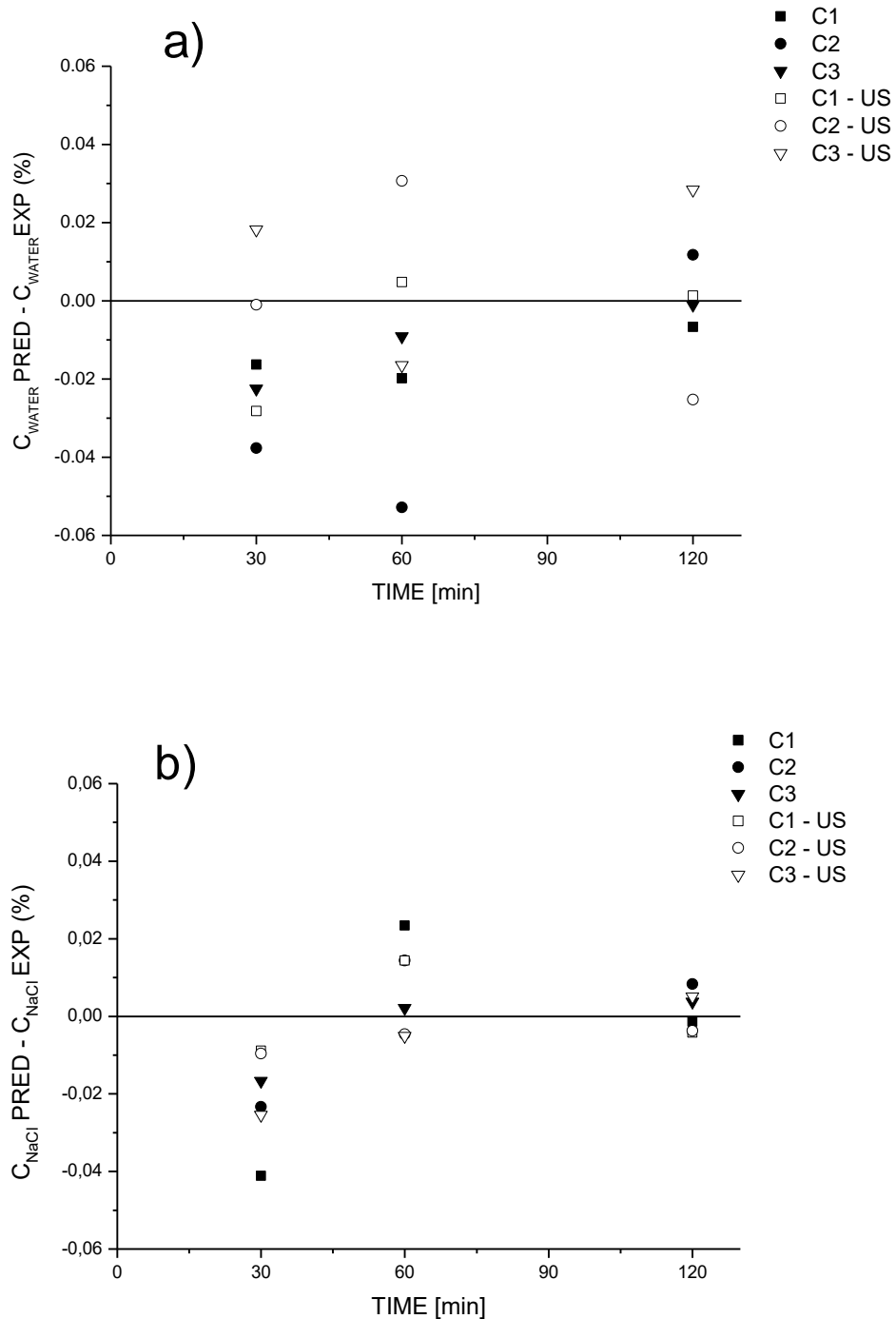
Figura 12. Cinética de difusão de água (A) e NaCl (B) em amostras tratadas em salmoura estática (SE) e salmoura com aplicação de ultrassom (US).



C1 = (½ Angus e ½ Nelore). C2 = (¾ Angus e ¼ Nelore). C3 = (½ Wagyu, ¼ Nelore e ¼ Angus). C1 - US = (½ Angus e ½ Nelore) tratado com aplicação de ultrassom. C2 - US = (¾ Angus e ¼ Nelore) tratado com aplicação de ultrassom. C3 - US = (½ Wagyu, ¼ Nelore e ¼ Angus) tratado com aplicação de ultrassom.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13. Resíduo entre os valores previstos e experimentais do conteúdo de água (a) e conteúdo de NaCl (b) em amostras tratadas em salmoura estática (SE) e salmoura por ultrassom (US).



C1 = (½ Angus e ½ Nelore). C2 = (¾ Angus e ¼ Nelore). C3 = (½ Wagyu, ¼ Nelore e ¼ Angus). C1 - US = (½ Angus e ½ Nelore) tratado com aplicação de ultrassom. C2 - US = (¾ Angus e ¼ Nelore) tratado com aplicação de ultrassom. C3 - US = (½ Wagyu, ¼ Nelore e ¼ Angus) tratado com aplicação de ultrassom.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 4 mostra o efeito do cruzamento genético entre as raças bovinas e a aplicação de ultrassom sobre o coeficiente de difusão de água e de NaCl durante a salga úmida de carne bovina. No presente estudo, para avaliar o processo de salga, várias considerações foram assumidas no modelo de difusão de Fick que descreve os fenômenos de transferência de massa.

Apesar das várias hipóteses adotadas, obteve-se boa concordância entre os valores preditos e os dados experimentais, apresentando porcentagens de variação explicada (%VAR) acima de 98%, baixos erros – RMSE (0.0008 – 0.0048) e baixos resíduos como mostra a Figura 13 para os coeficientes de difusão efetivo de água e NaCl, demonstrando que o modelo matemático baseado na lei de Fick foi capaz de prever os coeficientes efetivos de difusão de água e NaCl no processo de salga úmida (Tabela 4).

Em relação ao coeficiente de difusão efetivo para a água, houve efeito do método de tratamento (MT), do cruzamento entre as raças (CR) e da interação entre esses fatores (MT x CR), de modo que as amostras dos três cruzamentos tratadas em salmoura com aplicação de ultrassom (US) apresentaram os maiores ($p \leq 0,05$) coeficientes efetivos de difusão da água quando comparadas as amostras tratadas em salmoura estática (SE). Ainda, a amostra do cruzamento C1–US apresentou o maior ($p \leq 0,05$) coeficiente de difusão e as amostras C2–SE e C3–SE apresentaram os menores ($p < 0,05$) coeficientes de difusão efetivos para água. C1–SE e C3–SE diferem entre si ($p \leq 0,05$), mas não diferem ($p \geq 0,05$) de C2–SE. O aumento do coeficiente de difusão efetivo para a água no tratamento em salmoura com aplicação de ultrassom (US) está consistente com os resultados encontrados em outros estudos (CÁRCEL et al., 2007; KANG et al., 2016).

A influência do cruzamento entre as raças (CR) pode estar relacionada às diferenças na composição química dos cortes resultantes dos cruzamentos, nas quais uma matéria prima com maior teor de lipídeos como é o caso das amostras do cruzamento C3, comparado as amostras do cruzamento C1, apresentaram menores coeficientes de difusão. O maior conteúdo de lipídeos de C3 provavelmente dificultou o processo de difusão de água. Quanto ao efeito de interação entre o método de tratamento (MT) e o cruzamento entre as raças (CR), a aplicação de ultrassom quando associada a uma matéria prima com maior conteúdo de proteínas parece favorecer o fenômeno de difusão de água.

Tabela 4. Efeito do cruzamento entre raças e da aplicação de ultrassom sobre o coeficiente de difusão efetivo de água e NaCl durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.

	Coeficiente de difusão de água						SEM	P Valor							
	Salmoura estática (SE)			Salmoura com ultrassom (US)				MT	CR	MT X CR					
	C1	C2	C3	C1	C2	C3									
D_{ef} (10^{-10} m ² /s)	2,95 ^d	2,38 ^{de}	1,76 ^e	4,30 ^a	3,58 ^b	3,18 ^c	0,00014	< 0,01	< 0,01	< 0,01					
%VAR	98,98	98,99	99,00	98,99	98,99	98,98									
RMSE	0,0018	0,0012	0,0012	0,0010	0,0009	0,0008									
	Coeficiente de difusão de NaCl						SEM	MT	CR	MT X CR					
	D_{ef} (10^{-10} m ² /s)	32,72 ^b	31,43 ^b	34,65 ^b	39,17 ^a	39,63 ^a					44,97 ^a	0,00008	< 0,01	0,512	0,535
	%VAR	98,96	98,96	98,96	99,02	98,97					98,94				
	RMSE	0,0046	0,0048	0,0039	0,0023	0,0024					0,0053				

a-e Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). C1 = (½ Angus e ½ Nelore). C2 = (¾ Angus e ¼ Nelore). C3 = (½ Wagyu, ¼ Nelore e ¼ Angus). MT – Método de tratamento. CR – Cruzamento entre raças. SEM - Erro padrão da média. %VAR = Porcentagem de variância explicada. RMSE = Erro quadrado médio.

Os efeitos microestruturais decorrentes da aplicação de ultrassom já relatados por diversos autores (CÁRCEL et al., 2007a; KANG et al., 2016a; OZUNA et al., 2013; SIRÓ et al., 2009) podem aumentar os espaços entre as fibras musculares; este fato somado ao maior conteúdo de proteínas disponíveis para se ligarem à água podem ter contribuído para o aumento da solubilidade e hidratação das proteínas musculares.

Quanto aos coeficientes de difusão efetivo do NaCl, somente houve efeito do método de tratamento (MT), nos quais todos os cruzamentos tratados em salmoura com aplicação de ultrassom (US) mostraram os maiores coeficientes de difusão para o NaCl, não diferindo entre si ($p \geq 0,05$) mas diferindo ($p \leq 0,05$) de todas as amostras tratadas em salmoura estática – SE. As diferenças encontradas nos teores de NaCl (Tabela 3) como consequência do cruzamento entre as raças (CR), observados no item 5.1.3 são significativas ($p \leq 0,05$), porém essas diferenças nos teores de cloretos não foram capazes de causar alterações significativas ($p > 0,05$) no coeficiente de difusão do NaCl.

