

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DOS ALIMENTOS**

**APLICAÇÃO DE ULTRASSOM E ÁGUA
ELETROLISADA NO PRÉ-RESFRIAMENTO DE
PEITO DE FRANGO (*Pectoralis major*)**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Diego Rafael Martins Flores

**Santa Maria, RS, Brasil
2016**

**APLICAÇÃO DE ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA
NO PRÉ-RESFRIAMENTO DE PEITO DE FRANGO
(*Pectoralis major*)**

Diego Rafael Martins Flores

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Área de Concentração em Ciência e Tecnologia de Carnes e Derivados, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.**

Orientador: Prof. Alexandre José Cichoski

Co-orientador: Prof. Nelcindo Nascimento Terra

**Santa Maria, RS, Brasil
2016**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rafael Martins Flores, Diego
Aplicação de ultrassom e água eletrolisada no pré-resfriamento de peito de frango (pectoralis major) / Diego Rafael Martins Flores.- 2016.
105 p.; 30 cm

Orientador: Alexandre José Cichoski
Coorientador: Nelcindo Nascimento Terra
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, RS, 2016

1. Ultrassom 2. Pré-resfriamento 3. Água eletrolisada
4. Qualidade I. José Cichoski, Alexandre II. Nascimento Terra, Nelcindo III. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de
Mestrado

**APLICAÇÃO DE ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA NO PRÉ-
RESFRIAMENTO DE PEITO DE FRANGO (*Pectoralis major*)**

elaborada por
Diego Rafael Martins Flores

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

COMISSÃO EXAMINADORA:

Alexandre José Cichoski, Dr.
(Presidente/Orientador)

Nelcindo Nascimento Terra, Dr.
(Co-orientador)

Cezar Augusto Bizzi, Dr. (UFSM)

Eduardo Huber, Dr. (IFC)

Santa Maria, 2 de Agosto de 2016.

*“Mas vou lembrar
Que não se morre
Quando se deixa vivo
Seu olhar dentro de nós”*

(Duca Leindecker)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e ao meu irmão, pela dedicação, esforço e motivação para superar os percalços do caminho.

À minha “segunda família”, Mateus, Valesca e tia Lenir pelas risadas, desabafos e divertimentos nestes longos anos.

Ao caro prof. Alexandre, pelo esforço contínuo, dedicação e orientações.

Aos amigos da pós-graduação e em especial do NTA e do Lab. 109.

À UFSM e à CAPES pelo suporte estrutural e financeiro para realização deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Universidade Federal de Santa Maria

APLICAÇÃO DE ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA NO PRÉ-RESFRIAMENTO DE PEITO DE FRANGO (*Pectoralis major*)

AUTOR: DIEGO RAFAEL MARTINS FLORES

ORIENTADOR: ALEXANDRE JOSÉ CICHOSKI

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 2 de Agosto de 2016.

A carne de frango possui características que atualmente tem atraído o consumidor, acarretando em uma crescente produção industrial, que busca melhores condições produtivas. O ultrassom (US) e a água eletrolisada (AE) são tecnologias que possibilitam melhorias em processos tradicionais empregados por indústrias frigoríficas. Suas características permitem que haja uma redução do consumo de água e melhorias em atributos como a segurança microbiológica e a maciez. No entanto, ainda são poucos os estudos que descrevam possíveis efeitos oxidativos na carne, especialmente na de frango. As descrições da aplicação de US no pré-resfriamento demonstraram melhorias em comparação com aplicações sem esta tecnologia. O US demonstrou auxiliar as transferências de calor, resultando em um resfriamento homogêneo e mais rápido, principalmente em frequências de 130 kHz. As combinações com AE e US demonstraram uma intensificação do resfriamento. Essas aplicações possuem um limiar de tempo, sendo observada uma redução na capacidade de resfriar as peças analisadas quando este limite é ultrapassado. As aplicações de US e AE também apresentaram reduções na carga microbiológica inicial, sem que houvesse a iniciação de processos oxidativos, alterações na glicólise e no início do processo de conversão do músculo em carne. Contudo, os pedaços analisados não tiveram alterações na sua maciez. Caracteriza-se uma prospectiva utilização de ambas as tecnologias em escalas industriais.

Palavras-chave: Ultrassom. Água eletrolisada. Pré-resfriamento. Qualidade.

ABSTRACT

Masters dissertation
Post Graduate Program in Science and Food Technology
Federal University of Santa Maria

ULTRASOUND AND ELECTROLYZED WATER APPLICATION IN PRE CHILLING OF CHICKEN BREAST (*Pectoralis major*)

AUTHOR: DIEGO RAFAEL MARTINS FLORES

ADVISOR: ALEXANDRE JOSÉ CICHOSKI

Date and Defense Place: Santa Maria, August 2, 2016.

The chicken meat has characteristics that has currently attracted the consumer, leading to increased industrial production, which seeks better production conditions. Ultrasound (US) and the electrolyzed water (EW) are technologies that enable improvements in traditional processes employed by slaughter houses. Its features allow it to have a reduction in water consumption and improvements in features such as the microbiological safety and tenderness. However, further studies are briefly describing possible oxidative effects on meat, especially chicken. Descriptions of the application of US pre-chilling showed improvements compared to applications without this technology. US demonstrated assist heat transfer, resulting in a more homogeneous and rapid cooling, especially in frequencies of 130 kHz. Combinations with EW and US have shown an intensification of cooling. These applications have a limit of time, and observed a reduction in the ability to cool the parts analyzed when this limit is exceeded. The US and EW applications also reported reductions in the initial microbial load, without that there was the initiation of oxidative processes, changes in glycolysis and the beginning of the muscle of the conversion process in the meat. In this pieces were not analyzed changes in its tenderness. Characterizing a prospective use of both technologies in larger and industrial scales.

Keywords: Ultrasound. Electrolyzed water. Pre-chilling. Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Produção de carne de frango por região nos anos 2010 a 2020.	12
Figura 2- Exportação de frango em toneladas - anos 60 a 2016.....	13

ARTIGO 2

Figura 1- Pedacos cilíndricos de peito de frango demonstrando como foram medidos os diferentes pontos de temperaturas.....	45
Figura 2- Fotos termográficas dos pedacos cilíndricos de peito de frango antes e após a imersão durante 10 minutos em banho de ultrassom.	49
Figura 3- Temperaturas em diferentes pontos nos pedacos cilíndricos de peito de frango após saída da imersão durante 10 minutos em água.	52
Figura 4- Temperaturas em diferentes pontos nos pedacos cilíndricos de peito de frango após saída da imersão durante 10 minutos em AEFA.	53
Figura 5- Fotos termográficas dos pedacos cilíndricos de peito de frango antes (a) e após (b) o processo de imersão por 5, 10, 15, 20 e 30 minutos de imersão.....	57
Figura 6- Valores de $\Delta 1$ e $\Delta 2$ na frequência de 130 kHz no modo normal e imersos em água e em AEFA durante 5, 10, 15, 20 e 30 minutos.	58
Figura 7- Detalhe em corte dos pedacos cilíndricos após imersão ao longo de 20 minutos em água e em AEFA.....	63

ARTIGO 3

Figura 1- Análise histológica com coloração de PAS, antes e após a aplicação de ultrassom em imersão com água e AEFA.	92
--	----

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 2

Tabela 1- Temperaturas (°C) antes da imersão e após a imersão na superfície e também temperaturas máximas e mínimas na parte interna e externa nos pedaços de peito de frango	50
Tabela 2- Absorção de água (%) dos pedaços cilíndricos de peito de frango ao longo de 20 minutos de imersão em água e AEFA no banho de US a 130 kHz e modo normal.....	61

ARTIGO 3

Tabela 1- Número de colônias de diferentes grupos de bactérias nos pedaços cilíndricos de peito de frango antes e após a aplicação de US... ..	83
Tabela 2- Número de colônias de bactérias mesófilas e psicrotróficas presentes na água e AEFA antes da imersão e após 10 minutos do processo de imersão.....	85
Tabela 3- Oxidação lipídica (dienos conjugados, peróxidos e TBARS) e proteica (carbonil e tiol) nos pedaços cilíndricos de peito de frango antes e após a aplicação de US	87
Tabela 4- Valores de textura, pH, glicogênio e lactato nos peitos de frangos não submetido a imersão e após a imersão de 10 minutos em banho de ultrassom contendo água e AEFA.	89

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	ARTIGO 1 O EMPREGO DE ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA FRACAMENTE ÁCIDA COMO TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS NA INDÚSTRIA DE CARNES	15
	Resumo	16
	Abstract	17
	Introdução	17
	Conclusão	25
	Referências	26
3	ARTIGO 2 UTILIZAÇÃO DE ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA NO PRÉ RESFRIAMENTO DE PEITO DE FRANGO	38
	Resumo	39
	Introdução	40
	Materiais e métodos	43
	Resultados e discussões	47
	Conclusões	64
	Referências	64
	Material Suplementar	71
4	ARTIGO 3 ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS, OXIDATIVOS E BIOQUÍMICOS DE PEITO DE FRANGO APÓS PRÉ-RESFRIAMENTO EM BANHO DE ULTRASSOM	73
	Resumo	74
	Introdução	75
	Materiais e métodos	77
	Resultados e discussões	81
	Conclusões	93
	Referências	93
5	CONCLUSÕES GERAIS	103
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

1 INTRODUÇÃO

A carne é um alimento com alto valor energético que supre grande parte dos nutrientes essenciais à alimentação humana por ser fonte de proteína (JIMÉNEZ-COLMENERO *et al.*, 2012), vitaminas do grupo B (B1, B2, B6 e B12) e de minerais, como o zinco e selênio (WARRIS, 2010). Em especial, a carne de frango é rica em ferro e em vitaminas como niacina (porções musculares escuras) e riboflavina (músculos claros) (EMBRAPA, 2007).

Nos últimos anos, há um aumento do consumo de carnes de aves, especialmente frangos, em detrimento do consumo de carnes vermelhas. De igual forma, a demanda crescente pelo consumo de carne denominada branca, está atrelada aos novos padrões e estilos de vida (OLIVO & OLIVO, 2006).

A avicultura moderna tem demonstrado aumentos significativos dos índices de produtividade nos últimos anos, figurando o Brasil entre os três maiores produtores de frango (Figura 1). Com o aumento da produção e a maior oferta, há a possibilidade de comercialização de produtos de qualidade com custo baixo.

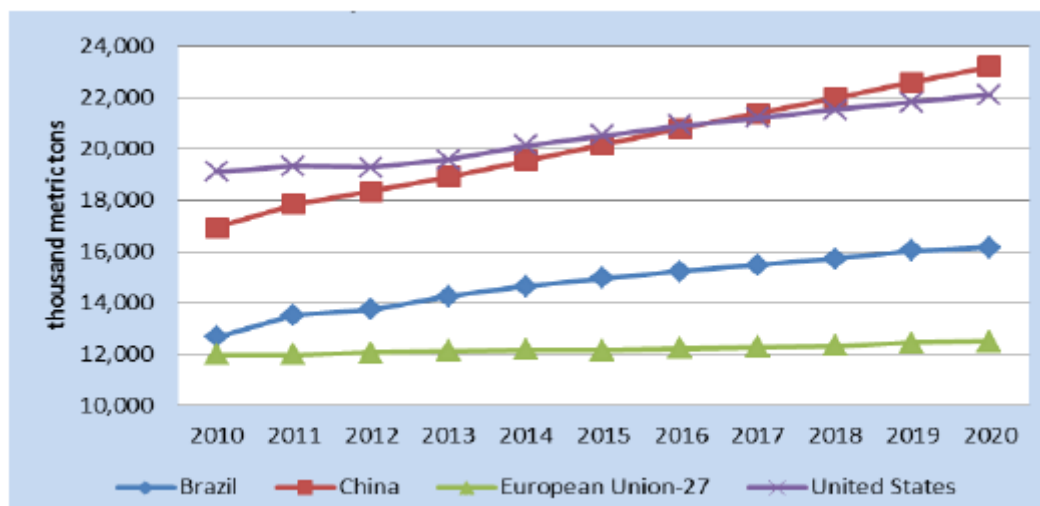


Figura 1- Produção de carne de frango por país - anos 2010 a 2020. Fonte: USDA, 2016.