5.2. Parte II: Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre a cinética de transferência de massa e propriedades tecnológicas durante o processo de salga úmida de carne bovina

5.2.1. Propriedades das salmouras

Os resultados de densidade, atividade de água (a_w) e pressão osmótica (OP) das salmouras são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Propriedades físico-químicas das salmouras a 5°C.

Propriedades	Concentrações das salmouras			SEM	P Valor
	10%	20%	30%		
Densidade (Kg/m ³)	1069,67 ^c	1137,134 ^b	1203,358 ^a	0,204	< 0,01
Atividade de água*	0,943 ^a	0,871 ^b	0,771 ^c	0,198	< 0,01
Pressão osmótica (Mpa)	7,41 ^c	17,61 ^b	33,17 ^a	0,124	< 0,01

* Medições realizadas a 20 ° C. a-c Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). SEM - Erro padrão da média.

O aumento da concentração de NaCl nas salmouras acarretaram soluções mais ($p \leq 0,05$) densas, com menor ($p \leq 0,05$) atividade de água e maior ($p \leq 0,05$) pressão osmótica. Este fato já era esperado, uma vez que o aumento da concentração de NaCl nas soluções tinha exatamente a finalidade de conferir uma maior pressão osmótica e menor atividade de água nas soluções, causando uma maior diferença entre as pressões osmóticas do meio hipertônico e das amostras.

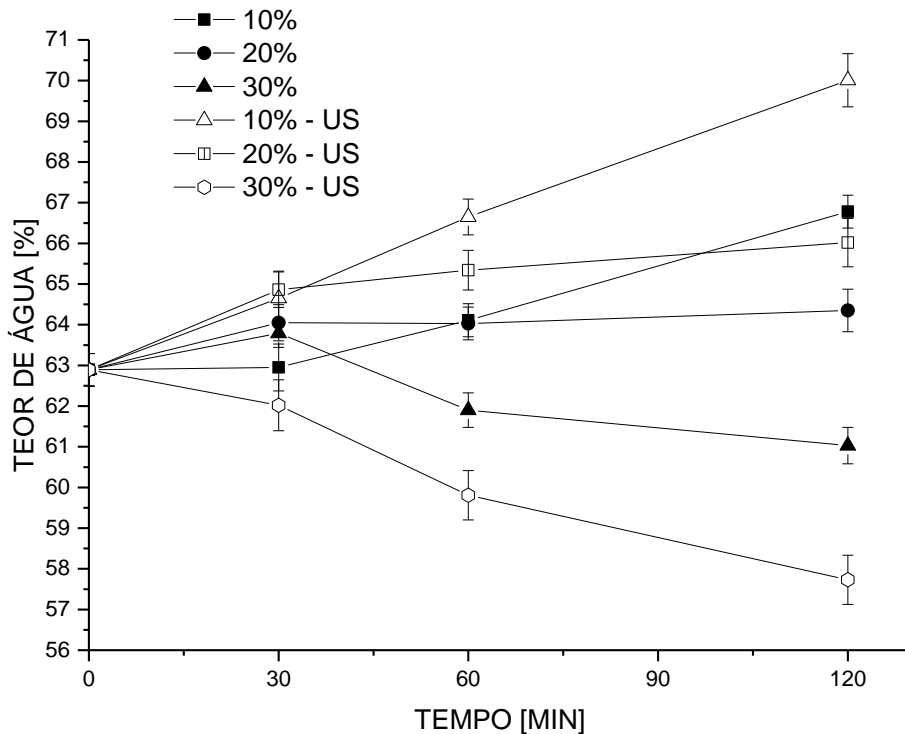
5.2.2. Teor de água durante a salga úmida

A Figura 14 mostra a cinética de variação do teor de água na carne bovina salgada durante o processo de salga úmida em salmoura estática (SE) e salmoura com aplicação de ultrassom (US) usando diferentes concentrações de NaCl (SC). Durante todos os tempos de tratamento houve efeito do método de tratamento (MT), da concentração de NaCl (CS) e da interação entre essas variáveis (MT x CS). A concentração de NaCl na salmoura (CS) foi o principal fator que determinou a direção do fluxo de água durante o processo de salga úmida. O teor inicial de água na carne era de 64,72 % e os tratamentos 10 – SE e 10 – US ganharam ($p \leq 0,05$) água com o passar do tempo de tratamento (TT), sendo que o maior ($p \leq 0,05$) ganho de água foi encontrado nas amostras do tratamento 10 – US.

Como todas as amostras tratadas a 10% de NaCl em salmoura ganharam água independentemente do método de tratamento (MT), pode-se atribuir esse resultado ao fenômeno “salting-in” das proteínas, onde há um aumento da solubilidade de proteínas em baixas concentrações de sais em solução, contribuindo para a solubilização e hidratação das proteínas musculares, fazendo com que os íons salinos interajam com as cargas iônicas das proteínas, aumentando o número disponível de cargas e a quantidade de moléculas de água ligadas à ionosfera proteica, causando maior retenção de água na carne bovina e consequentemente maior teor de água (PAULA et al., 2019).

As amostras do tratamento 20 – SE não perderam nem ganharam água, apresentando um conteúdo de água semelhante ($p \geq 0,05$) ao teor inicial da carne bovina. Entretanto, quando o ultrassom foi aplicado às amostras do tratamento 20 – US, estas apresentaram ganho de água ($p \leq 0,05$) após 120 minutos de salga úmida. No entanto, quando a concentração de NaCl em salmoura aumentou para 30%, tanto as amostras do tratamento 30 – SE como as amostras do tratamento 30 – US sofreram desidratação ($p \leq 0,05$), que foi maior ($p \leq 0,05$) em amostras do tratamento 30 – US. Provavelmente a maior pressão osmótica ($p \leq 0,05$) das salmouras (Tabela 5) contendo 30% de NaCl causou a exsudação da água (BAMPI et al., 2016).

Figura 14. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre o teor de água (%) em carne bovina.



10% = salmoura com 10% de NaCl. 20% = salmoura com 20% de NaCl. 30% = salmoura com 30% de NaCl. 10% - US = salmoura com 10% de NaCl + aplicação de ultrassom. 20% - US = salmoura com 20% de NaCl + aplicação de ultrassom. 30% - US = salmoura com 30% de NaCl + aplicação de ultrassom.

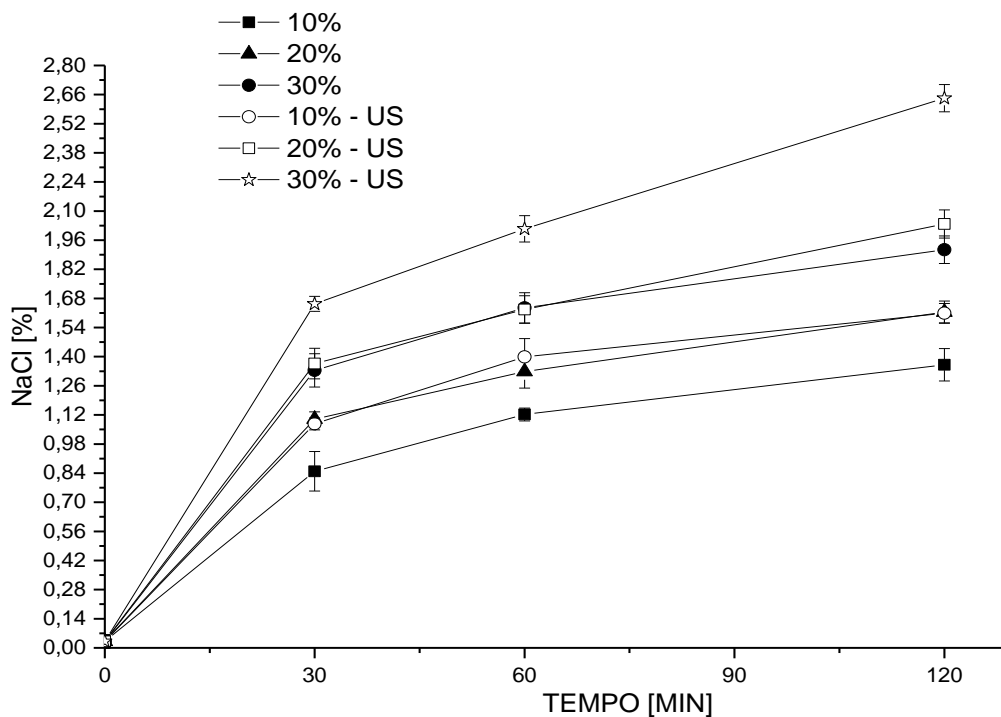
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados da Tabela 10 mostraram que a aplicação de ultrassom aumentou o coeficiente de difusão efetivo de NaCl comparado as amostras tratadas em condições estáticas e os estudos térmicos de DSC (Tabelas 8 e 9) mostraram que a aplicação do ultrassom enfraqueceu a estrutura das proteínas, causando diminuição da temperatura e entalpia de desnaturação das proteínas, o que pode ter contribuído para uma maior saída de água nas amostras do tratamento 30 – US. Estes resultados nos levam a crer que os fenômenos de hidratação e desidratação não dependeram apenas da concentração de NaCl suplementada em salmoura, mas também das interações que ocorreram entre a concentração de NaCl e as mudanças estruturais na matriz do produto decorrente da aplicação de ultrassom.

5.2.3. Teor de NaCl durante a salga úmida

A Figura 15 mostra a cinética de variação do conteúdo de NaCl nos cortes de carne bovina durante o processo de salga úmida em salmoura estática (SE) e salmoura com aplicação de ultrassom (US) em diferentes concentrações de NaCl (CS). Os efeitos do método de tratamento (MT) e da concentração de NaCl em salmoura (CS) afetaram significativamente ($p \leq 0,05$) o teor de NaCl na carne bovina durante todos os tempos de tratamento, e o efeito de interação entre o método de tratamento e a concentração de sal (MT x CS) só foi significativo ($p \leq 0,05$) durante 120 minutos de salga úmida. O tempo de tratamento (TT) também foi significativo tanto em salmoura estática (SE) quanto em salmoura com aplicação de ultrassom (US).

Figura 15. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre o teor de NaCl (%) durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.



10% = salmoura com 10% de NaCl. 20% = salmoura com 20% de NaCl. 30% = salmoura com 30% de NaCl. 10% - US = salmoura com 10% de NaCl + aplicação de ultrassom. 20% - US = salmoura com 20% de NaCl + aplicação de ultrassom. 30% - US = salmoura com 30% de NaCl + aplicação de ultrassom.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Houve aumento ($p \leq 0,05$) do teor de NaCl nas amostras de carne bovina em função do aumento da concentração de NaCl, tanto em salmoura estática (SE) quanto em salmoura com aplicação de ultrassom (US). Analisando apenas os mesmos tempos de tratamento por salga úmida, as amostras tratadas em salmouras com aplicação de ultrassom (US) apresentaram maiores ($p \leq 0,05$) teores de NaCl quando comparadas as amostras tratadas em salmoura estática (SE). Os resultados estão de acordo com os encontrados nos estudos de Inguglia et al. (2018) e Kang et al. (2016).

O efeito positivo da aplicação de ultrassom responsável pelo aumento do conteúdo de NaCl durante a salga de carne bovina está ligado aos fenômenos induzidos no meio líquido que causam cavitações, gerando compressões e descompressões nas amostras que criam microcanais nas interfaces causando microinjeção de salmoura na superfície da carne (ALARCON-ROJO et al., 2015, 2019).

O efeito do aumento da concentração de NaCl em salmoura (CS) sobre o ganho de NaCl na carne bovina está relacionado a maior pressão osmótica (Tabela 5) entre a carne e a salmoura, o que causou o aumento do fluxo hidrodinâmico (DIMAKOPOULOU-PAPAZOGLU; KATSANIDIS, 2019). Os resultados mostraram que uma salmoura com aplicação de ultrassom poderia ser usada na redução de NaCl em salmoura ou otimização de processos de salga de produtos cárneos. Como mostra a Figura 16, após 30 e 60 minutos de salga úmida, as amostras do tratamento 10 – US obtiveram o mesmo ($p \geq 0,05$) conteúdo de NaCl que as amostras do tratamento 20 – SE. Considerando o maior tempo de salga (120 minutos), é possível se utilizar uma salmoura com aplicação de ultrassom associada a uma menor concentração de NaCl (20 – US) e se obter um maior ($p \leq 0,05$) conteúdo de NaCl em carne bovina quando comparado a uma salmoura estática (SE) usando 30% de NaCl (30 – SE).

5.2.4. Cor instrumental

A cor vermelha na carne é um dos mais importantes atributos de qualidade, sendo um dos fatores decisivos na aceitação do produto pelo consumidor (SERRANO-LEÓN et al., 2018). A Tabela 6 mostra o efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl na salmoura sobre a estabilidade da cor de carne bovina durante o processo de salga úmida.

Tabela 6. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl na salmoura sobre a estabilidade da cor durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.

Parâmetros	Tempo (min)	Tratamentos						<i>P</i> valor			
		Salmoura estática (SE)			Salmoura com ultrassom (US)						
		10 %	20 %	30 %	10 %	20 %	30 %	SEM	MT	SC	MT X SC
L*	30	33,68 ^{b A}	30,56 ^{bc A}	29,05 ^{c A}	35,74 ^{a B}	31,16 ^{bc A}	29,24 ^{c A}	0,044	< 0,01	< 0,01	0,057
	60	34,20 ^{b A}	29,35 ^{c AB}	28,26 ^{d A}	36,23 ^{a A}	31,31 ^{bc A}	28,18 ^{d A}	0,413	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	120	34,52 ^{b A}	28,79 ^{c B}	26,10 ^{d B}	37,04 ^{a A}	30,37 ^{bc B}	26,76 ^{d B}	0,443	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	SEM	0,348	0,491	0,442	0,679	0,621	0,697				
	<i>P</i> valor	0,846	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,043				
a*	30	11,48 ^{a A}	11,97 ^{a A}	11,31 ^{b A}	11,83 ^{a A}	12,27 ^{a A}	10,89 ^{b A}	0,237	0,129	0,024	0,753
	60	11,31 ^{a B}	10,88 ^{b B}	9,85 ^{c B}	11,24 ^{a B}	11,77 ^{a B}	9,63 ^{c B}	0,227	< 0,01	< 0,01	0,125
	120	9,98 ^{a C}	9,06 ^{b C}	8,83 ^{c C}	10,12 ^{a C}	10,74 ^{a C}	8,69 ^{c C}	0,193	< 0,01	< 0,01	0,103
	SEM	0,284	0,206	0,231	0,350	0,362	0,235				
	<i>P</i> valor	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01				
b*	30	12,59 ^{a A}	12,26 ^{a A}	11,62 ^{b A}	12,88 ^{a A}	12,54 ^{a A}	11,77 ^{b A}	0,155	0,214	< 0,01	0,210
	60	11,96 ^{a A}	11,54 ^{a AB}	10,21 ^{b A}	12,23 ^{a A}	11,84 ^{a B}	10,62 ^{b A}	0,147	0,148	< 0,01	0,105
	120	10,94 ^{a B}	10,05 ^{b B}	9,48 ^{c A}	11,18 ^{a A}	10,25 ^{b B}	9,69 ^{c A}	0,132	0,189	< 0,01	0,321
	SEM	0,204	0,198	0,124	0,206	0,119	0,145				
	<i>P</i> valor	< 0,01	0,015	0,263	0,078	< 0,01	0,728				

a-d Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). A-C Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). SEM - Erro padrão da média. 10% = salmoura com 10% de NaCl. 20% = salmoura com 20% de NaCl. 30% = salmoura com 30% de NaCl. MT = método de tratamento. CS = concentração de NaCl.

Em geral, o efeito do método de tratamento (MT), da concentração de sal (CS) e da interação entre eles (MT X CS) afetaram a luminosidade da carne (L^*), que diminuiu ($p \leq 0,05$) em função do tempo de tratamento por salga úmida, exceto para as amostras do tratamento 10 – SE em que a luminosidade não se difere ($p \geq 0,05$) após 120 minutos de salga úmida; e também para as amostras do tratamento 10 – US em que houve um aumento ($p \leq 0,05$) da luminosidade após 120 minutos de salga úmida. O aumento da luminosidade no tratamento 10 – US pode estar relacionado ao ganho de água (Figura 14) ocorrido por essas amostras (CARVALHO et al., 2019) causado pela aplicação de ultrassom.

Após 60 e 120 minutos de tratamento por salga úmida, houve efeito de interação entre o método de tratamento e a concentração de sal (MT X CS), em que a luminosidade das amostras do tratamento 10 – SE não diferiram ($p \geq 0,05$) das amostras do tratamento 20 – US, mas diferiram ($p \leq 0,05$) das amostras do tratamento 20 – SE, mostrando que a aplicação de ultrassom melhorou a estabilidade da luminosidade das amostras do tratamento 20 – US. Caraveo et al., (2015) também encontraram um aumento da luminosidade em carne bovina tratada com aplicação de ultrassom.

Os dados instrumentais de cor mostraram que o tempo de tratamento afetou a tonalidade de cor vermelha (a^*) que diminuiu ($p \leq 0,05$) após 120 minutos de salga úmida independentemente do método de tratamento (MT) e da concentração de NaCl (CS) suplementada em salmoura. Em 30 minutos de salga úmida, somente houve efeito da concentração de NaCl em salmoura (CS), em que apenas as amostras dos tratamentos 30 – SE e 30 – US apresentaram a menor ($p \leq 0,05$) tonalidade da cor vermelha (a^*). Após 60 e 120 minutos de salga úmida, houve efeito do método de tratamento (MT) e da concentração de NaCl em salmoura (CS). As amostras dos tratamentos 10 – SE, 10 – US e 20 – US apresentaram a maior ($p \leq 0,05$) tonalidade de cor vermelha (a^*) não diferindo ($p \geq 0,05$) entre si.

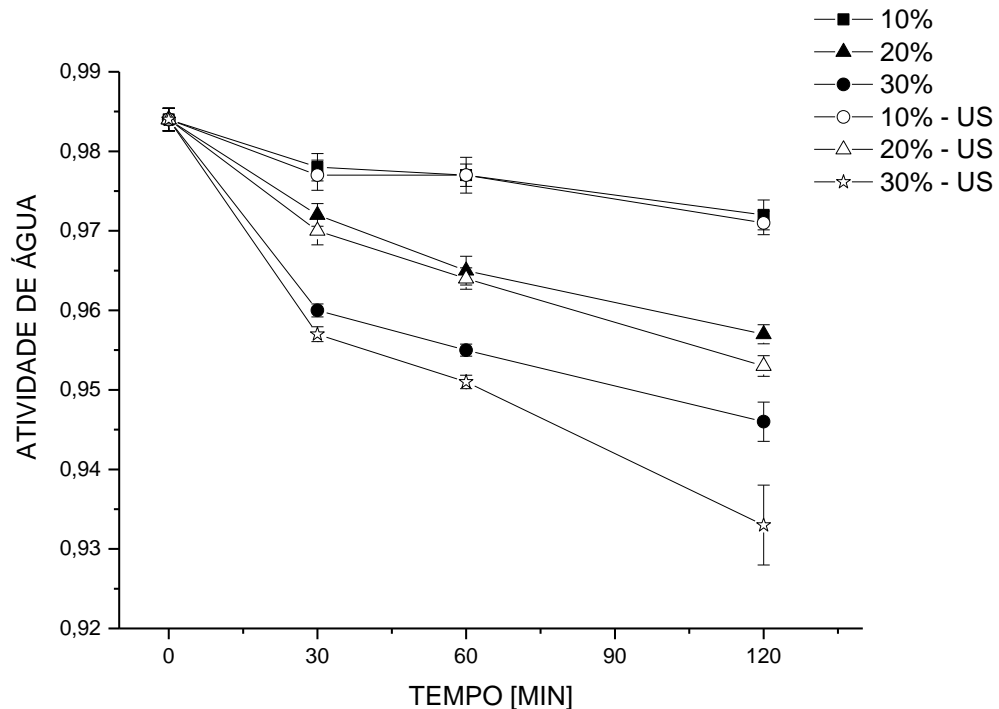
Quanto ao efeito do método de tratamento (MT) as amostras do tratamento 20 – US apresentaram maior ($p \leq 0,05$) tonalidade de cor vermelha (a^*) que as amostras do tratamento 20 – SE. Gómez-Salazar et al. (2018) também encontraram uma melhora da tonalidade da cor vermelha (a^*) em carne de coelho durante o processo de marinação assistida por ultrassom. Entretanto, as amostras dos tratamentos 30 – SE e 30 – US apresentaram a menor ($p \leq 0,05$) tonalidade de cor vermelha (a^*). Isso sugere que as salmouras contendo 30% de NaCl apresentaram efeito pró-oxidativo, podendo ter afetado a integridade da membrana celular da carne, o que facilitou a liberação e oxidação de íons Fe de moléculas contendo ferro, como proteínas heme afetando a tonalidade de cor vermelha (a^*) da carne bovina salgada (VIDAL et al., 2019).