O Brasil destaca-se também como importante país exportador de carne de frango (Figura 2). A indústria avícola brasileira, por ter sido criada dentro da competitividade internacional, é um setor fadado a um grande e continuado sucesso (TERRA, 2003). Atualmente, a taxa de crescimento de produção da carne de frango deve alcançar 4,22% nas exportações com expansão prevista em

5,62% ao ano, mantendo o Brasil na liderança mundial deste segmento. (BRASIL, 2016).

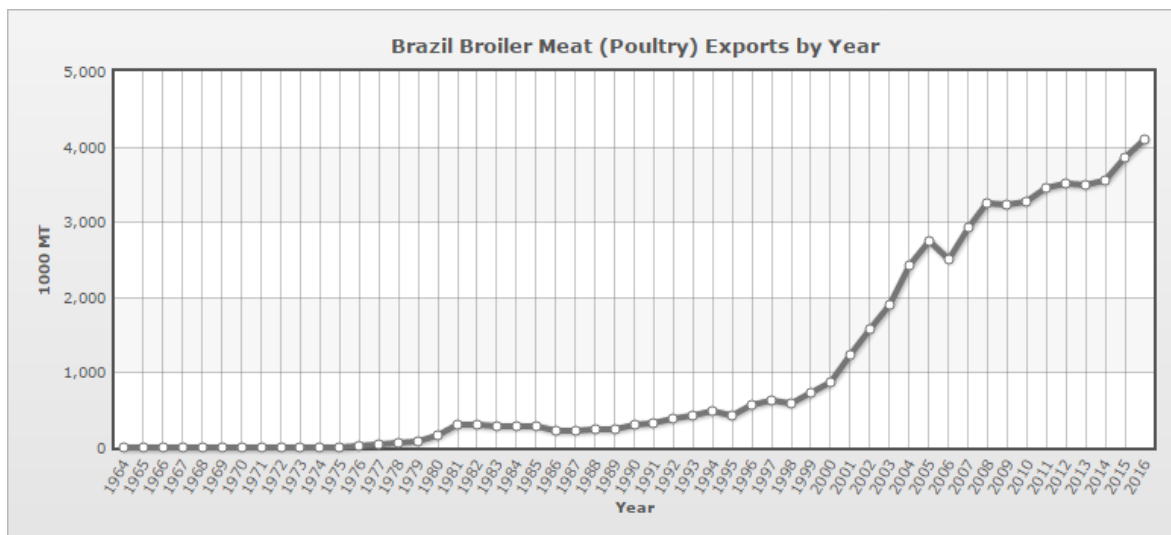


Figura 2- Exportação de frango em toneladas - anos 60 a 2016. Fonte: INDEXMUNDI, 2016.

A qualidade da carne de frango envolve vários aspectos sensoriais que são características determinantes na decisão de compra desta. Um dos princípios que regularizam e interferem na qualidade final da carcaça obtida é o processo de resfriamento aplicado. Na indústria frigorífica avícola, predominam as formas de imersão em tanques de resfriamento com água clorada a temperaturas pré-determinadas. Todavia, este tipo de resfriamento consome tempo e energia prolongados até se obterem temperaturas ideais nas carcaças ou porções miúdas do frango aptas para serem embalados. Com o propósito de aprimorar processos tradicionais, agroindústrias pertencentes à cadeia produtiva da carne seguem uma tendência de buscar inovações tecnológicas para o desenvolvimento de novos ou melhorados produtos, processos ou serviços (SANTINI & FILHO, 2003).

Novas tecnologias permitem ampliar a utilização e a eficiência do uso de recursos naturais, poupando investimentos de dinheiro e mão de obra (CLARK, 2011). Existem várias tecnologias consideradas como processos alternativos, entre elas o emprego de luz pulsada, água eletrolisada, micro-ondas e ultrassom. Essas tecnologias são desenvolvidas com a intenção de auxiliar a preservação dos alimentos, sem a utilização de conservantes, mantendo os valores nutricionais e os caracteres organolépticos (CHEMAT *et al.*, 2011).

A grande parcela dos estudos que envolvem aplicações de ultrassom em matrizes cárneas traz um enfoque fundamentado em modificações de textura e qualidade microbiológica (JAYASOORIYA *et al.*, 2007). Na maioria destas aplicações as porções cárneas apresentam temperaturas entre 25 a 30 °C e estudam-se as modificações ao longo do período de armazenamento. O estudo da aplicação do ultrassom como ferramenta auxiliar ao processo de resfriamento é pouco explorada, sendo que as poucas aplicações são em estruturas vegetais, visando principalmente o processo de congelamento (ZHENG & SUN, 2005; DELGADO, ZHENG & SUN, 2009)

A água eletrolisada tem demonstrado melhores condições de manipulação e produção em comparação aos métodos tradicionais de geração de água clorada. Suas aplicações são voltadas principalmente para a limpeza e à descontaminação de artigos empregados na manipulação de alimentos, bem como na redução do número de microrganismos presentes em carnes de diversas espécies. Sua diversificação de aplicações permite que seja associada a outras tecnologias alternativas, possibilitando um incremento de seus efeitos.

Desta forma, estudar a aplicação de ultrassom e de água eletrolisada a baixa temperatura em porções musculares de frango e avaliar o efeito no resfriamento, nas bactérias, nos processos oxidativos e no processo de conversão do músculo em carne é bem vinda, principalmente por possibilitar ampliar o emprego destas tecnologias em condições de maior escala.

O objetivo geral deste trabalho foi imergir carne de peito de frango em água e água eletrolisada e aplicar diferentes frequências, modos e tempos de ultrassom, acompanhando o resfriamento e a evolução das características microbiológicas, físico-químicas e bioquímicas logo após o processo de imersão. Os objetivos específicos foram analisar o processo de pré-resfriamento da carne de frango após o processo de imersão com água e água eletrolisada e aplicação de ultrassom; acompanhar a evolução de microrganismos deteriorantes e patogênicos da carne de frango logo após a imersão e aplicação de ultrassom; acompanhar a evolução dos processos oxidativos lipídicos e protéicos na carne de frango logo após a imersão e aplicação de ultrassom e avaliar a taxa de glicogênio e lactato, a maciez e analisar histologicamente as porções musculares logo após a imersão e aplicação de ultrassom.

2 ARTIGO 1

O EMPREGO DE ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA FORCAMENTE ÁCIDA COMO TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS NA INDÚSTRIA DE CARNES¹

¹Artigo submetido (18/04/2016) segundo as normas da Revista Ciência Rural

1 **O emprego de ultrassom e água eletrolisada fracamente ácida como tecnologias**
2 **alternativas na indústria de carnes**

3 **Use of alternative technologies in the meat industry**

4 **Diego Rafael Martins Flores^I Dirceu Rodrigues Athayde^I Marianna Stefannelo Silva^I**
5 **Jéssica Soares Silva^I Ana Luísa Gomes Genro^I Alexandre José Cichoski^{II} Juliano**
6 **Smanioto Barin^{II} Roger Wagner^{II} Nelcindo Nascimento Terra^{II} Cristiano Ragagnin^{II}**

7
8 **-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-**

9 **Resumo**

10 A qualidade da carne de diferentes espécies animais é definida por características
11 sensoriais e microbiológicas que podem ser influenciadas por procedimentos durante o abate
12 dos animais. Tecnologias como o ultrassom (US) e a água eletrolisada fracamente ácida
13 (AEFA) estão sendo estudadas com o objetivo de auxiliarem no processamento de alimentos e
14 também no desenvolvimento de métodos que sejam economicamente viáveis e
15 ambientalmente sustentáveis. A indústria cárnea foi a pioneira na utilização do US, o qual
16 inicialmente visava determinar a camada de gordura em carcaças e posteriormente melhorar a
17 maciez da carne. Recentemente estudos mencionam que o US e a AEFA podem influenciar
18 nos parâmetros microbiológicos. Assim a combinação de ambas as tecnologias também deve
19 ser considerada, já que existe a possibilidade de potencializar os efeitos antimicrobianos. No
20 entanto, são poucas as informações em relação aos parâmetros oxidativos promovidos na
21 carne por essas duas tecnologias alternativas, seja quando do emprego individual ou quando
22 intercaladas. Conhecer as ações e as consequências do US e da AEFA na carne possibilitará a
23 abertura de novas perspectivas de aplicação dessas tecnologias na indústria cárnea.

24 **Palavras-chave:** Carne, qualidade, ultrassom, água eletrolisada, bactérias, meio ambiente.

^IPrograma de Pós-graduação em Ciencia e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), Universidade Federal de Santa maria (UFSM), Avenida Roraima, 1000, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: diego-rmf@hotmail.com. *Autor para correspondência.

^{II}Departamento de Tecnologia e Ciencia dos Alimentos (DTCA), UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

25 **Abstract**

26 The quality of meat from different animal species is defined by sensory and
27 microbiological characteristics which can be influenced by procedures during the slaughter of
28 animals. Technologies such as ultrasound (US) and slightly acidic electrolyzed water (SAEW)
29 are being studied in order to assist in food processing and also in developing methods that are
30 economically viable and environmentally sustainable. The meat industry pioneered the use of
31 the US, which initially aimed to determine the layer of fat on carcasses and subsequently
32 improve the tenderness of the meat. Recently studies mention that the US and SAEW can
33 influence the microbiological parameters. The combination of both technologies should also
34 be considered, with the possibility of enhancing the antimicrobial effects. However, there is
35 little information regarding oxidative parameters promoted in meat for these two alternative
36 technologies, where the individual or when interspersed use. Know the actions and
37 consequences of US and AEFA in meat will enable the opening of new perspectives of
38 application of these technologies in meat industry.

39

40 **Key words:** Meat quality, ultrasound, electrolyzed water, bacteria, environment.

41

42 **Introdução**

43 A qualidade da carne das diferentes espécies de animais abatidos pode ser
44 caracterizada por parâmetros como a aparência, textura, sabor, cor e aroma (VIEIRA, 1999).
45 Historicamente, a modernização de equipamentos e instalações industriais possibilitou a
46 indústria cárnea oferecer ao mercado uma carne de qualidade e com segurança microbiológica
47 satisfatória (GOMIDE et al., 2009). As inovações tecnológicas desenvolvidas para o setor

48 agroindustrial são otimizadas para agregar valor e preservar a qualidade do alimento, proteger
49 o meio ambiente e permitir a conquista de mercados no âmbito internacional (SANTINI &
50 FILHO, 2003; SEREIA et al., 2015).

51 As tecnologias alternativas, como a água eletrolisada fracamente ácida (AEFA) e o
52 ultrassom (US), são meios simples de otimização do uso de recursos naturais, de propiciar
53 economia de investimentos (CLARK, 2011) e de auxiliar na preservação dos alimentos sem a
54 adição de conservantes, mantendo os valores nutricionais e as características organolépticas
55 (CHEMAT et al., 2011).