Em relação a coordenada (b^*), somente houve efeito da concentração de NaCl em salmoura (CS). A tonalidade da tonalidade amarela (b^*) diminuiu ($p \leq 0,05$) com o tempo de salga úmida para todos os tratamentos, apresentado menores valores ($p \leq 0,05$) para as amostras dos tratamentos 30 – SE e 30-US. Em relação a esse parâmetro de cor, não houve efeito do método de tratamento (MT). Outros estudos não mostraram efeito em relação ao parâmetro b^* quando o ultrassom foi aplicado (ALVES et al., 2018; BARRETTO et al., 2018b; ALVES et al., 2018b; SIKES et al., 2014).

5.2.5. Atividade de água (aw)

A Figura 16 mostra a atividade de água em carne bovina durante o processo de salga úmida em salmoura estática – SE e salmoura com aplicação de ultrassom – US, contendo diferentes concentrações de NaCl (CS) em diferentes tempos de tratamento.

Figura 16. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl na salmoura sobre a atividade de água durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.



10% = salmoura com 10% de NaCl. 20% = salmoura com 20% de NaCl. 30% = salmoura com 30% de NaCl. 10% - US = salmoura com 10% de NaCl + aplicação de ultrassom. 20% - US = salmoura com 20% de NaCl + aplicação de ultrassom. 30% - US = salmoura com 30% de NaCl + aplicação de ultrassom.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores da atividade de água variaram entre 0,978 a 0,933. Durante todos os tempos de tratamento por salga úmida, houve efeito do método de tratamento (MT) e da concentração de NaCl (CS) em salmoura. A atividade de água das amostras dos tratamentos 10 – SE e 10 – US não diferiram ($p \geq 0,05$). O tratamento 20 – US, após 120 minutos de tratamento por salga úmida apresentou menor ($p \leq 0,05$) atividade de água do que as amostras do tratamento 20 – SE. As amostras do tratamento 30 – US durante todos os tempos de tratamento por salga úmida (30, 60 e 120 minutos) apresentou menor ($p \leq 0,05$) atividade de água quando comparado as amostras do tratamento 30 – SE. O aumento da concentração de NaCl em salmoura fornece maiores quantidades de íons Na^+ e Cl^- os quais reduzem a atividade de água (AYKIN-DINÇER; ERBAŞ, 2018) e como o conteúdo de NaCl aumentou nas amostras salgadas em salmoura com aplicação de ultrassom (Figura 15) os efeitos são ainda maiores sobre a atividade de água.

5.2.6. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH das amostras durante os tempos de tratamento variou entre 5.42 a 5.53 não sendo afetado ($p \geq 0,05$) pelo método de tratamento (MT) e pela concentração de NaCl ($p \geq 0,05$) em salmoura (CS) e, por esta razão, os dados não são apresentados. Resultados divergentes foram relatados quanto a influência da aplicação de ultrassom sobre o pH da carne, já que alguns autores não relataram influência (STADNIK; DOLATOWSKI, 2011; STADNIK; DOLATOWSKI; BARANOWSKA, 2008) e outros encontraram um aumento no pH após sonicação (CARAVEO et al., 2015; GOT et al., 1999; JAYASOORIYA et al., 2007) os quais atribuíram o aumento no pH à liberação de íons da estrutura celular no citoplasma ou a alterações na estrutura das proteínas, que poderiam ter levado a alterações nas cadeias laterais da proteína causando uma diminuição nos grupos ácidos da proteína.

5.2.7. Oxidação lipídica (TBARS)

A Tabela 7 mostra o índice de TBARS em carne bovina durante o processo de salga úmida em salmoura estática – SE e salmoura com aplicação de ultrassom – US, contendo diferentes concentrações de NaCl em diferentes tempos de tratamento.

Tabela 7. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl na salmoura sobre o índice de TBARS durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.

Time (min)	Treatments						SEM 1	P valor		
	Salmoura estática (SE)			Salmoura com ultrassom (US)				MT	SC	MT X CS
	10 %	20 %	30 %	10 %	20 %	30 %				
30	0,12 ^{c B}	0,14 ^{bc C}	0,21 ^{a B}	0,13 ^{bc B}	0,16 ^{b B}	0,22 ^{a B}	0,010	< 0,101	< 0,01	< 0,01
60	0,17 ^{c B}	0,20 ^{bc B}	0,24 ^{a B}	0,18 ^{bc B}	0,21 ^{b B}	0,26 ^{a B}	0,009	< 0,164	< 0,01	< 0,01
120	0,27 ^{b A}	0,29 ^{b A}	0,34 ^{a A}	0,28 ^{b A}	0,30 ^{b A}	0,35 ^{a A}	0,006	< 0,159	< 0,01	0,154
P valor	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01				
	Salmoura estática (SE)			Salmoura com ultrassom (US)						
SEM 2	0,286			0,325						
P valor	TT	< 0,01			< 0,01					
	SC	< 0,01			< 0,01					
	TT X SC	< 0,01			< 0,01					

a-c Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). A-C Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). SEM - Erro padrão da média. 10% = salmoura com 10% de NaCl. 20% = salmoura com 20% de NaCl. 30% = salmoura com 30% de NaCl. MT = método de tratamento. CS = concentração de NaCl.

A análise estatística mostrou que não houve efeito ($p \geq 0,05$) do método de tratamento (MT), porém houve efeito ($p \leq 0,05$) da concentração de NaCl em salmoura (CS) e da interação ($p \leq 0,05$) entre o método de tratamento (MT) e a concentração de NaCl em salmoura (CS). Os resultados mostraram um aumento ($p \leq 0,05$) da oxidação lipídica com o tempo de tratamento por salga úmida e com o aumento da concentração de NaCl (CS) em salmoura independentemente do método de tratamento. O aumento do teor de NaCl em todos os tratamentos durante a salga úmida provavelmente deve ter causado o efeito pró-oxidativo do sal, aumentando a oxidação lipídica na carne, conforme relatado no estudo de revisão de Mariutti; Bragagnolo (2017).

O resultado encontrado neste estudo em relação a influência do ultrassom sobre a estabilidade oxidativa das amostras é bastante promissor, uma vez que outros estudos relataram que o efeito da cavitação causada pela aplicação de ultrassom pode promover a oxidação lipídica nos alimentos, devido à formação de radicais livres, aumentando a velocidade das reações oxidativas (ALARCON-ROJO et al., 2015, 2019; CHEMAT et al., 2004; CHEMAT; ZILL-E-HUMA; KHAN, 2011).

No entanto, a formação desses radicais livres depende de vários fatores como temperatura do processo de salga úmida, tipo e concentração do agente osmótico, parâmetros do ultrassom como frequência, potência, e a distância entre a sonda e a carne (KUIJPERS; KEMMERE; KEURENTJES, 2002) que são variáveis importantes para a compreensão dos efeitos dessa tecnologia, e que são o motivo dos diversos resultados contraditórios sobre o efeito da aplicação de ultrassom encontrados na literatura.

5.2.8. Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

As Tabelas 8 e 9 mostram os efeitos da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre a temperatura e entalpia média de desnaturação das proteínas durante 30 e 120 minutos de salga úmida. Três zonas de transições térmicas foram detectadas, com picos entre 53 – 57 °C; 64 – 71 °C; 75 – 82 °C. A primeira zona de transição térmica entre 53 – 57 °C está relacionada a temperatura de desnaturação da miosina, que só foram encontradas nas amostras dos tratamentos 10 – SE e 10 – US. A falta de picos de desnaturação para os outros tratamentos nesta faixa de temperatura sugere que a desnaturação de proteínas, em particular a miosina, já ocorreu durante 30 minutos de tratamento em salmouras superiores a 10% de NaCl.

Tabela 8. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre a temperatura de desnaturação das proteínas durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.

Tempo (min)	Tratamentos						<i>P</i> valor			
	Salmoura estática (SE)			Salmoura com ultrassom (US)						
	10 %	20 %	30 %	10 %	20 %	30 %	SEM	MT	SC	MT X CS
Temperatura do pico (°C)										
Pico 1										
30	57,3 ^{aA}	56,2 ^a	54,7 ^b	56,6 ^{aA}	55,1 ^b	53,7 ^c	0,255	< 0,01	< 0,01	0,214
120	55,4 ^{aB}	---	---	54,7 ^{aB}	---	---	0,157	0,135	---	---
<i>P</i> value	< 0,01	---	---	< 0,01	---	---				
Pico 2										
30	71,5 ^{aA}	70,7 ^{bA}	69,5 ^{cA}	70,2 ^{bA}	70,1 ^{bA}	68,8 ^{cA}	0,164	< 0,01	< 0,01	0,102
120	70,0 ^{aB}	68,6 ^{bB}	65,7 ^{cB}	69,1 ^{abB}	66,9 ^{cB}	64,8 ^{dB}	0,243	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>P</i> value	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01				
Pico 3										
30	82,4 ^{aA}	80,2 ^{bA}	78,6 ^{cA}	81,1 ^{bA}	78,8 ^{cA}	76,7 ^{dA}	0,024	< 0,01	< 0,01	0,232
120	80,8 ^{aB}	78,6 ^{bB}	77,2 ^{cB}	80,2 ^{aB}	77,7 ^{cB}	75,5 ^{dB}	0,443	< 0,01	< 0,01	0,326
<i>P</i> value	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,043	< 0,01	< 0,01				

a-d Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). A-B Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). SEM - Erro padrão da média. 10% = salmoura com 10% de NaCl. 20% = salmoura com 20% de NaCl. 30% = salmoura com 30% de NaCl. MT = método de tratamento. CS = concentração de NaCl.