56 A aplicação de US na carne pode modificar a maciez (JAYASOORYIA et al., 2004) e
57 quando associada a altas temperaturas, seu efeito de redução do número de colônias de
58 microorganismos tende a aumentar (PAGAN et al., 1999). As aplicações de AEFA têm
59 demonstrado efeito frente às bactérias em diversas faixas de temperatura e modos de
60 aplicação (KOIDE et al., 2009; NORTH CUTT et al., 2007). No entanto, estes dois processos
61 tecnológicos alternativos ainda necessitam de um entendimento maior para que suas
62 aplicações sejam aprimoradas e assim passem a ser utilizados na indústria de carnes. Desta
63 forma, nesta revisão serão discutidos os princípios dessas tecnologias alternativas e a sua
64 relação com a qualidade da carne e o meio ambiente.

65 Ultrassom

66 Na perspectiva da tecnologia de alimentos, o US é uma onda sonora com uma
67 vibração de alta frequência que promove a mistura de fluidos e forças de cisalhamento
68 (KENTISH & FENG, 2014). O espectro sonoro pode ser dividido em regiões: de baixa
69 frequência e alta intensidade (20-100 kHz) e de alta frequência e baixa intensidade (1-10
70 MHz) (PATIL et al., 2013).

71 Os efeitos do US derivam primariamente da cavitação (SHCHUKIN et al., 2011), que
72 pode ser considerada como pequenas implosões que propiciam o desprendimento de níveis de
73 energia elevados. Nos locais de atuação, as fases gasosas e líquidas atingem temperaturas de
74 cerca de 1900 a 5200 K e pressões acima de 1000 atm (SUSLICK et al., 1986). A cavitação
75 ocorre predominantemente em baixas frequências, sendo que sua energia aumenta com o
76 acréscimo da intensidade da onda (GOT et al., 1999).

77 Em escala laboratorial e piloto, foram propostas diversas aplicações do US no
78 processamento e beneficiamento da carne, tais como no amaciamento (ZHOU et al., 2015),
79 nas alterações da proteólise e na capacidade de retenção de água (DOLATOWSKI et al.,
80 2007), na ação das enzimas envolvidas na maturação da carne (GOT et al., 1999) e na
81 inativação de microorganismos (PIYASENA et al., 2003).

82 Com o objetivo de agregar valor à carne e torná-la mais macia, técnicas são
83 empregadas rotineiramente em cortes com menor grau de maciez e em porções menos
84 rentáveis em carcaças de alto grau de acabamento (BEKHIT & El DIN, 2013; KINSMAN et
85 al., 1994). Métodos tradicionais são empregados pela indústria processadora de carnes
86 visando melhorar a maciez, incluindo formas mecânicas, enzimáticas e químicas (MANE et
87 al., 2014). O US pode atuar no tecido muscular promovendo modificações nas estruturas
88 físicas e no metabolismo protéico e enzimático, melhorando a maciez da carne
89 (JAYASOORYIA et al., 2004).

90 CHANG & WONG (2012) submeteram filé de peixe a US de 60 kHz, 4 W/cm² de
91 intensidade e tempos variáveis de 0, 15, 30, 45 e 90 minutos e obtiveram melhor índice de
92 maciez com 30,45 e 90 minutos de exposição. Nesses tempos, o US promoveu aceleração do
93 metabolismo protéico e enzimático dos filés. XIONG et al. (2012) ao aplicarem US de 25

94 kHz, 12 W/cm² de intensidade por 4 minutos em peitos de frangos, observaram redução da
95 força de cisalhamento da carne destes animais analisados. Essa redução estaria relacionada a
96 um aumento na atividade de enzimas proteolíticas após a aplicação de US, como a caspase-3,
97 que favoreceram a degradação muscular, a maciez e a retenção de água da carne de frango.
98 GAO et al. (2016) ao analisarem microscopicamente a carne de cabra, descreveram que a
99 aplicação de US de 40 kHz, 100 W de intensidade durante 10 minutos, promoveu aumento no
100 comprimento do sarcômero e rompimento de tecido conjuntivo (perimísio), ações essas que
101 melhoraram a maciez da carne.

102 Devido ao elevado risco de contaminação microbiológica da carne durante as etapas
103 de processamento, a indústria utiliza a água clorada para auxiliar na descontaminação das
104 carcaças e o resfriamento para prolongar a vida útil da carne (CUNNINGHAM &
105 LAWRENCE, 1977; JAY, 2005). KRIEGER (2007) observou em um frigorífico com
106 capacidade de abate diário de mais de 1000 suínos, que o consumo de água utilizado no abate
107 de um único animal era de 776 litros. Considerando esse consumo elevado, sugeriu a redução
108 de 50% desse volume através da implantação de tecnologias mais efetivas nos processos de
109 sanitização e limpeza. Devido à praticidade de aplicação, ação antimicrobiana e
110 sustentabilidade ambiental, o US é alvo de pesquisas e desenvolvimento em escalas reduzidas
111 no segmento agroindustrial (CHEMAT et al., 2011).

112 Os mecanismos mais prováveis de inativação bacteriana pelo US seriam os efeitos
113 diretos da cavitação e os efeitos indiretos, que seriam a produção de radicais livres. Na
114 sonicação de soluções aquosas ocorre a formação de radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), hidroperóxidos
115 ($\bullet\text{OOH}$) e espécies extremamente reativas de hidrogênio ($\bullet\text{H}$) (MASON & LORIMER, 2002;
116 SUSLICK, 1989), que podem se recombinar e formar peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (HUA

117 & THOMPSON, 2000). Ainda de acordo com HUA & THOMPSON (2000), essas espécies
118 oxidantes poderiam se difundir pelo meio e atacar estruturas orgânicas, funcionando como
119 agentes sanitizantes.

120 O US de baixa frequência e alta intensidade reduziu o número de colônias de
121 enterobactérias como *Salmonella typhimurium*, *Salmonella derby*, *Salmonella infantis*,
122 *Yersinia enterocolitica* e *Escherichia coli*, presentes na superfície de carcaças e na carne suína
123 quando combinado com pressão por um tempo de 4 a 10 segundos (MORILD et al., 2011). O
124 número de colônias de bactérias mesófilas aeróbicas e ácido lácticas presentes em carne suína
125 diminuiu após tratamento de 2 minutos com US de 25 kHz e 2 W/cm² (DOLATOWSKI &
126 STASIAK, 2002), como também foi observada redução do número de colônias de
127 enterobactérias, bactérias mesófilas aeróbicas e psicrotróficas em carne bovina exposta ao US
128 de 40 kHz e 11 W/cm² entre 60 a 90 minutos (CARAVEO et al., 2014).

129 A ação antimicrobiana do US é favorecida em temperaturas entre 60 a 70 °C
130 (CICHOSKI et al., 2015; PAGAN et al., 1999; RASO et al., 1998), pois a própria temperatura
131 torna a estrutura celular do microorganismo mais susceptível a ações físicas, favorecendo os
132 efeitos da sonicação. Mesmo que o efeito antimicrobiano do US seja mais eficiente em
133 maiores temperaturas, ALLIGER (1975), GUERRERO et al. (2001) e HERCEG et al. (2012)
134 relataram que em temperaturas entre 10 a 20 °C as condições do meio tornariam o potencial
135 de cavitação mais intenso, o qual favoreceria ainda mais a formação de radicais livres e a
136 força de cisalhamento.

137 O US quando combinado a outras tecnologias alternativas pode ter seus efeitos
138 antimicrobianos potencializados, auxiliando ainda mais na redução do número de colônias de
139 microorganismos (LIU et al., 2013). Recentemente a combinação das tecnologias de US e

140 AEFA foi descrita com resultados satisfatórios. Nesse mesmo sentido, DING et al. (2015) e
141 FORGHANI & OH (2013) associaram US de 40 kHz com AEFA (25-30 mg/L Cl₂ a 25°C) e
142 observaram aumento de 20 a 30% nas reduções do número de colônias de microorganismos,
143 quando comparada à aplicação isolada das tecnologias. Demonstra que ocorreu sinergismo
144 entre as tecnologias, já que os efeitos de cavitação facilitaram a penetração de compostos
145 clorados da AEFA na estrutura celular dos microorganismos.

146 Água Eletrolisada

147 O cloro vem sendo utilizado na indústria frigorífica há muitos anos como agente
148 sanitizante e de limpeza de instalações, diluído em água para ser aplicado em carcaças e
149 miúdos, podendo também ser aplicado na forma de spray ou imersão em tanques de pré-
150 resfriamento (KAMEYAMA et al., 2012; KOTULA et al., 1974; TOZZETI et al., 2009).
151 Para que a água a ser utilizada nestes processos seja gerada de forma tradicional, é necessária
152 a manipulação de grandes volumes de compostos químicos altamente voláteis, irritantes às
153 vias respiratórias e nocivos à saúde humana (BRASIL, 2004). Contudo, o emprego de novas
154 tecnologias para a geração de água clorada, como a eletrólise, pode tornar este processo mais
155 prático, simples e ambientalmente adequado (RAHMAN et al., 2016). Devido ao seu mínimo
156 potencial corrosivo, a AEFA pode ser menos agressiva a saúde humana, ao meio ambiente e
157 requerer mínimos procedimentos de segurança em seu manuseio (ZACHARIA et al., 2010).
158 Os custos operacionais associados à aplicação de AEFA também podem ser menores, devido
159 à possibilidade de produção local (AL-HAQ et al., 2005).

160 O princípio de funcionamento dos equipamentos de água eletrolisada (AE) consiste na
161 passagem de uma solução salina (NaCl ou KCl) em água pura por uma célula de eletrólise,
162 que é composta de dois pólos: o positivo (anodo) e o negativo (catodo) (ZOULIAS et al.,

163 2013). A solução salina empregada gera uma corrente elétrica entre os pólos, sendo que as
164 modificações na sua concentração podem gerar diferentes valores de cloro disponíveis. Com
165 variações de 2 a 20 g/L de NaCl em água pura, é possível a produção de água eletrolisada com
166 concentrações de cloro de 5 a 200 mg/L (HSU, 2000; RAHMAN et al., 2016). A mistura de
167 água eletrolisada ácida e água eletrolisada básica forma a AEFA, que apresenta pH entre 6 a
168 6,5, potencial de oxi-redução (Eh) 800-900mV , contendo predominantemente HOCl (95%),
169 íons hipoclorito (ClO^- – 5%) e traços de Cl_2 (GUENTZEL et al., 2008).

170 A AEFA possui mecanismos que promovem a redução do crescimento microbiano e a
171 inativação de bactérias. Esses mecanismos se dão através da oxidação de compostos
172 proteicos envolvidos no metabolismo celular, rearranjos celulares, indução de danos ao DNA
173 (HUANG et al., 2008), apoptose e reações de redox que envolvem a transferência de elétrons
174 e formações de pontes de dissulfetos (LIAO et al., 2006).

175 A AEFA tem despertado grande interesse na agricultura, medicina e indústria de
176 alimentos, pela sua versatilidade e por apresentar atividade antimicrobiana mesmo quando
177 aplicada em diferentes modos. Trabalhos demonstraram que a imersão, lavagem e aspersão
178 com AEFA nas concentrações de cloro entre 5 a 120 mg/L, foram efetivas frente a
179 *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella enteridis* em
180 carne fresca de frango, bovina e suína (AYEBAH & HUNG, 2005; KOIDE et al., 2009;
181 NORTHCUTT et al., 2007; SHIMAMURA et al., 2015; ZHANG et al., 2011), em presunto
182 cozido e salsichas (CICHOSKI et al., 2015; FABRIZIO & CUTTER, 2005) e na limpeza e
183 desinfecção de facas e equipamentos de processamento de alimentos (CAO et al., 2009;
184 HUANG et al., 2008).

185 Grande parte das aplicações de AEFA em alimentos foi realizada em temperaturas
186 compreendidas entre 20 °C a 40 °C (DING et al., 2015; KIM et al., 2005; SHIROODI et al.,
187 2016). Entretanto, CAO et al. (2009) e RAHMAN et al. (2013) observaram que a AEFA
188 manteve sua ação antimicrobiana mesmo quando aplicada em temperaturas entre 5 e 10 °C,
189 pois reduziu o número de colônias de *Listeria*, *Escherichia coli* e *Salmonella* spp. inoculadas
190 em na superfície de ovos e na carne suína.

191 Efeitos das tecnologias na oxidação de carnes

192 São poucas as informações sobre os efeitos do US e da AEFA na oxidação lipídica e
193 proteica, restringindo os estudos a carnes de animais de espécies específicas. Essas
194 informações tornam-se importantes em virtude que a sonicação da água pode gerar radicais
195 livres, pressões e temperaturas altas (MARCHIONI et al., 2009) e que a AEFA pode causar
196 danos às estruturas biológicas, inclusive nos tecidos musculares (SHIRAHATA et al., 1997).

197 Filés de peixe tratados por mais de 30 minutos com US de 60 kHz e 4 W/mL de
198 intensidade, apresentaram forte indicativo de aumento do metabolismo muscular e da
199 proteólise durante o período de armazenamento, os quais contribuíram para o aumento dos
200 valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) (CHANG & WONG, 2012).
201 TURIENZO et al. (2012) demonstraram que a aplicação de US de 35 kHz em carnes de
202 salmão fresco, por um tempo entre 15 e 20 minutos, apresentaram baixos valores de peróxidos
203 e TBARS. Esses baixos valores de oxidação lipídica estariam correlacionados com as
204 mudanças que ocorreram na estrutura proteica dos filés de peixe e assim protegeram
205 compostos que sofreriam deterioração.

206 Aparentemente, as aplicações de AEFA em carne de peixe e suína demonstraram
207 reduzir ou não interferir na formação de compostos lipídicos oxidados. RAHMAN et al.

208 (2013) descreveram que a carne suína imersa por 10 minutos em AEFA a 25 °C com pH 6,8,
209 Eh 700 mV e concentração de cloro de 10 mg/L apresentou mínimas modificações na
210 formação de TBARS, quando comparado a tratamentos controle com água destilada.
211 MAHMOUD et al. (2006) relataram que a imersão de filés de carpa primeiramente em água
212 eletrolisada básica (pH 11, Eh -850 mV e 0 mg/L Cl₂) e após em água eletrolisada ácida (pH
213 2, Eh 1137 mV e 40 mg/L Cl₂) a temperatura de 25 °C por 15 minutos, reduziu
214 significativamente o valor de peróxidos e de TBARS. A imersão em água básica poderia
215 funcionar como um agente antioxidante, preservando estruturas e tecidos de danos oxidativos
216 (SHIRAHATA et al., 1997).

217 Os mecanismos oxidativos e funcionais das proteínas da carne são brevemente
218 estudados após aplicações de US, mas ainda não são descritos quando da aplicação de AEFA.
219 O US de baixa frequência e alta intensidade pode interagir diminuindo o tamanho de
220 partículas em extratos proteicos bovinos, de peixes e de albumina bovina sérica (GULSEREN
221 et al., 2007; SULLIVAN et al., 2015). GULSEREN et al. (2007) também descreveram que
222 grupos tiol livre foram reduzidos após a aplicação de US nos extratos de albumina bovina
223 sérica, sugerindo que os radicais livres produzidos pela sonicação podem reagir com a
224 albumina e desta forma contribuir com as modificações oxidativas demonstradas.

225 **Conclusão**

226 O US pode amaciar cortes de carne através de efeitos diretos e indiretos da cavitação,
227 bem como pode garantir a segurança destes por apresentar efeito de inativação de
228 microorganismos. A AEFA possui um grande potencial de utilização na indústria da carne,
229 decorrente que seus efeitos antimicrobianos são mantidos quando utilizada nas diversas
230 formas e temperaturas de aplicação. As ações antimicrobianas podem ser potencializadas com

231 a conciliação de US e AEFA, através da combinação de efeitos da cavitação e do cloro.
232 Ambas as tecnologias podem diminuir o consumo de recursos naturais e de produtos químicos
233 utilizados pelas agroindústrias e serem tão ou mais efetivas quanto a metodologias
234 tradicionais. Porém, ainda são necessários estudos quanto à aplicação destas tecnologias em
235 relação à oxidação proteica e lipídica nas carnes de diferentes espécies, para que seja possível
236 o desenvolvimento de aplicações em larga escala.

237 **Referências**

- 238 ALLIGER, H. Ultrasonic disruption. **American Laboratory**, v.10, p. 75-85, 1975.
- 239 AL-HAQ, M. I. et al. Applications of electrolyzed water in agriculture e food industries. **Food**
240 **Science Technologies Research**, v. 11, n.2, p. 135-150, 2005. Disponível em:
241 <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/fstr/11/2/11_2_135/ article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/fstr/11/2/11_2_135/article)>
242 [doi:doi.org/10.3136/fstr.11.135](https://doi.org/10.3136/fstr.11.135).
- 243 ANGEL, S. Aspects of quality assurance and ritualistic practices In: **Muscle foods**. Chapman
244 & Hall, 1994, p. 361-378.
- 245 AYEBAH, B. HUNG, Y. C. Electrolyzed water and its corrosiveness on various surface
246 materials commonly found in food processing facilities. **Journal of Food Process**
247 **Engineering**, n. 28, p. 247-264, 2005. Disponível em:
248 <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-4530.2005.00424.x/full>> doi:
249 10.1111/j.1745-4530.2005.00424.x.
- 250 BRASIL. **Higiene e sanitização – Preparo de água clorada**. Embrapa Agrobiologia,
251 Sistemas de Produção, v. 01, 2004.
- 252 BEKHIT, A. EL-DIN A. Physical intervention to manipulate texture and terdeness of fresh
253 meat: a review. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n.2, p. 433-453, 2013.

- 254 Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942912.2011.642442>> doi:
255 10.1080/10942912.2011.642442.
- 256 CAO, W. et al. Efficiency of slightly acidic electrolyzed water for inactivation of Salmonella
257 enteritidis and its contaminated shell eggs. **International Journal of Food Microbiology**, v.
258 130, n. 2, p. 88-93, 2009. Disponível em:
259 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160508006788>>
260 doi:[10.1016/j.ijfoodmicro.2008.12.021](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.12.021)
- 261 CARAVEO, O. et al. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated
262 with high-intensity ultrasound and stored at 4°C. **Journal of Science Food Agricultural**,
263 2014. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.6979/full>> doi:
264 10.1002/jsfa.6979.
- 265 CICHOSKI, A.J. et al. Ultrasound-assisted post-packaging pasteurization of sausages.
266 **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 30, p. 132-137, 2015. Disponível
267 em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856415000995>> doi:
268 [10.1016/j.ifset.2015.04.011](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.011)
- 269 CLARK, J. H. Alternatives to conventional food processing In: **Introduction to Green**
270 **Chemistry**, RSC Publishing, 2011, p. 1-8.
- 271 CHANG, H.C.; WONG, R.X. Textural and biochemical properties of cobia (*Rachycentron*
272 *canadum*) sashimi tenderized with the ultrasonic water bath. **Food Chemistry**, v. 132, p.
273 1340-1345, 2012. Disponível em:
274 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814611017201>>
275 doi: [10.1016/j.foodchem.2011.11.116](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.116).

- 276 CHEMAT, F. et al. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation,
277 and extraction. **Ultrasonic Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813- 835, 2011. Disponível em:
278 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417710002385>> doi:
279 [10.1016/j.ultsonch.2010.11.023](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023).
- 280 CUNNINGHAM, H.M.; LAWRENCE, G.A. Effect of exposure of meat and poultry to
281 chlorinated water on the retention of chlorinated compounds and water. **Journal of Food**
282 **Science**, v. 42, n. 6, 1977. Disponível em:
283 <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1977.tb08411.x/abstract>> DOI:
284 10.1111/j.1365-2621.1977.tb08411.x.
- 285 DING, T. et al. Impact of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and ultrasound on
286 microbial loads and quality of fresh fruits. **Food Science and Technology**, v. 60, p. 1195-
287 1199, 2015. Disponível em:
288 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643814005672>> doi:
289 [10.1016/j.lwt.2014.09.012](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.012).
- 290 DOLATOWSKI, Z. J. et al. Application of ultrasound in food technology. **Technologia**
291 **Alimentaria**, v.6, n. 3, p. 89-99, 2007. Disponível em:
292 <http://www.food.actapol.net/pub/8_3_2007.pdf>
- 293 DOLATOWSKI, Z.J.; STASIAK, D.M. Bacterial contamination of meat and meat products
294 after ultrasound treatment. **Technologia Alimentaria**, v. 1, p. 55-65, 2002. Disponível em:
295 <http://www.food.actapol.net/pub/6_1_2002.pdf>
- 296 FABRIZIO, K.A.; CUTTER, C.N. Application of electrolyzed oxidizing water to reduce
297 *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat meats. **Meat Science**, v.71, n. 2, p. 327-333, 2005.

298 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174005001439>> doi:
299 [10.1016/j.meatsci.2005.04.012](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.012).

300 FORGHANI, F.; OH, D.H. Hurdle enhancement of slightly acidic electrolyzed water
301 antimicrobial efficacy on Chinese cabbage, lettuce, sesame leaf and spinach using
302 ultrasonication and water wash. **Food Microbiology**, v. 36, p. 40-45, 2013. Disponível em:
303 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002013000671> [10.1016/j.fm.2013.04](https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04)
304 > doi: 002 [10.1016/j.fm.2013.04.002](https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.002).

305 GAO, J. et al. Effects of ultrasound, CaCl₂ and STPP on the ultrastructure of the milk goat
306 *Longissimus* muscle fiber observed with atomic force microscopy. **Scanning**, v. 9999, p. 1-9,
307 2016. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sca.21298/full>> doi:
308 10.1002/sca.21298.

309 GUENTZEL, J. L. et al. Reduction of bacteria on spinach, lettuce and surfaces in food service
310 areas using neutral electrolyzed oxidizing water. **Food Microbiology**, v. 25, p. 36-41, 2008.
311 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002007000962>> doi:
312 [10.1016/j.fm.2007.08.003](https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.08.003).

313 GOMIDE, L.A.M. Pré-resfriamento In: **Tecnologia de abate e tipificação de carcaças**.
314 UFV, 2009, p. 233-236.

315 GOT, F. et al. Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate,
316 ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. **Meat Science**, v. 51, p. 35-42,
317 1999. Disponível em: <
318 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174098000941>> doi: [10.1016/S0309-](https://doi.org/10.1016/S0309-)
319 [1740\(98\)00094-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00094-1).

- 320 GUERRERO, S. et al. Effect of ultrasound on the survival of *Saccharomyces cerevisiae*:
321 influence of temperature, pH and amplitude. **Innovative Food Science & Emerging**
322 **Technologies**, v.2, p. 31-39, 2001. Disponível em:
323 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856401000200>> doi: [10.1016/S1466-](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(01)00020-0)
324 [8564\(01\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(01)00020-0).
- 325 GULSEREN, I. Structural and functional changes in ultrasonicated bovine serum albumin
326 solutions. **Ultrasonic Sonochemistry**, v. 14, p. 173-183, 2007. Disponível em:
327 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417706000678>> doi:
328 [10.1016/j.ultsonch.2005.07.006](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2005.07.006).
- 329 HERCEG, Z. et al. The effect of high intensity ultrasound treatment on the amount of
330 *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in milk. **Food Technology Biotechnology**, v. 50,
331 p. 46-52, 2012. Disponível em:
332 <[http://search.proquest.com/openview/b6498723592c7c9c832a724ab1408252/1?pq-](http://search.proquest.com/openview/b6498723592c7c9c832a724ab1408252/1?pq-origsite=gscholar)
333 [origsite=gscholar](http://search.proquest.com/openview/b6498723592c7c9c832a724ab1408252/1?pq-origsite=gscholar)>.
- 334 HSU, S.Y. Effects of flow rate, temperature and salt concentration on chemical and physical
335 properties of electrolyzed oxidizing water. **Food Engineering**, v. 66, p. 171-176, 2005.
336 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877404001098>> doi:
337 [10.1016/j.jfoodeng.2004.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.003).
- 338 HUANG, Y. R. et al. Application of electrolyzed water in the food industry. **Food Control**, n.
339 19, p. 329-345, 2008. Disponível em:
340 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713507001697>> doi:
341 [10.1016/j.foodcont.2007.08.012](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.08.012).