Tabela 9. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre a entalpia de desnaturação das proteínas durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.

Tempo (min)	Tratamentos						P Valor			
	Salmoura estática (SE)			Salmoura com ultrassom (US)						
	10 %	20 %	30 %	10 %	20 %	30 %	SEM	MT	SC	MT X SC
Entalpia de desnaturação - ΔH (J.g ⁻¹)										
peak 1										
30	1.34 ^{aA}	1.28 ^a	1.16 ^c	1.39 ^{aA}	1.09 ^b	0.98 ^c	0.437	< 0.01	< 0.01	0.421
120	1.21 ^{aB}	---	---	1.18 ^{aB}	---	---	0.322	0.215	---	---
P Valor	< 0.01	---	---	< 0.01	---	---				
peak 2										
30	0.97 ^{aA}	0.80 ^{bA}	0.69 ^{cA}	0.82 ^{bA}	0.78 ^{bA}	0.62 ^{cA}	0.147	0.042	< 0.01	0.193
120	0.82 ^{aB}	0.71 ^{bB}	0.58 ^{cB}	0.74 ^{bB}	0.65 ^{bB}	0.55 ^{cB}	0.257	0.023	< 0.01	0.210
P Valor	< 0.021	0.034	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01				
peak 3										
30	3.04 ^{aA}	2.91 ^{bA}	2.71 ^{cA}	2.89 ^{bA}	2.82 ^{cA}	2.64 ^{dA}	0.224	< 0.01	< 0.01	0.245
120	2.88 ^{aB}	2.68 ^{bB}	2.53 ^{cB}	2.76 ^{aB}	2.57 ^{cB}	2.41 ^{dB}	0.245	< 0.01	< 0.01	0.193
P Valor	< 0.01	0.014	< 0.01	0.013	< 0.01	< 0.01				

a-d Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). A-B Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). SEM - Erro padrão da média. 10% = salmoura com 10% de NaCl. 20% = salmoura com 20% de NaCl. 30% = salmoura com 30% de NaCl. MT = método de tratamento. CS = concentração de NaCl.

De fato, outros estudos como o de Tornberg (2005) também relataram que a miosina é mais instável quando comparada a actina. Graiver et al. (2006) também relataram que não encontraram transições térmicas relacionadas a miosina em carne suína quando tratadas em concentrações superiores a 10% de NaCl durante 3 horas de salga úmida.

A segunda zona de transição térmica situada entre 64 a 71°C está relacionada a temperatura de desnaturação das proteínas sarcoplasmáticas e do colágeno. Gambuteanu; Alexe (2015) em seu estudo com salga de carne suína assistida por ultrassom também encontraram transições térmicas entre 65 e 67°C e atribuíram essa faixa à temperatura de desnaturação das proteínas sarcoplasmáticas e do colágeno. A terceira zona de transição térmica situada entre 75 - 82 °C provavelmente está ligada a temperatura de desnaturação da actina.

Em geral, o método de tratamento (MT) e a concentração de NaCl (CS) mostraram efeitos sobre a temperatura e a entalpia de desnaturação das proteínas. A aplicação de ultrassom e o aumento da concentração de NaCl em salmoura causou uma diminuição da temperatura e da entalpia de desnaturação das proteínas sarcoplasmáticas, do colágeno e actina, e em salmoura acima de 10% de NaCl ocasionou a desnaturação da miosina. No estudo realizado por Siró et al. (2009) foi observado uma diminuição na temperatura de desnaturação da miosina, proteínas sarcoplasmáticas e colágeno com o aumento do tempo de salga úmida sem alterações significativas no conteúdo da actina.

O ultrassom como método de tratamento para acelerar a salga úmida da carne bovina pode ter causado implosões de bolhas de cavitação na superfície da carne criando ondas micromecânicas formadoras de microjatos de salmoura que aumentou a difusão do NaCl na carne, fato este que provavelmente pode ter enfraquecido e causado instabilidade na estrutura das proteínas, resultando em maiores ($p \leq 0,05$) reduções nas temperaturas e na entalpia de desnaturação das proteínas. As reduções nas temperaturas de desnaturação são somente reflexos de enfraquecimento na estabilidade estrutural das proteínas, o que não implica em alterações em suas estruturas (MCDONNELL et al., 2014). Este fato pode ser vantajoso após a etapa de salga úmida, no caso de amostras que passarão por processos de secagem, e estarão sujeitas ao calor, podendo as proteínas serem desnaturadas mais facilmente, facilitando a remoção de água da carne e podendo até diminuir o tempo de secagem de carne e produtos cárneos.

5.2.9. Coeficiente de difusão efetivo de água e de NaCl durante a salga úmida

Por meio das Equações 4 e 5 os coeficientes de difusão efetivo de água e NaCl foram calculados e estão mostrados na Tabela 10.

Tabela 10. Efeito da aplicação de ultrassom e da concentração de NaCl em salmoura sobre o coeficiente de difusão efetivo de água e de NaCl durante a salga úmida dos cortes de carne bovina.

Coeficiente de difusão de água										
	Salmoura estática (SE)			Salmoura com ultrassom (US)			SEM	P Valor		
	10 %	20 %	30 %	10 %	20 %	30 %		MT	CS	MT X CS
D_{ef} (10^{-10} m ² /s)	9.35 ^b	---	6.87 ^c	11.9 ^a	6.52 ^c	9.96 ^b	0.0321	< 0.01	< 0.01	0.211
R ²	0.83	---	0.89	0.88	0.89	0.86				
%VAR	98.829	---	98.967	98.966	98.997	98.942				
RMSE	0.112	---	0.032	0.033	0.002	0.057				
Coeficiente de difusão de NaCl										
D_{ef} (10^{-10} m ² /s)	2.24 ^d	2.81 ^c	3.18 ^b	2.92 ^c	3.29 ^b	3.54 ^a	0.0143	< 0.01	< 0.01	0.233
R ²	0.96	0.91	0.90	0.99	0.92	0.96				
%VAR	98.86	98.66	98.41	99.16	98.76	98.92				
RMSE	0.017	0.023	0.023	0.009	0.023	0.018				

a-d Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$). SEM - Erro padrão da média. 10% = salmoura com 10% de NaCl. 20% = salmoura com 20% de NaCl. 30% = salmoura com 30% de NaCl. MT = método de tratamento. CS = concentração de NaCl. %VAR = Porcentagem de variância explicada. RMSE = Erro quadrado médio.

Para realizar a modelagem matemática do processo, várias hipóteses foram adotadas no modelo de difusão de Fick a fim de descrever os fenômenos de transferência de massa. Apesar das hipóteses adotadas, alcançou-se boa concordância entre os valores preditos e os dados experimentais, apresentando porcentagens de variação explicada (%VAR) acima de 98 % e baixos erros – RMSE (0.002 – 0.112) demonstrando que o modelo matemático baseado na lei de Fick foi capaz de prever os coeficientes efetivos de difusão de água e NaCl durante o processo de salga úmida. O método de tratamento (MT) e a concentração de NaCl em salmoura (CS) afetaram ($p \leq 0,05$) a taxa de transferência de massa e as direções dos fluxos de água (hidratação e desidratação). Em relação ao coeficiente de difusão efetivo para a água, houve efeito do método de tratamento (MT) e da concentração de NaCl em salmoura (CS).

As amostras do tratamento 10 – US que sofreram hidratação (Figura 14) apresentaram o maior ($p \leq 0,05$) coeficiente de difusão para água, quando comparado as amostras do tratamento 10 – SE e 20 – US que também sofreram hidratação. Entretanto, as amostras dos tratamentos 10 – SE (que ocorreu hidratação) e 30 – US (que ocorreu desidratação) apresentam o mesmo ($p \geq 0,05$) coeficiente de difusão de água, mas ocorrendo em direções opostas. O menor coeficiente de difusão ($p \leq 0,05$) foi encontrado nas amostras dos tratamentos 30 – SE e 20 – US.

O coeficiente de difusão de água das amostras do tratamento 20 – SE não são mostrados na Tabela 10, devido a essas amostras não apresentarem ganho ou perda de água ($p \geq 0,05$) (Figura 14). Esse resultado coincidiu com os encontrados de Nguyen et al., (2010) e Ozuna et al., (2013) que também não encontraram evidências de transporte de água ao usar salmoura próxima a 200 kg de NaCl/m³. Schmidt; Carciofi; Laurindo, (2009) também não encontraram um coeficiente de difusão de água em seu estudo sobre o tratamento osmótico de cortes de peito de frango tratados em salmouras à 15% de NaCl, devido ao transporte de água não apresentar uma tendência clara, e atribuíram o fato a essa concentração de NaCl estar próxima a uma região de transição entre os fenômenos de hidratação-desidratação.

Quanto aos coeficientes de difusão para o NaCl, houve efeito do método de tratamento (MT) e da concentração de NaCl em salmoura (CS). As amostras do tratamento 30 – US apresentaram o maior ($p \leq 0,05$) coeficiente de difusão para o NaCl e as amostras do tratamento 10 – SE apresentaram o menor ($p \leq 0,05$) coeficiente de difusão. Levando em consideração apenas a mesma concentração de NaCl, todos os coeficientes de difusão para o NaCl dos tratamentos com aplicação de ultrassom (US) foram superiores ($p \leq 0,05$) aos tratamentos em salmoura estática (SE).