- 342 HUA, I. THOMPSON, J. E. Inactivation of *Escherichia coli* by sonication at discrete
343 ultrasonic frequencies. **Water Research**, v. 34, n. 15, p. 3888-3893, 2000. Disponível em:
344 <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135400001214>> doi: [10.1016/S0043-](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00121-4)
345 [1354\(00\)00121-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00121-4).
- 346 JAY, J. M. Carnes frescas e aves In: **Microbiologia de alimentos**. Artmed, 2005, p. 75-99.
- 347 JAYASOORIYA, S.D. et al. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a
348 review. **International Journal of Food Properties**. v. 7, n.2, p 301-319, 2004. Disponível em:
349 <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/JFP-120030039>> doi: 10.1081/JFP-120030039
- 350 KAMEYAMA, M. et al. Effect of cooled and chlorinated chiller water on *Campylobacter* and
351 coliform on broiler carcasses during chilling at a middle-size poultry processing plant.
352 **Journal Veterinarian Medical Science**, v. 74, n. 1, p. 129-133, 2012. Disponível em:
353 <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jvms/74/1/74_11-0167/_article> doi:
354 doi.org/10.1292/jvms.11-0167
- 355 KIM, C. et al. Efficacy of electrolyzed water in the prevention and removal of fecal material
356 attachment and its microbicidal effectiveness during simulated industrial poultry processing.
357 **Poultry Science**, v. 84, p. 1778-1784, 2005. Disponível em:
358 <<http://ps.oxfordjournals.org/content/84/11/1778.short>> doi: 10.1093/ps/84.11.1778.
- 359 KINSMAN, D.M. et al. Quality characteristics In: **Muscle food**. Chapman & Hall, 1994, p.
360 296-333.
- 361 KENTISH, S.; FENG, H. Applications of power ultrasound in food processing. **Annual**
362 **Reviews of Food Science and Technology**, v. 5, p. 263-284, 2014. Disponível em:
363 <<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-food-030212-182537>> doi:
364 10.1146/annurev-food-030212-182537.

- 365 KOIDE, S. et al. Disinfection efficacy of slightly acidic electrolyzed water on fresh cut
366 cabbage. **Food Control**, v. 20, p. 294-297, 2009. Disponível em:
367 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713508001655>> doi:
368 [10.1016/j.foodcont.2008.05.019](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.05.019).
- 369 KOTULA, A.W. et al. Beef carcass washing to reduce bacterial contamination. **American**
370 **Society of Animal Science**, v. 39, n. 4, p. 674-679, 1974. Disponível em:
371 <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/jas/abstracts/39/4/JAN0390040674>> doi:
372 10.2134/jas1974.394674x.
- 373 KRIEGER, E.I.F. **Avaliação do consume de água, racionalização do uso e reuso do**
374 **efluente liquido de um frigorífico de suínos na busca da sustentabilidade socioambiental**
375 **da empresa**. 2007. 145f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Ecologia,
376 Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 377 LIAO, L. B. et al. The generation and inactivation mechanism of oxidation-reduction
378 potential of electrolyzed oxidizing water. **Journal of Food Engineering**, n. 78, p. 1326-
379 1332, 2006. Disponível em:
380 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877406000495>> doi:
381 [10.1016/j.jfoodeng.2006.01.004](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.004)
- 382 LIU, R. et al. The effect of electrolyzed water on decontamination, germination and gama-
383 aminobutyric acid accumulation of brown rice. **Food Control**, v. 33, n. 1, p. 1-5, 2013.
384 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713513000832>> doi:
385 [10.1016/j.foodcont.2013.02.008](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.008).
- 386 MAHMOUD, B.S.M. et al. Preservative effect of combined treatment with electrolyzed NaCl
387 solutions and essential oil compounds on carp fillets during convectional air-drying.

- 388 **International Journal of Food Microbiology**, v. 106, p. 331-337, 2006. Disponível em:
389 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160505004605>> doi:
390 [10.1016/j.jfoodmicro.2005.09.010](https://doi.org/10.1016/j.jfoodmicro.2005.09.010).
- 391 MARCHIONI, C. et al. Structural changes induced in proteins by therapeutic ultrasounds.
392 **Ultrasonics**, v. 49, p. 569-576, 2009. Disponível em:
393 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0041624X09000122>> doi:
394 [10.1016/j.ultras.2009.02.003](https://doi.org/10.1016/j.ultras.2009.02.003).
- 395 MANE, B.G. et al. Tenderization of meat and meat products: a detailed review In: **Food**
396 **composition and analysis: methods and strategies**, CRC Press, 2014, p. 93-115.
- 397 MASON, T. J.; LORIMER, J. P. Sonochemistry in environmental protection and remediation:
398 the sonification of water In: **Applied sonochemistry: use of power ultrasound in**
399 **chemistry and processing**, Wiley-vch, 2002, p. 137-138.
- 400 MORILD, R.K. et al. Inactivation of pathogens on pork by steam-ultrasound treatment.
401 **Journal of Food Protection**, v. 74, p. 769-775, 2011. Disponível em:
402 <<http://www.ingentaconnect.com/content/iafp/jfp/2011/00000074/00000005/art00009>> doi:
403 [dx.doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-338](https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-338).
- 404 NORTHCUTT, J. et al. Recovery of bacteria from broiler carcasses after spray washing with
405 acidified electrolyzed water or sodium hypochlorite solutions. **Poultry Science**, v. 86, p.
406 2239-2244, 2007. Disponível em: <<http://ps.oxfordjournals.org/content/86/10/2239.short>>
407 doi: 10.1093/ps/86.10.2239.
- 408 PAGÁN, R. et al. Bacterial resistance to ultrasonic waves under pressure at nonlethal
409 (manosonication) and lethal (manothermosonication) temperatures. **Applied and**

- 410 **Enviromental Microbiology**, v. 65, p. 297-300, 1999. Disponível em:
411 <<http://aem.asm.org/content/65/1/297.short>>
- 412 PATIL, R. et al. Relevance of sonochemistry or ultrasound (US) as a proficient means for the
413 synthesis of fused heterocycles. **Ultrasonic Sonochemistry**, v. 8, ed. 6, p. 1327-1336, 2013.
414 Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23669313>> doi:
415 [10.1016/j.ultsonch.2013.04.002](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.04.002).
- 416 PIYASENA, P. et al. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. **International**
417 **Journal of Food Microbiology**, v. 87, p. 207-216, 2003. Disponível em:
418 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160503000758>> doi: [10.1016/S0168-](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00075-8)
419 [1605\(03\)00075-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00075-8).
- 420 RASO, J. et al. Influence of temperature and pressure on the lethality of ultrasound. **Applied**
421 **and Environmental Microbiology**, v. 64, p. 465-471, 1998. Disponível em:
422 <<http://aem.asm.org/content/64/2/465.short>>
- 423 RAHMAN, S.M.E. et al. Synergistic effect of low concentration electrolyzed water and
424 calcium lactate to ensure microbial safety, shelf life and sensory quality of fresh pork. **Food**
425 **Control**, v. 30, p. 176-183, 2013. Disponível em:
426 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713512003738>> doi:
427 [10.1016/j.foodcont.2012.06.041](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.06.041)
- 428 RAHMAN, S.M.E. et al. Electrolyzed water as a novel sanitizer in the food industry:current
429 trends and future pesperctives. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**,
430 p. 1-20, 2016. Disponível em: <[http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12200/pdf)
431 [4337.12200/pdf](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12200)> doi: 10.1111/1541-4337.12200.

432 SANTINI, G.A.; FILHO, H.M.S. **Mudanças tecnológicas em cadeias agroindustriais: uma**
433 **análise dos elos de processamento da pecuária de corte, avicultura de corte e**
434 **suinocultura**. UNESP, Diretório da Pesquisa Privada no Brasil, 2003.

435 SEREIA, V.J. et al. Fatores determinantes da inovação nas empresas agroindustriais de carne.
436 **Nova Economica**, v. 25, n.3, 2015. Disponível em:
437 <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010363512015000300647&script=sci_arttext&tlng=p
438 [t](#)>

439 SHIMAMURA, Y. et al. The application of alkaline and acidic electrolyzed water in the
440 sterilization of chicken breasts and beef liver. **Food Science & Nutrition**, 2015. Disponível
441 em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.305/full>> doi: 10.1002/fsn3.305

442 SHIRAHATA, S. et al. Electrolyzed-reduced water scavenges active oxygen species and
443 protects DND from oxidative damage. **Biochemical and Biophysical Research**
444 **Communications**, v. 234, p. 269-274, 1997. Disponível em:
445 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006291X97966225>> doi:
446 [10.1006/bbrc.1997.6622](http://dx.doi.org/10.1006/bbrc.1997.6622).

447 SHIROODI, S.G. et al. Efficacy of electrolyzed oxidizing water as a pretreatment method for
448 reducing *Listeria monocytogenes* contamination in cold smoked Atlantic salmon. **Food**
449 **Control**, v. 60, p. 401-407, 2016. Disponível em:
450 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713515301559>> doi:
451 [10.1016/j.foodcont.2015.08.020](http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.020)

452 SHCHUKIN, D. G. et al. Ultrasonic cavitation at solid surfaces. **Advanced Materials**, v.23,
453 p. 1922-1934, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21337429>> doi:
454 10.1002/adma.201004494

- 455 SULLIVAN, J.O. et al. The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and
456 emulsifying properties of animal and vegetable proteins. **Food Hydrocolloids**, p. 1-14, 2015.
457 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X15000703>> doi:
458 [10.1016/j.foodhyd.2015.02.009](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.009).
- 459 SUSLICK, K. S. The sonochemical hot spot. American Chemical Society, 1986.
- 460 SUSLICK, K. S. The chemical effect of ultrasound. **Scientific American**, 1989. Disponível
461 em: <<http://www.nature.com/doifinder/10.1038/scientificamerican0289-80>> doi:
462 10.1038/scientificamerican0289-80.
- 463 TOZZETI, D.S. et al. Desinfetantes, eficácia e custo. **Revista Científica Eletrônica de**
464 **Medicina Veterinária**, n. 12, 2009. Disponível em:
465 <[http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/qbudCJhoJCdVz86_2013-6-](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/qbudCJhoJCdVz86_2013-6-21-10-41-4.pdf)
466 [21-10-41-4.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/qbudCJhoJCdVz86_2013-6-21-10-41-4.pdf)>
- 467 TURIENZO, L. R. et al. Effects of edible coatings based on ultrasound-treated whey proteins
468 in quality attributes of frozen Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Innovative Food Science and**
469 **Emerging Technologies**, v.14, p. 92-98, 2012. Disponível em:
470 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856411001548>> doi:
471 [10.1016/j.ifset.2011.12.003](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.12.003).
- 472 VIEIRA, S.L. Conceitos atuais de qualidade em produtos de frango: Efeito da nutrição inicial.
473 Simpósio Internacional de Tecnologia, Processamento e Qualidade da Carne de Aves, **Anais**
474 **Concórdia: Embrapa**, 1999, p. 60-68.
- 475 XIONG, G. Y. et al. Influence of ultrasound and proteolytic enzyme inhibitors on muscle
476 degradation, tenderness and cooking loss of hens during aging. **Czech Journal Food Science**,

- 477 v.30, n.3, p.195-205, 2012. Disponível em:
478 <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17061838>> doi: 10.1021/jf061576w.
- 479 ZACHARIA, A.I. et al. In vitro inactivation of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and
480 *Salmonella* spp. Using slightly acidic electrolyzed water. **Journal of Bioscience and**
481 **Bioengineering**, v. 110, p. 308-313, 2010. Disponível em:
482 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172310001131>> doi:
483 [10.1016/j.jbiosc.2010.03.012](https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2010.03.012)
- 484 ZHANG, C. et al. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enteritidis* on
485 mung bean seeds and sprouts by slightly acidic electrolyzed water. **Food Control**, v. 22, p.
486 792-796, 2011. Disponível em:
487 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713510003865>> doi:
488 [10.1016/j.foodcont.2010.11.018](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.11.018)
- 489 ZHOU, Y. et al. Effects of ultra-high pressure tenderizing treatment on the quality
490 characteristics of venison. **Journal of Food Process Engineering**, 2015. Disponível em:
491 <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpe.12214/full>> doi: 10.1111/jfpe.12214
- 492 ZOULIAS, E. et al. A review on water electrolysis. **Centre for renewable energy sources**,
493 2013. Disponível em: <<http://large.stanford.edu/courses/2012/ph240/jorna1/docs/zoulias.pdf>>

3 ARTIGO 2

UTILIZAÇÃO DE ULTRASSOM E ÁGUA ELETROLISADA NO PRÉ-RESFRIAMENTO DE PEITO DE FRANGO¹

¹Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Innovative Food Science & Emerging Technologies.

1 **Utilização de ultrassom e água eletrolisada no pré-resfriamento de peito de**
2 **frango**

3
4 **Resumo**

5 A carne de frango teve seu consumo elevado atualmente, expressando um
6 aumento da produção do mercado brasileiro para suprir esta demanda. O
7 resfriamento de frango é predominantemente utilizado na forma de imersão,
8 podendo ser auxiliado por tecnologias pouco estudadas como o ultrassom (US) e a
9 água eletrolisada (AE). O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes modos,
10 frequências e tempos de sonicação no pré-resfriamento de porções de peito de
11 frango. Foram utilizadas termografias para avaliar o processo de resfriamento e
12 foram realizadas determinações de absorção de água, umidade e atividade de água
13 dos pedaços de carne. As aplicações de US em ambas as frequências (25 e 130
14 kHz) auxiliaram no resfriamento dos pedaços por melhorias nas trocas de calor por
15 condução e convecção. Destacam-se as aplicações de 130 kHz por resfriarem as
16 porções de forma mais uniforme. As aplicações de US possuem um tempo de 10 a
17 15 minutos os quais promoveram melhores ações de resfriamento. A combinação de
18 água AE e US resultou em menores taxas de troca de calor em comparação com
19 água.

20 **Palavras-chave: ultrassom, água eletrolisada, pré-resfriamento.**

21 1 Introdução

22 Observa-se um aumento no consumo de carnes denominadas brancas,
23 principalmente frangos, devido aos benefícios propostos à saúde do consumidor e
24 ao preço reduzido (Olivo & Olivo, 2006; Warris, 2010). Com o aumento do consumo,
25 a avicultura tem demonstrado aumentos significativos dos índices de produtividade
26 nos últimos anos, figurando o Brasil entre os três maiores produtores de frangos
27 (Faostat, 2016).

28 O processo de resfriamento influencia na qualidade final das carcaças de
29 frangos e na indústria avícola o mesmo é feito predominantemente por imersão, em
30 duas etapas denominadas de *pré-chiller* e *chiller*. O tempo e a temperatura da água
31 utilizados nos banhos de imersão podem propiciar mudanças bioquímicas e
32 estruturais na carne de frango, as quais influenciarão diretamente no tempo de vida
33 de prateleira (Petрак, Kalodera, Novakovic & Karolyi, 1999).

34 O resfriamento tem como objetivo reduzir a temperatura das carcaças, que
35 estão próximas a 40 °C, para 4 °C em um tempo que pode variar de 1 hora e meia a
36 2 horas (Brasil, 1998). No *pré-chiller* a água apresenta temperatura máxima de 16
37 °C e as carcaças permanecem em imersão por um tempo máximo de 30 minutos,
38 saindo dessa etapa com temperatura máxima de 7 a 10 °C. Em seguida as carcaças
39 são transportadas ao *chiller*, onde são mantidas imersas durante 45 a 90 minutos a
40 temperatura inferior a 4 °C. Em ambas as etapas ocorre renovação constante de
41 água clorada (2-5 mg/L Cl₂) (Brasil, 1998). Porém, esses sistemas de resfriamento
42 requerem um alto consumo de energia e despendem tempo até as carcaças de
43 frangos estarem aptas para serem embaladas (Santini & Filho, 2003).

44 Tecnologias alternativas são um meio simples de maximizar a eficiência do
45 uso de recursos naturais, economizar energia e diminuir custos de operações (Clark,
46 2011). Entre os processos alternativos, tem-se a água eletrolisada (AE) e o
47 ultrassom (US), que podem auxiliar na preservação dos alimentos (Chemat, Huma &
48 Khan, 2011).

49 O US é dividido em regiões de baixa frequência e alta intensidade (20-100
50 kHz) e alta frequência e baixa intensidade (1-10 MHz) (Patil, Bhoir, Desphande,
51 Wattanwar & Shirude, 2013). A intensidade e a frequência são os principais
52 parâmetros considerados na aplicação do US (Carcel, Benedito, Bon & Mulet, 2007).
53 A utilização de baixas frequências (16–100 kHz) e altas intensidades (10-100 W/cm²)
54 pode causar injúrias físicas ou promover reações químicas nas estruturas ou nos
55 materiais sonicados (McClements, 1995; Soria & Villamiel, 2010). No entanto, o
56 emprego de altas frequências e baixas intensidades não induz alterações físico-
57 químicas nas propriedades dos materiais sonicados (Dolatowski, Stadnik & Stasiak,
58 2007).

59 A propagação de ondas por um meio líquido induz à alternância de pressão
60 (compressão e rarefação) que forma bolhas no interior das estruturas. Este processo
61 ocorre predominantemente em baixas frequências, sendo denominado como
62 cavitação (Got et al., 1999). O rompimento destas bolhas pode ser considerado
63 como pequenas implosões, que geram níveis de energia elevados (Suslick et al.,
64 1986).

65 Estudos que envolveram aplicações de US em matrizes cárneas
66 demonstraram principalmente melhorias na textura (Jayasooriya, Bhandari, Torley &

67 D'Arcy, 2004; Jayasooriya, Bhandari, Torley & D'Arcy, 2007), não havendo relatos
68 desta tecnologia como auxiliar ao processo de resfriamento de carnes.

69 A água eletrolisada fracamente ácida (AEFA) apresenta vantagens em
70 relação aos métodos tradicionais de cloração da água, devido à sua segurança e à
71 facilidade de produção. Suas características permitem que essa solução seja menos
72 agressiva à saúde humana e que requeira mínimas técnicas de segurança em seu
73 manuseio (Al-Haq, Sugiyama & Isobe, 2005; Zacharia, Kamitani, Tisekwa, Morita, &
74 Iwasaki, 2010).

75 A AEFA caracteriza-se por apresentar pH de 6,0 a 6,5, Eh de 800 a 900mV e
76 conter ácido hipocloroso (HOCl - 95%), íons hipoclorito (ClO⁻ - 5%) e traços de Cl₂
77 (Guentzel, Lam, Callan, Emmons & Dunham, 2008). O HOCl é predominante na
78 AEFA, apresentando boa ação frente as bactérias, onde sua estabilidade encontra-
79 se na faixa de pH desta solução (Izumi, 1999). A AEFA tem despertado grande
80 interesse como agente desinfetante em diversas áreas, como agricultura, medicina e
81 indústria de alimentos (Cao, Zhu, Shi, Wang & Li, 2009; Huang, Hung, Hsu, Huang &
82 Hwang, 2008; Koide, Takeda, Shi, Hiroshi & Griffiths, 2009; Northcutt, Smith, Ingram,
83 Hinton & Musgrove, 2007; Zacharia, Kamitani, Miwa, Muhimbula & Iwasaki, 2011;
84 Zhang et al., 2011;).

85 Decorrente que o US e a AEFA são tecnologias alternativas que possibilitam
86 aprimorar métodos tradicionais, os objetivos desse trabalho foram avaliar o emprego
87 de diferentes frequências, modos e tempos de exposição ao US da carne de peito
88 de frango imersa em água e AEFA.

89 2 Materiais e métodos

90 2.1 Obtenção das carcaças de frangos e aplicação de ultrassom

91 Carcaças de frangos a temperatura de 37 ± 1 °C foram coletadas antes que
92 chegassem ao *pré-chiller* em um matadouro-frigorífico sob inspeção municipal e
93 colocadas em caixas térmicas que foram levadas imediatamente à Universidade
94 Federal de Santa Maria (UFSM). No laboratório procedeu-se a elaboração dos
95 cortes cilíndricos dos peitos dos frangos nas dimensões de 5 cm de diâmetro por 3
96 cm de altura.

97 Os pedaços cilíndricos dos peitos dos frangos foram submetidos à aplicação
98 de US em banhos multi frequência Elma[®] modelo TI H-10 MF2 e MF3, nas
99 frequências de 25 e 130 kHz e potencia nominal de 80 W. Utilizou-se água e AEFA a
100 10 °C de acordo com a portaria n° 210 (Brasil, 1998) nas cubas dos banhos de US.
101 A AEFA empregada apresentava pH $6,0 \pm 0,1$, cloro livre de $5 \pm 0,2$ mg/L e potencial
102 redox de 800-850 mV, enquanto que a água apresentava pH $7,0 \pm 0,1$, potencial
103 redox de 130-140 mV e não possuía cloro.

104 2.2 Aplicações dos diferentes modos e frequências de US

105 Foram aplicadas as frequências de 25 e 130 kHz nos modos de operações
106 “normal” e “sweep” durante 10 minutos. O tempo foi estipulado levando em
107 consideração o limite estabelecido de até 30 minutos no estágio de pré-resfriamento,
108 de acordo com o regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higienico-
109 Sanitária de Carnes de Aves (Brasil, 1998). Durante o tempo de imersão, ocorreu
110 renovação dos dois tipos de águas na vazão de 500 mL/min.

111 2.3 Aplicação de diferentes tempos de US

112 Escolhido o modo de aplicação (normal) e frequência de US (130 kHz),
113 procedeu-se o estudo do tempo de exposição ao banho de US. Assim os pedaços
114 cilíndricos de peito de frango foram imersos em água e AEFA durante 5, 10, 15, 20 e
115 30 minutos (Brasil, 1998), em banho de US (Elma[®] modelo TI H-10 MF3), na
116 temperatura de 10 °C (± 1 °C), respeitando o limite de até 16 °C considerado pela
117 Portaria n° 210 (Brasil, 1998), em fluxo de renovação de 500 mL/min, para ambas os
118 tipos de águas.