Quando o ultrassom foi aplicado, o coeficiente de difusão de NaCl das amostras do

tratamento 10 – US não diferiram ($p \geq 0,05$) do coeficiente de difusão de NaCl das amostras do tratamento 20 – SE e o coeficiente de difusão de NaCl das amostras do tratamento 20 – US também não diferem ($p \geq 0,05$) do coeficiente de difusão de NaCl das amostras do tratamento 30 – SE. Os resultados estão diretamente relacionados ao ganho de NaCl nas amostras (Figura 15), indicando que a aplicação de ultrassom em salmoura pode ser usada em duas situações: (I) para acelerar o ganho de NaCl e diminuir o tempo da etapa de salga úmida ou (II) para reduzir em 10% a quantidade de NaCl adicionada em salmoura sem afetar ($p \geq 0,05$) o coeficiente de difusão para o NaCl.

6. CONCLUSÕES

A aplicação de ultrassom e o cruzamento entre raças afetaram o conteúdo de água e o coeficiente de difusão efetivo para a água, mostrando maiores valores nos cortes com maior conteúdo de proteínas. O cruzamento entre as raças e a aplicação de ultrassom também influenciaram o conteúdo de NaCl, entretanto somente a aplicação de ultrassom proporcionou aumento no coeficiente de difusão efetivo do NaCl durante a salga úmida.

A aplicação de ultrassom e o aumento da concentração de sal aumentaram o ganho de sal, a perda de água e o coeficiente de difusão de sal e de água nas amostras durante a salga úmida. O uso do ultrassom não influenciou as propriedades tecnológicas como pH, cor e oxidação lipídica, porém reduziu a atividade de água e a temperatura e entalpia de desnaturação das proteínas. O aumento da concentração de sal aumentou a oxidação lipídica, diminuiu os parâmetros de cor e a temperatura e entalpia de desnaturação das proteínas durante a salga úmida.

O ultrassom se mostrou uma tecnologia potencial para a aplicação no processo de salga úmida de carne bovina.

REFERÊNCIAS

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Beef Report 2019. Disponível em: <www.abiec.com.br/control/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>. Acesso em: 10 de Julho de 2019.
- ALARCON-ROJO, A. D.; CARRILLO-LOPEZ, L. M.; REYES-VILLAGRANA, R.; HUERTA-JIMÉNEZ, M.; GARCIA-GALICIA, I. A. Ultrasound and meat quality: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 55, p. 369–382, 2019.
- ALARCON-ROJO, A. D.; JANACUA, H.; RODRIGUEZ, J. C.; PANIWNKY, L.; MASON, T. J. Power ultrasound in meat processing. **Meat Science**, v. 107, p. 86–93, 2015.
- ALBARRACÍN, W.; SÁNCHEZ, I. C.; GRAU, R.; BARAT, J. M. Salt in food processing; usage and reduction: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 7, p. 1329–1336, 2011.
- ALBRECHT, E.; KUZINSKI, J.; KOMOLKA, K.; GOTOH, T.; MAAK, S. Localization and abundance of early markers of fat cell differentiation in the skeletal muscle of cattle during growth — Are DLK1-positive cells the origin of marbling flecks? **Meat Science**, v. 100, p. 237–245, 2015.
- ALVES, L. D. L.; SILVA, M. S. D.; FLORES, D. R. M.; ATHAYDE, D. R.; RUVIARO, A. R.; BRUM, D. D. S.; BATISTA, V. S. F.; MELLO, R. D. O.; MENEZES, C. R. D.; CAMPAGNOL, P. C. B.; WAGNER, R.; BARIN, J. S.; CICHOSKI, A. J. (2018). Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. **Food Research International**, v. 106, p. 363–373, 2018. a.
- ALVES, L. L.; RAMPELOTTO, C.; SILVA, M. S.; DE MOURA, H. C.; DURANTE, E. C.; MELLO, R. O.; MENEZES, C. R.; BARIN, J. S.; CAMPAGNOL, P. C. B.; CICHOSKI, A. J. The effect of cold storage on physicochemical and microbiological properties of beef Semitendinosus muscle subjected to ultrasonic treatment in different systems (bath or probe). **International Food Research Journal**, v. 25, n. 2, p. 504-514, 2018. b.
- AOAC, Official Methods of Analysis, seventeenth ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 2007.
- ARRIGONI, M. D. B.; JÚNIOR, A. A.; DIAS, P. M. A.; MARTINS, C. L.; CERVIERI, R. D. C.; SILVEIRA, A. C.; OLIVEIRA, H., N., D.; CHARDULO, L. A. L. Desempenho, fibras musculares e carne de bovinos jovens de três grupos genéticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 1033-1039, 2004.
- ASHOKKUMAR, M.; MASON, T. Sonochemistry. **Kirk–Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**, John Wiley & Sons, 2007.
- AVILÉS, C.; MARTÍNEZ, A. L.; DOMENECH, V.; PEÑA, F. Effect of feeding system and breed on growth performance, and carcass and meat quality traits in two continental beef breeds. **Meat science**, v. 107, p. 94-103, 2015.
- AYKIN-DINÇER, E.; ERBAŞ, M. Drying kinetics, adsorption isotherms and quality characteristics of vacuum-dried beef slices with different salt contents. **Meat Science**, v. 145,

p. 114–120, 2018.

BAMPI, M.; DOMSCHKE, N. N.; SCHMIDT, F. C.; LAURINDO, J. B. Influence of vacuum application, acid addition and partial replacement of NaCl by KCl on the mass transfer during salting of beef cuts. **LWT - Food Science and Technology**, v. 74, p. 26–33, 2016.

BARAT, J. M.; GRAU, R.; IBÁÑEZ, J. B.; PAGÁN, M. J.; FLORES, M.; TOLDRÁ, F.; FITO, P. Accelerated processing of dry-cured ham. Part I. Viability of the use of brine thawing/salting operation. **Meat Science**, v. 72, n. 4, p. 757–765, 2006.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.; VEGA-MERCADO, H. **Deshidratación de alimentos**. Editorial Acribia S.A, Zaragoza (España), 2000.

BARRETTO, T. L.; POLLONIO, M. A. R.; TELIS-ROMERO, J.; DA SILVA BARRETTO, A. C. Improving sensory acceptance and physicochemical properties by ultrasound application to restructured cooked ham with salt (NaCl) reduction. **Meat Science**, v. 145, p. 55–62, 2018.

BLIGH, E. Graham; DYER, W. Justin. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian journal of biochemistry and physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BOMBRUN, L.; GATELLIER, P.; CARLIER, M.; KONDOYAN, A. The effects of low salt concentrations on the mechanism of adhesion between two pieces of pork semimembranosus muscle following tumbling and cooking. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 5–13, 2014.

CARAVEO, O.; ALARCON-ROJO, A. D.; RENTERIA, A.; SANTELLANO, E.; PANIWNKYK, L. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high-intensity ultrasound and stored at 4 °C. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 12, p. 2487–2493, 2015.

CÁRCEL, J. A.; BENEDITO, J.; BON, J.; MULET, A. High intensity ultrasound effects on meat brining. **Meat Science**, v. 76, n. 4, p. 611–619, 2007. a.

CÁRCEL, J. A.; BENEDITO, J.; ROSSELLÓ, C.; MULET, A. Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 2, p. 472–479, 2007. b.

CÁRCEL, J. A.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; BENEDITO, J.; MULET, A. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 2, p. 200–207, 2012.

CARVALHO, R. A.; SANTOS, T. A.; OLIVEIRA, A. C. S.; AZEVEDO, V. M.; DIAS, M. V.; RAMOS, E. M.; BORGES, S. V. Biopolymers of WPI/CNF/TEO in preventing oxidation of ground meat. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 12, p. 14269, 2019.

CHAMBAZ, A.; SCHEEDER, M. R. L.; KREUZER, M.; DUFEY, P. A. Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. **Meat Science**, v. 63, n. 4, p. 491–500, 2003.

CHANDRAPALA, J.; OLIVER, C.; KENTISH, S.; ASHOKKUMAR, M. Ultrasonics in food processing. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 19, n. 5, p. 975–983, 2012.

CHEMAT, F.; GRONDIN, I.; COSTES, P.; MOUTOUSSAMY, L.; SING, A. S. C.; SMADJA, J. High power ultrasound effects on lipid oxidation of refined sunflower oil. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 11, n. 5, p. 281–285, 2004.

CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813–835, 2011.

CICHOSKI, A. J.; RAMPELOTTO, C.; SILVA, M. S.; DE MOURA, H. C.; TERRA, N. N.; WAGNER, R.; DE MENEZES, C. R.; FLORES, E. M. M.; BARIN, J. S. Ultrasound-assisted post-packaging pasteurization of sausages. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 30, p. 132–137, 2015.

CICHOSKI, A. J.; SILVA, M. S.; LEÃES, Y. S. V.; BRASIL, C. C. B.; DE MENEZES, C. R.; BARIN, J. S.; WAGNER, R.; CAMPAGNOL, P. C. B. Ultrasound: A promising technology to improve the technological quality of meat emulsions. **Meat Science**, v. 148, p. 150–155, 2019.

COMPRES RURAL – Degustação de picanhas das raças: Wagyu, Angus e Nelore, 2019. Disponível em: <<https://www.comprerural.com/degustacao-de-picanha-de-tres-racas-wagyu-angus-e-nelore/>>. Acesso em: 15 de julho de 2019.

CORBIN, C. H.; O'QUINN, T. G.; GARMYN, A. J.; LEGAKO, J. F.; HUNT, M. R.; DINH, T. T. N.; RATHMANN, R. J.; BROOKS, J. C.; MILLER, M. F. Sensory evaluation of tender beef strip loin steaks of varying marbling levels and quality treatments. **Meat Science**, v. 100, p. 24–31, 2015.

DOLATOWSKI, J. L. G.; PEREIRA, L. M.; VIEIRA, G. S.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 4, p. 498–504, 2010.