119 2.4 Análises Termográficas

120 Para avaliar o efeito dos diferentes modos, frequências e tempos de operação
121 do US, procedeu-se a realização de análises termográficas. Os pedaços cilíndricos
122 foram expostos a uma câmera de IR FLIR[®] modelo E60, antes (Figura 1A) e logo
123 após a saída do banho de US (Figura 1B). A bancada foi recoberta com chapas de
124 espuma vinilica acetinada (EVA) de 20 cm de comprimento por 20 cm de largura,
125 que foram trocadas a cada pedaço cilíndrico fotografado. A câmera foi colocada 65
126 cm distante da imagem captada e a emissividade utilizada foi de 0,95 €. Foram
127 mensurados 30 pontos de temperatura na superfície de cada pedaço cilíndrico de
128 peito de frangos, antes de serem submetidos à imersão no banho de US (Figura 1 –
129 I).

130 Após a imersão, os cilindros de peito de frango foram seccionados
131 longitudinalmente e cada metade foi fotografada. A mensuração da temperatura foi
132 realizada através da seção transversal de um pedaço cilíndrico de peito de frango

133 (Figura 1 - II), correspondendo nesse intervalo a cerca de 40 pontos de temperatura
134 aferidos. As temperaturas máximas correspondem a pontos aferidos próximos ao
135 centro da peça (triângulo vermelho) e as temperaturas mínimas (triângulo azul)
136 correspondem a pontos aferidos próximos a superfície da peça (Figura 1 - II).

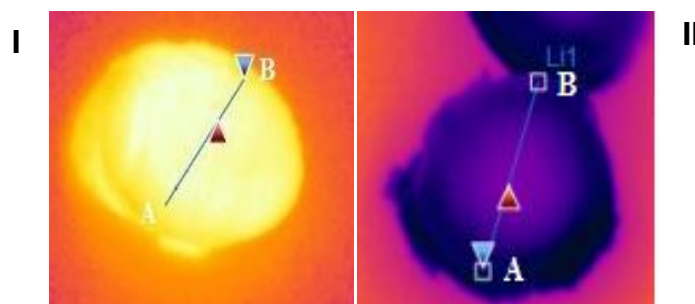


Figura 1- Pedacos cilíndricos de peito de frangos demonstrando como foram medidos os diferentes pontos de temperaturas. Figura 1 - I antes da imersão no banho de US. Figura 1 - II após a imersão e com corte transversal mostrando a parte interna. (Leitura das temperaturas de A para B. A e B = parte externa do corte/ ▼ ponto de menor temperatura/ ▲ ponto de maior temperatura).

137 Os dados obtidos das imagens termográficas foram transformados em médias
138 e expressos como delta (Δ). O $\Delta 1$ corresponde aos valores médios de redução de
139 temperatura na superfície dos pedaços cilíndricos de peito de frango, que foram
140 obtidos pela diferença da temperatura média inicial de superfície (antes da imersão)
141 e a temperatura média final de superfície (depois da imersão). O $\Delta 2$ corresponde
142 aos valores médios de diferenças de temperaturas entre a parte interna e a parte
143 externa nos pedaços cilíndricos de peito de frango, que foram obtidos pela diferença
144 entre as temperaturas máximas (parte interna do pedaço de peito) e as temperaturas

145 mínimas (parte externa do pedaço A e B), logo após a retirada dos pedaços do
146 banho de US.

147 Na primeira etapa do trabalho, os pedaços cilíndricos de carne de peito de
148 frango foram divididos em 5 tratamentos: Controle sem US (C), frequência 25 kHz
149 em modo normal (T1), frequência de 25 kHz em modo sweep (T2), frequência 130
150 kHz em modo normal (T3) e frequência 130 kHz em modo sweep (T4).

151 Na segunda etapa do trabalho procedeu-se da mesma maneira descrita
152 anteriormente para as imagens termográficas, onde os pedaços cilíndricos de carne
153 de peito de frango foram divididos em 4 tratamentos: Controle sem US em água (C1
154 água), US a frequência 130 kHz em modo normal em água (T1 US água), Controle
155 sem US em AEFA (C2 AEFA) e US a frequência de 130 kHz em modo normal em
156 AEFA (T2 US AEFA).

157 2.4 Análises Físico-Químicas

158 A absorção de água dos pedaços cilíndricos foi calculada pela diferença de
159 peso inicial (antes de imergir) menos o peso final (após a imersão) (Ramos &
160 Gomide, 2007). A umidade dos pedaços cilíndricos foi determinada pela técnica de
161 perda por dessecação assistida por microondas (MALOD), através da diferença de
162 peso antes e após a secagem, conforme Marques et al. (2016). Para a determinação
163 da atividade de água dos pedaços cilíndricos foi utilizado o aparelho Aqualab[®] 4TEV.
164 A preparação da amostra e a utilização do aparelho foram realizadas conforme
165 instruções contidas no manual de operação.

166 2.5 Análises estatísticas

167 Os experimentos foram modelados através do delineamento inteiramente
168 casualizado com nível de significância de 5%. Os tratamentos foram feitos em 3
169 repetições. Foi feito o teste de comparação múltipla entre médias de Duncan para a
170 análise de diferença significativa entre contraste entre médias. O programa
171 estatístico utilizado foi o Statistica 8.0 (Statsoft).

172 **3 Resultados e discussões**

173 3.1 Aplicação dos diferentes modos e frequências de US

174 Os pedaços cilíndricos de peito de frango antes de serem submetidos ao
175 banho de imersão em água (Figura 2A - Tabela 1) apresentaram temperaturas que
176 variaram entre 34,23 °C (C) a 38,95 °C (T2), e após a imersão os valores passaram
177 (Figura 2 A - Tabela 1) a variar entre 16,97 °C (T3) e 20,34 °C (T2). Os pedaços de
178 peito de frangos imersos em AEFA (Figura 2B - Tabela 1) variaram entre 35,29 °C
179 (T1) a 38,33 °C (T3) e, após a imersão, (Figura 2B - Tabela 1) variaram de 18,40 °C
180 (T3) a 21,09 °C (C).

181 O sistema caracterizado por dois diferentes meios, um sólido (pedaços
182 cilíndricos de peito de frango) envolto por um fluido (água do tanque do ultrassom),
183 ambos com diferentes temperaturas, induz à transferência de calor por convecção,
184 onde o fluido em movimento irá trocar calor com a superfície do sólido (Incropera &
185 Dewitt, 1998). Nas condições estudadas, o US auxiliou na transferência de calor na
186 maioria dos tratamentos realizados, decorrente que as ondas de US ao se
187 propagarem em um meio líquido, produzem turbulências que facilitarão o processo
188 de troca de calor de forma convectiva (Carciofi, 2005; Floros & Liang, 1994; Li &

189 Sun, 2002). Como consequência, os valores de temperaturas após o processo de
190 imersão nos pedaços de peito de frango foram menores que os seus respectivos
191 controles (Tabela 1), não ocorrendo isso somente no tratamento T2 – 25S que
192 apresentou temperatura de 20,34 °C após a imersão (Tabela 1).

193 Com a termografia (Figura 2,) foi possível avaliar o grau de resfriamento
194 ocorrido nos pedaços cilíndricos de peito de frango em todos os tratamentos, através
195 dos valores de $\Delta 1$ (Tabela 1), que informam a redução de temperatura que ocorreu
196 nos pedaços de peito após serem submetidos ao banho de US. Assim, o maior
197 resfriamento ocorreu no tratamento T3 130 N em AEFA onde a redução de
198 temperatura ($\Delta 1$) nos pedaços de peito de frango foi de 19,68 °C, diferindo ($p < 0,05$)
199 dos demais tratamentos.

200 Quanto maior a movimentação da água quando da imersão das carcaças de
201 frangos no pré-chiller e chiller, mais fácil será o processo de troca de calor de forma
202 convectiva entre as carcaças de frangos (Carciofi, 2005). As ondas de US se
203 propagam bem em meios líquidos promovendo turbulência, produzida pela cavitação
204 entre a interface líquida e sólida, auxiliando na transferência de calor (Floros &
205 Liang, 1994). Isso ocorreu no tratamento T3 130 N, onde o US auxiliou no pré-
206 resfriamento dos pedaços cilíndricos de peito de frango.

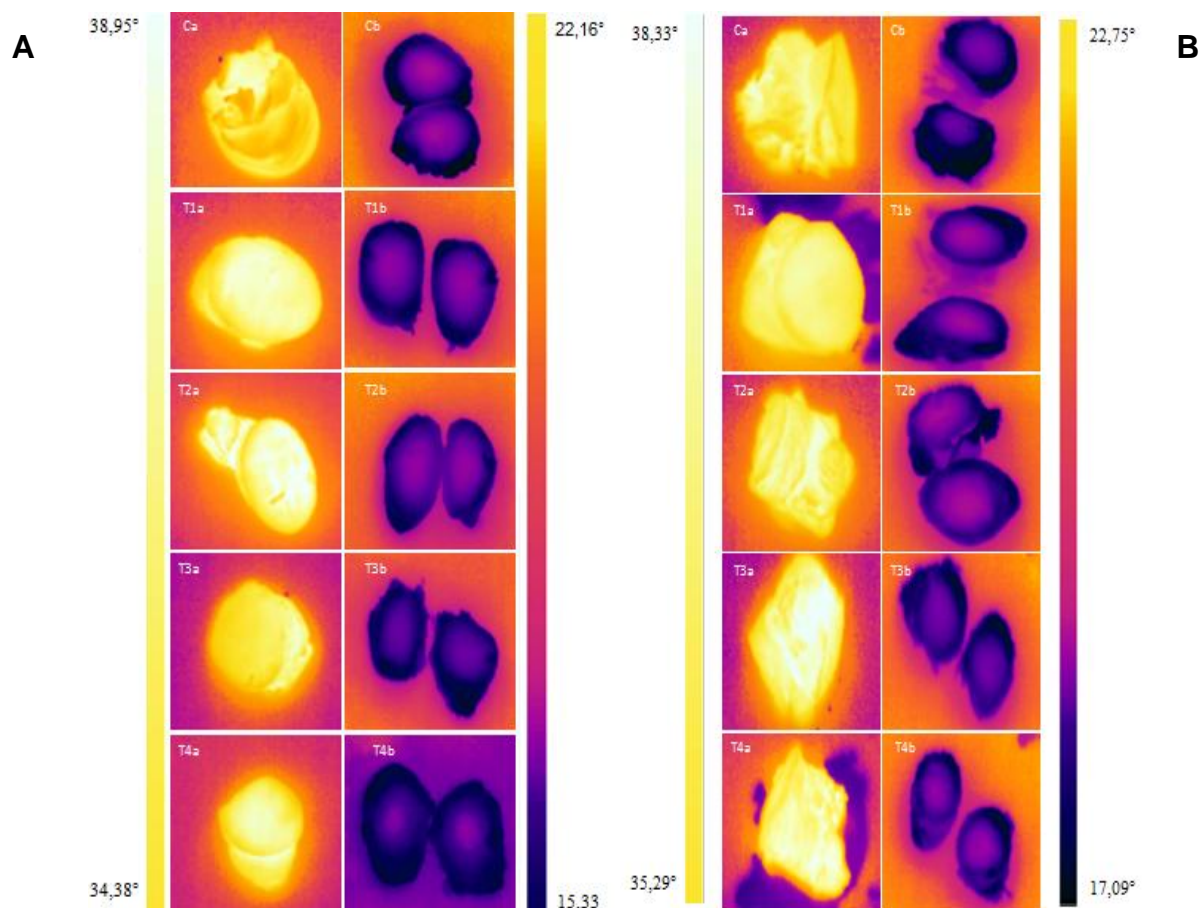


Figura 2- Fotos termográficas dos pedaços cilíndricos de peito de frango antes e após a imersão durante 10 minutos em banho de ultrassom contendo água (A) e contendo AEFA (B). Legenda da figura a= antes de imergir, b= após imersão, C = controle, T1 = 25 kHz modo normal, T2 = 25 kHz modo sweep, T3 = 130 kHz modo normal, T4 = 130 kHz modo sweep.