CRANK, John. **The mathematics of diffusion**. Oxford university press, 1979.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química De Alimentos De Fennema**. Editorial Acribia, Espanha, 1258p, 2010.

DAVIDSON, P. MICHAEL; SOFOS, JOHN N.; BRANEN, A. LARRY. **Antimicrobials in food**. CRC press, 2005.

DESMOND, E. Reducing salt: A challenge for the meat industry. **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 188–196, 2006.

DEUMIER, F.; TRYSTRAM, G.; COLLIGNAN, A.; GUÉDIDER, L.; BOHUON, P. Pulsed vacuum brining of poultry meat: interpretation of mass transfer mechanisms. **Journal of Food Engineering**, v. 58, n. 1, p. 85–93, 2003.

DIAS, L. S.; HADLICH, J. C.; LUZIA, D. M. M.; JORGE, N. Influence of breed on beef and intramuscular fat quality from nelore (*Bos indicus*) and wagyu (*Bos taurus*) crossbreed cattle. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 4, 2016.

DIMAKOPOULOU-PAPAZOGLU, D.; KATSANIDIS, E. Diffusion coefficients and volume changes of beef meat during osmotic dehydration in binary and ternary solutions.

Food and Bioproducts Processing, v. 116, p. 10–19, 2019.

DIMAKOPOULOU-PAPAZOGLU, D.; KATSANIDIS, E. Mass transfer kinetics during osmotic processing of beef meat using ternary solutions. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 560–569, 2016.

DUARTE, M. S.; PAULINO, P. V. R.; DAS, A. K.; WEI, S.; SERÃO, N. V. L.; FU, X.; HARRIS, S. M.; DODSON, M. V.; DU, M. Enhancement of adipogenesis and fibrogenesis in skeletal muscle of Wagyu compared with Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 6, p. 2938–2946, 2013.

DUBIE, J.; STANCIK, A.; MORRA, M.; NINDO, C. Antioxidant extraction from mustard (*Brassica juncea*) seed meal using high-intensity ultrasound. **Journal of food science**, v. 78, p. E542-E548, 2013.

Fahy, F. **Foundations of engineering acoustics**. Academic Press, London, 2005.

FENG, H.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; WEISS, J. **Ultrasound technologies for food and bioprocessing**. New York: Springer, 2011.

FERGUSON, D. M. Objective on-line assessment of marbling: a brief review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 7, p. 681-685, 2004.

FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 2, p. 186–190, 2009.

FERNANDEZ, X.; MONIN, G.; TALMANT, A.; MOUROT, J.; LEBRET, B. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat - 2. Consumer acceptability of m. longissimus lumborum. **Meat science**, v. 53, n. 1, p. 67–72, 1999.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. Production systems—An example from Brazil. **Meat science**, v. 84, p. 238-243, 2010.

FLORES, D. R. M.; BRASIL, C. C. B.; CAMPAGNOL, P. C. B.; JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L. Q.; WAGNER, R.; MENEZES, C. R.; BARIN, J. S.; FLORES, E. M. M.; CICHOSKI, A. J. Application of ultrasound in chicken breast during chilling by immersion promotes a fast and uniform cooling. **Food Research International**, v. 109, p. 59–64, 2018.

FRANK, D.; BALL, A.; HUGHES, J.; KRISHNAMURTHY, R.; PIYASIRI, U.; STARK, J.; WARNER, R. Sensory and flavor chemistry characteristics of Australian beef: influence of intramuscular fat, feed, and breed. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 64, n. 21, p. 4299-4311, 2016.

GAMBUTEANU, C.; ALEXE, P. Comparison of thawing assisted by low-intensity ultrasound on technological properties of pork Longissimus dorsi muscle. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 4, p. 2130–2138, 2015.

GARCIA-NOGUERA, J.; OLIVEIRA, F. I. P.; GALLÃO, M. I.; WELLER, C. L.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency. **Drying Technology**, v. 28, n. 2, p. 294–303, 2010.

- GÓMEZ-SALAZAR, J. A.; OCHOA-MONTES, D. A.; CERÓN-GARCÍA, A.; OZUNA, C.; SOSA-MORALES, M. E. Effect of Acid Marination Assisted by Power Ultrasound on the Quality of Rabbit Meat. **Journal of Food Quality**, v. 2018, 2018.
- GOT, F.; CULIOLI, J.; BERGE, P.; VIGNON, X.; ASTRUC, T.; QUIDEAU, J. M.; LETHIECQ, M. Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. **Meat Science**, v. 51, n. 1, p. 35–42, 1999.
- GRAIVER, N.; PINOTTI, A.; CALIFANO, A.; ZARITZKY, N. Diffusion of sodium chloride in pork tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 910–918, 2006.
- HA, D. M.; YOUNG L. C.; JEONG, J. Y.; KIM, G. D.; MIN HA, D.; JONG PARK, M.; CHUL PARK, B.; JOO, S. T. Relationships of Muscle Fiber Characteristics to Dietary Energy Density, Slaughter Weight, and Muscle Quality Traits in Finishing Pigs. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 54, n. 3, 2012.
- HOSKINS, P. R.; MARTIN, K.; THRUSH, A. **Diagnostic Ultrasound**. Cambridge University Press, 2010.
- HWANG, Y. H.; KIM, G. D.; JEONG, J. Y.; HUR, S. J.; JOO, S. T. The relationship between muscle fiber characteristics and meat quality traits of highly marbled Hanwoo (Korean native cattle) steers. **Meat Science**, v. 86, n. 2, p. 456–461, 2010.
- INGUGLIA, E. S.; ZHANG, Z.; BURGESS, C.; KERRY, J. P.; TIWARI, B. K. Influence of extrinsic operational parameters on salt diffusion during ultrasound assisted meat curing. **Ultrasonics**, v. 83, p. 164–170, 2018.
- JAYASOORIYA, S. D.; TORLEY, P. J.; D'ARCY, B. R.; BHANDARI, B. R. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. **Meat Science**, v. 75, n. 4, p. 628–639, 2007.
- JOO, S. T.; KIM, G. D.; HWANG, Y. H.; RYU, Y. C. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. **MESC**, v. 95, p. 828–836, 2013.
- KANG, D.; WANG, A.; ZHOU, G.; ZHANG, W.; XU, S.; GUO, G. Power ultrasonic on mass transport of beef: Effects of ultrasound intensity and NaCl concentration. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 35, p. 36–44, 2016. a.
- KANG, D.; ZOU, Y.; CHENG, Y.; XING, L.; ZHOU, G.; ZHANG, W. Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 33, p. 47–53, 2016. b.
- KILIC, A. Low temperature and high velocity (LTHV) application in drying: Characteristics and effects on the fish quality. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 1, p. 173–182, 2009.
- KIM, G. D.; KIM, B. W.; JEONG, J. Y.; HUR, S. J.; CHO, I. C.; LIM, H. T.; JOO, S. T. Relationship of Carcass Weight to Muscle Fiber Characteristics and Pork Quality of Crossbred (Korean Native Black Pig × Landrace) F2 Pigs. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 2, p. 522–529, 2013.
- KNORR, D.; ZENKER, M.; HEINZ, V.; LEE, D.-U. Applications and potential of ultrasonics

in food processing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, n. 5, p. 261–266, 2004.

KOH, L. L. A.; NGUYEN, H. T. H.; CHANDRAPALA, J.; ZISU, B.; ASHOKKUMAR, M.; KENTISH, S. E. The use of ultrasonic feed pre-treatment to reduce membrane fouling in whey ultrafiltration. **Journal of Membrane Science**, v. 453, p. 230–239, 2014.

KOOHMARAIE, M.; KENT, M. P.; SHACKELFORD, S. D.; VEISETH, E.; WHEELER, T. L. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? **Meat Science**, v. 62, n. 3, p. 345–352, 2002.

KOWALSKI, S. J.; PAWŁOWSKI, A.; SZADZIŃSKA, J.; ŁECHTAŃSKA, J.; STASIAK, M. High power airborne ultrasound assist in combined drying of raspberries. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 34, p. 225–233, 2016.

KUIJPERS, M. W. A.; KEMMERE, M. F.; KEURENTJES, J. T. F. Calorimetric study of the energy efficiency for ultrasound-induced radical formation. **Ultrasonics**, v. 40, n. 1–8, p. 675–678, 2002.

LAGE, J. F.; PAULINO, P. V. R.; VALADARES FILHO, S. C.; SOUZA, E. J. O.; DUARTE, M. S.; BENEDETI, P. D. B.; SOUZA, N. K. P.; COX, R. B. Influence of genetic type and level of concentrate in the finishing diet on carcass and meat quality traits in beef heifers. **Meat Science**, v. 90, n. 3, p. 770–774, 2012.

LATEEF, A.; OLOKE, J. K.; PRAPULLA, S. G. The effect of ultrasonication on the release of fructosyltransferase from *Aureobasidium pullulans* CFR 77. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 40, n. 5, p. 1067–1070, 2007.

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

LEGAKO, J. F.; BROOKS, J. C.; O'QUINN, T. G.; HAGAN, T. D. J.; POLKINGHORNE, R.; FARMER, L. J.; MILLER, M. F. Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles. **Meat Science**, v. 100, p. 291–300, 2015.

MAGGIONI, D.; MARQUES, J. de A.; ROTTA, P. P.; PEROTTO, D.; DUCATTI, T.; VISENTAINER, J. V.; PRADO, I. N. Do. Animal performance and meat quality of crossbred young bulls. **Livestock Science**, v. 127, n. 2–3, p. 176–182, 2010.

MAGOLSKI, J. D.; BUCHANAN, D. S.; MADDOCK-CARLIN, K. R.; ANDERSON, V. L.; NEWMAN, D. J.; BERG, E. P. Relationship between commercially available DNA analysis and phenotypic observations on beef quality and tenderness. **Meat Science**, v. 95, n. 3, p. 480–485, 2013.

MARIUTTI, L. R. B.; BRAGAGNOLO, N. Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review. **Food Research International**, v. 94, p. 90–100, 2017.

MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. da S. Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 144–151, 2015.

MASON, T. J. Large scale sonochemical processing: aspiration and actuality. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 7, n. 4, p. 145–149, 2000.

- MASON, T. J.; LORIMER, J. P. **Applied sonochemistry: the uses of power ultrasound in chemistry and processing**. 2002.
- MCDONNELL, C. K.; ALLEN, P.; MORIN, C.; LYNG, J. G. The effect of ultrasonic salting on protein and water–protein interactions in meat. **Food Chemistry**, v. 147, p. 245–251, 2014.
- MORALES, R.; AGUIAR, A. P. S.; SUBIABRE, I.; REALINI, C. E. Beef acceptability and consumer expectations associated with production systems and marbling. **Food Quality and Preference**, v. 29, n. 2, p. 166–173, 2013.
- MOTOYAMA, M.; SASAKI, K.; WATANABE, A. Wagyu and the factors contributing to its beef quality: A Japanese industry overview. **Meat Science**, v. 120, p. 10–18, 2016.
- MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. [s.l.] : CRC Press, 2006.
- MULET, A.; CÁRCEL, J. A.; SANJUÁN, N.; BON, J. New Food Drying Technologies - Use of Ultrasound. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 3, p. 215–221, 2003.
- MUTHUKUMARAN, S.; KENTISH, S. E.; STEVENS, G. W.; ASHOKKUMAR, M.; MAWSON, R. The application of ultrasound to dairy ultrafiltration: The influence of operating conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 2, p. 364–373, 2007.
- NGUYEN, M. V.; ARASON, S.; THORARINSDOTTIR, K. A.; THORKESSON, G.; GUDMUNDSDÓTTIR, A. Influence of salt concentration on the salting kinetics of cod loin (*Gadus morhua*) during brine salting. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 2, p. 225–231, 2010.
- NOWACKA, M.; TYLEWICZ, U.; ROMANI, S.; DALLA ROSA, M.; WITROWA-RAJCHERT, D. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on the main quality parameters of kiwifruit. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 41, p. 71–78, 2017.
- NOWACKA, M.; WIKTOR, A.; ŚLEDŹ, M.; JUREK, N.; WITROWA-RAJCHERT, D. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 3, p. 427–433, 2012.
- OJHA, K. S.; KEENAN, D. F.; BRIGHT, A.; KERRY, J. P.; TIWARI, B. K. Ultrasound assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of pork meat. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 51, n. 1, p. 37–45, 2016.
- ORDÓÑEZ PEREDA, J. A.; MURAD, F. **Tecnología de alimentos**. [s.l.]: Artmed, 2005.
- OZAWA, S.; MITSUHASHI, T.; MITSUMOTO, M.; MATSUMOTO, S.; ITOH, N.; ITAGAKI, K.; KOHNO, Y.; DOHGO, T. The characteristics of muscle fiber types of longissimus thoracis muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese Black steers. **Meat Science**, v. 54, n. 1, p. 65–70, 2000.
- OZUNA, C.; PUIG, A.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; MULET, A.; CÁRCEL, J. A. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 1, p. 84–93, 2013.

PAULA, M. M. de O.; HADDAD, G. de B. S.; RODRIGUES, L. M.; BENEVENUTO JÚNIOR, A. A.; RAMOS, A. de L. S.; RAMOS, E. M. Effects of PSE meat and salt concentration on the technological and sensory characteristics of restructured cooked hams. **Meat Science**, v. 152, p. 96–103, 2019.

PINTON, M. B.; CORREA, L. P.; FACCHI, M. M. X.; HECK, R. T.; LEÃES, Y. S. V.; CICHOSKI, A. J.; LORENZO, J. M.; DOS SANTOS, M.; POLLONIO, M. A. R.; CAMPAGNOL, P. C. B. Ultrasound: A new approach to reduce phosphate content of meat emulsions. **Meat Science**, v. 152, p. 88–95, 2019.

POLACHINI, T. C. **Determinação das melhores condições de hidrólise física com ultrassom de potência em resíduos de amendoim**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista (Unesp), São José do Rio Preto, 2015.

POND, W. G.; BELL, A. W. **Encyclopedia of Animal Science (Print)**. CRC Press, 2005.

POVEY, M. J. W.; MASON, T. J. **Ultrasound in food processing**. Springer Science & Business Media, 1998.

PRADO, I. N. D.; MAGGIONI, D.; ABRAHÃO, J. J. S.; VALERO, M. V.; PRADO, R. M.; SOUZA, N. E.; SOUZA, N. E. Meat quality of crossbred bulls fed with sorghum silage or sugar cane and slaughtered at two levels of fat thickness. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 3, p. 337–344, 2012.

RIISPOA. **Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária dos produtos de Origem Animal**. Brasília-DF: Ministério da Agricultura. 2017.

RODRIGUES, S.; GOMES, M. C.; GALLÃO, M. I.; FERNANDES, F. A. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 4, p. 665–670, 2009.

ROSSATO, L. V.; BRESSAN, M. C.; RODRIGUES, É. C.; GAMA, L. T. Da; BESSA, R. J. B.; ALVES, S. P. A. Parâmetros físico-químicos e perfil de ácidos graxos da carne de bovinos Angus e Nelore terminados em pastagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 5, p. 1127–1134, 2010.

RYU, Y. C.; CHOI, Y. M.; LEE, S. H.; SHIN, H. G.; CHOE, J. H.; KIM, J. M.; HONG, K. C.; KIM, B. C. Comparing the histochemical characteristics and meat quality traits of different pig breeds. **Meat Science**, v. 80, n. 2, p. 363–369, 2008.

SANJUÁN, N.; SIMAL, S.; BON, J.; MULET, A. Modelling of broccoli stems rehydration process. **Journal of Food Engineering**, v. 42, n. 1, p. 27–31, 1999.

SCHMIDT, F. C. **Desenvolvimento de um processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo aplicado a cortes de peito de frango**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2010.

SCHMIDT, F. C.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Application of diffusive and empirical models to hydration, dehydration and salt gain during osmotic treatment of chicken breast cuts. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 4, p. 553–559, 2009.

- SCOLLAN, N.; HOCQUETTE, J.-F.; NUERNBERG, K.; DANNENBERGER, D.; RICHARDSON, I.; MOLONEY, A. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 17–33, 2006.
- SERRANO-LEÓN, J. S.; BERGAMASCHI, K. B.; YOSHIDA, C. M. P.; SALDAÑA, E.; SELANI, M. M.; RIOS-MERA, J. D.; ALENCAR, S. M.; CONTRERAS-CASTILLO, C. J. Chitosan active films containing agro-industrial residue extracts for shelf life extension of chicken restructured product. **Food Research International**, v. 108, p. 93–100, 2018.
- SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARAIE, M.; MILLER, M. F.; CROUSE, J. D.; REAGAN, J. O. An evaluation of tenderness of the longissimus muscle of Angus by Hereford versus Brahman crossbred heifers. **Journal of Animal Science**, v. 69, n. 1, p. 171, 1991.
- SHIMOKOMAKI, M.; FRANCO, B. D. G. D. M.; BISCONTINI, T. M.; PINTO, M. F.; TERRA, N. N.; ZORN, T. M. T. Charqui meats are hurdle technology meat products. **Food Reviews International**, v. 14, n. 4, p. 339-349, 1998.
- SIKES, A. L., MAWSON, R., STARK, J., WARNER, R. Quality properties of pre-and post-rigor beef muscle after interventions with high frequency ultrasound. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 21, n. 6, p. 2138-2143, 2014.
- SIRÓ, I.; VÉN, C.; BALLA, C.; JÓNÁS, G.; ZEKE, I.; FRIEDRICH, L. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 353–362, 2009.
- STADNIK, J.; DOLATOWSKI, Z. J. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (m. semimembranosus). **European Food Research and Technology**, v. 233, n. 4, p. 553–559, 2011.
- STADNIK, J.; DOLATOWSKI, Z. J.; BARANOWSKA, H. M. Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (m. semimembranosus) during ageing. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 10, p. 2151–2158, 2008.
- SZADZIŃSKA, J.; ŁECHTAŃSKA, J.; KOWALSKI, S. J.; STASIAK, M. The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 531–539, 2017.
- TAIWO, K. A.; ANGERSBACH, A.; KNORR, D. Effects of pulsed electric field on quality factors and mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Process Engineering**, v. 26, n. 1, p. 31–48, 2003.
- TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 2, p. 253–259, 2004.
- 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.
- VÉLEZ, H. A. V. **Estudo do ultrassom de potência no pré-tratamento do material lignocelulósico de resíduos da bananeira**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Universidade

Estadual Paulista (Unesp), São José do Rio Preto, 2015.

VIDAL, V. A. S.; BIACHI, J. P.; PAGLARINI, C. S.; PINTON, M. B.; CAMPAGNOL, P. C. B.; ESMERINO, E. A.; DA CRUZ, A. G.; MORGANO, M. A.; POLLONIO, M. A. R. Reducing 50% sodium chloride in healthier jerked beef: An efficient design to ensure suitable stability, technological and sensory properties. **Meat Science**, v. 152, p. 49–57, 2019.

VYNCKE, W. Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, v. 72, n. 12, p. 1084-1087, 1970.

WANG, Y. H.; BOWER, N. I.; REVERTER, A.; TAN, S. H.; DE JAGER, N.; WANG, R.; MCWILLIAM, S. M.; CAFE, L. M.; GREENWOOD, P. L.; LEHNERT, S. A. Gene expression patterns during intramuscular fat development in cattle1. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 1, p. 119–130, 2009.

YAMADA, T.; HIGUCHI, M.; NAKANISHI, N. Fat depot-specific differences in pref-1 gene expression and adipocyte cellularity between Wagyu and Holstein cattle. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 445, n. 2, p. 310–313, 2014.

YASHODA, K. P.; RAO, R. J.; MAHENDRAKAR, N. S.; RAO, D. N. Marination of sheep muscles under pressure and its effect on meat texture quality. **Journal of Muscle Foods**, v. 16, n. 3, p. 184–191, 2005.

YUSAF, T.; JUBOORI, R. A. Alternative methods of microorganism disruption for agricultural applications. **Applied Energy**, v. 114, p. 909–923, 2014.