207 A menor redução de temperatura ocorreu no tratamento T1 25 N com AEFA
 208 cujo valor foi de 14,50 °C (Tabela 1), o qual não diferiu ($p>0,05$) do valor de seu
 209 controle (14,27 °C). Palitos de batatas submetidos à aplicação de US a 25 kHz
 210 durante 20 minutos e imersos em solução com 50% de etilenoglicol e 50% de água,
 211 apresentaram redução significativa de temperatura em relação ao seu controle (Sun
 212 & Li, 2002). Fato esse que não ocorreu no tratamento T1 25 N em AEFA, mas

213 ocorreu nos tratamentos T2 25 S em AEFA, T1 25 N e T2 25 S em água (Tabela 1),
 214 cujos valores diferiram dos valores encontrados em seus respectivos controles
 215 ($p < 0,05$).

Tabela 1- Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) antes da imersão e após a imersão na superfície e também temperaturas máximas e mínimas na parte interna e externa nos pedaços cilíndricos de peito de frango após o processo de imersão por dez minutos em água e em água eletrolisada fracamente ácida.

Meio de imersão / Tratamento		T $^{\circ}\text{C}$ inicial	T $^{\circ}\text{C}$ final	$\Delta 1$	T $^{\circ}\text{C}$ Máx. interna	T $^{\circ}\text{C}$ Mín. externa	$\Delta 2$
Água	C	34,23 \pm 0,85	19,41 \pm 2,28	14,74 ^F \pm 2,32	22,16 \pm 0,36	15,33 \pm 0,23	6,83 ^A \pm 0,05
	T1-25N	38,14 \pm 0,14	18,97 \pm 1,17	18,96 ^B \pm 1,23	20,51 \pm 0,17	16,70 \pm 0,13	3,81 ^C \pm 0,06
	T2-25S	38,95 \pm 0,39	20,34 \pm 1,20	18,47 ^{BC} \pm 0,95	21,87 \pm 0,16	18,29 \pm 0,15	3,58 ^{CD} \pm 0,19
	T3-130N	34,38 \pm 0,59	16,97 \pm 0,67	17,36 ^D \pm 0,50	18,04 \pm 0,12	15,74 \pm 0,20	2,30 ^E \pm 0,11
	T4-130S	36,84 \pm 1,16	17,77 \pm 0,63	18,91 ^B \pm 0,64	18,96 \pm 0,12	16,5 \pm 0,17	2,46 ^E \pm 0,07
AEFA	C	35,39 \pm 0,31	21,09 \pm 1,06	14,27 ^F \pm 0,97	22,46 \pm 0,16	19,23 \pm 0,21	3,23 ^D \pm 0,07
	T1-25N	35,29 \pm 0,23	20,37 \pm 1,25	14,50 ^F \pm 1,03	21,94 \pm 0,19	17,86 \pm 0,15	4,08 ^C \pm 0,05
	T2-25S	36,51 \pm 0,25	20,62 \pm 1,66	15,44 ^E \pm 1,56	22,75 \pm 0,24	17,57 \pm 0,13	5,18 ^B \pm 0,15
	T3-130N	38,33 \pm 0,58	18,40 \pm 0,75	19,68 ^A \pm 0,34	19,50 \pm 0,11	17,09 \pm 0,18	2,41 ^E \pm 0,80
	T4-130S	37,84 \pm 0,03	20,46 \pm 1,42	17,98 ^C \pm 1,42	22,31 \pm 0,22	17,39 \pm 0,19	4,92 ^B \pm 0,08

Nota: S= sweep, N= normal, 25 kHz e 130 kHz. Redução de graus centrígrados $\Delta 1$ = temperatura inicial superfície – temperatura final (após imersão) na superfície. Diferença em graus centrígrados $\Delta 2$ = temperatura máxima na parte interna – temperatura mínima na parte externa após a imersão. Valores expressos em média \pm desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna (A, B) indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

216 Para que a energia possa ser removida da parte interna dos pedaços
217 cilíndricos de peito de frango, o calor deve ser transferido até a superfície do
218 pedaço, para então ser retirado pelo mecanismo de convecção. Esse mecanismo de
219 transferência de calor no pedaço cilíndrico ocorre por condução. Conseqüentemente,
220 no processo de resfriamento dos pedaços cilíndricos de peito de frango temos os
221 dois tipos de transferência de calor (Incropera & Dewitt, 1998).

222 Os pedaços de peito de frango tratados a 130 kHz e imersos em água em
223 ambos os modos de operação e os imersos em AEFA em modo normal,
224 apresentaram a menor diferença ($\Delta 2$) em graus centígrados entre a parte interna e
225 externa. Os valores foram 2,30 °C (normal), 2,46 °C (sweep) em água (Tabela 1 e
226 Figura 3), e de 2,41 °C em AEFA no modo normal (Tabela 1 e Figura 4) e todos
227 esses valores diferiram ($p < 0,05$) dos demais tratamentos. Nesses tratamentos
228 ocorreu maior transferência de calor por condução, que foi favorecida nessa
229 frequência de US utilizada e pelo sistema de renovação de água empregado (500
230 mL/min).

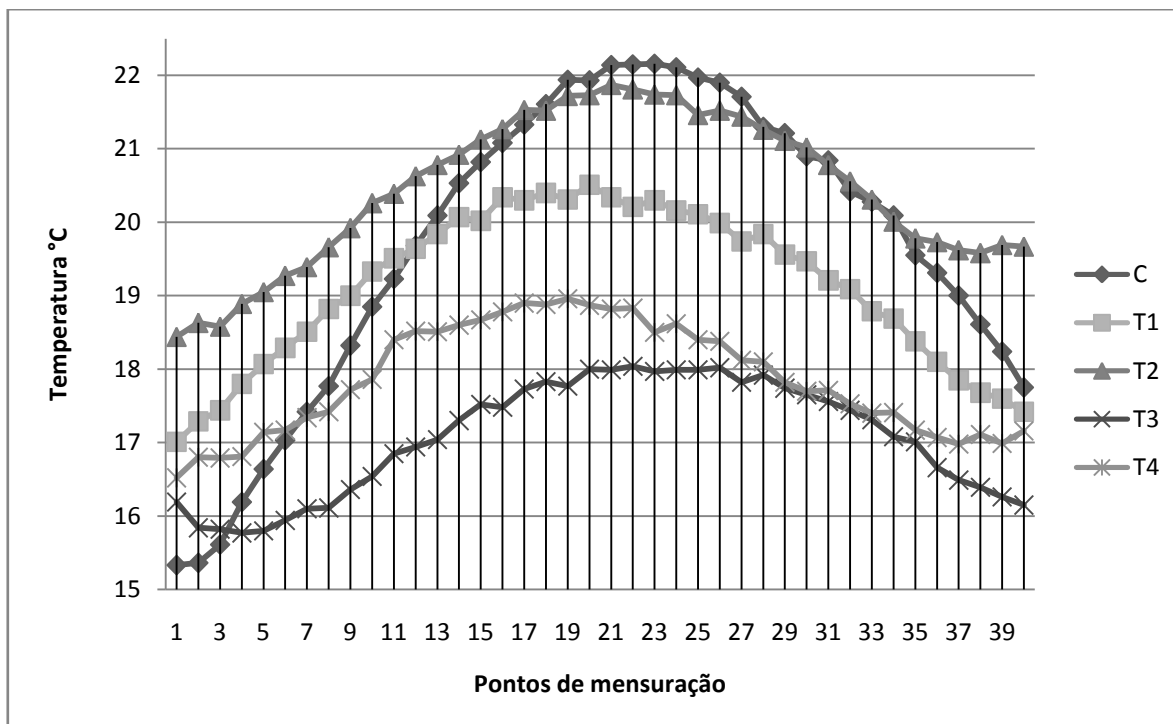


Figura 3- Temperaturas em diferentes pontos nos pedaços cilíndricos de peito de frango após saída da imersão durante 10 minutos em água. C= controle, T1= US 25 kHz modo normal, T2= US 25 kHz modo sweep, T3= 130 kHz modo normal, T4 = 130 kHz modo sweep.

231 As termografias possibilitaram avaliar como ocorreu a transferência de calor
 232 por condução do exterior para o interior dos pedaços de peito de frango (Figura 1 A
 233 e B), possibilitando calcular a diferença entre elas através do $\Delta 2$ (Tabela 1). Os
 234 dados de $\Delta 2$ permitiram avaliar se o resfriamento ocorreu de maneira uniforme na
 235 parte externa e interna dos pedaços de peito de frango.

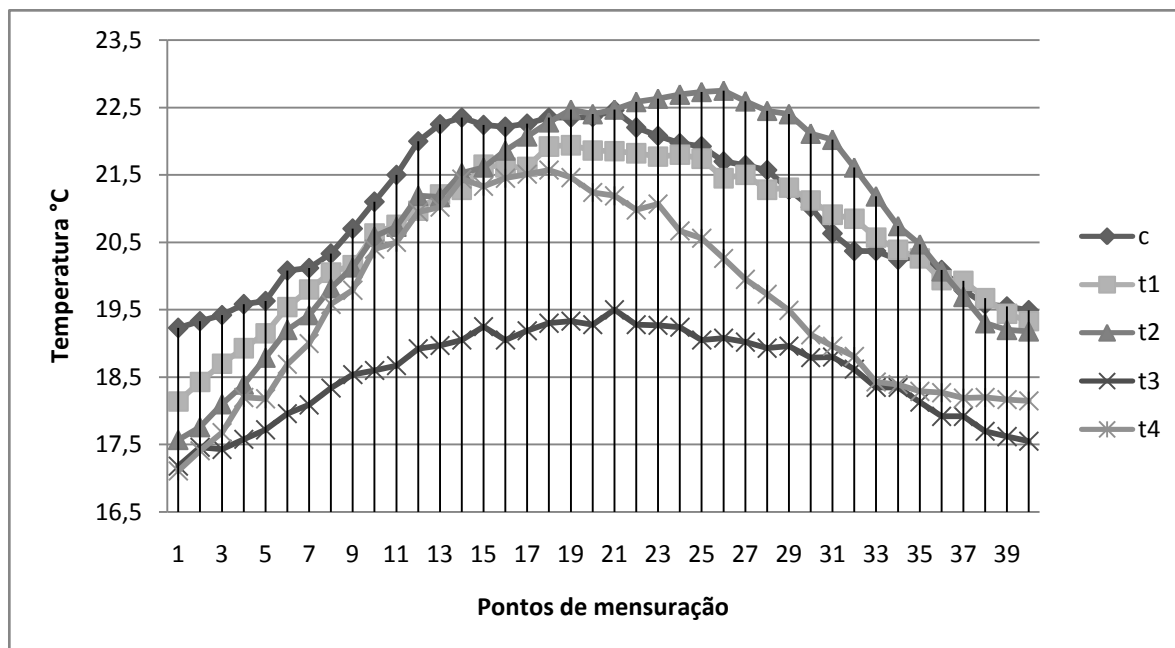


Figura 4- Temperaturas em diferentes pontos nos pedaços cilíndricos de peito de frangos após saída da imersão durante 10 minutos em água eletrolisada fracamente ácida. C= controle, T1= US 25 kHz modo normal, T2= US 25 kHz modo sweep, T3= 130 kHz modo normal, T4 = 130 kHz modo sweep.

236 Na frequência de 25 kHz, em ambos os modos de operação, os pedaços de
 237 peito de frango imersos em água (Tabela 1 e Figura 3) também apresentaram
 238 diferença ($\Delta 2$) significativa ($p < 0,05$) de temperatura entre a parte interna e externa
 239 em relação ao seu respectivo controle (Tabela 1 e Figura 3). Porém, resfriaram
 240 significativamente menos ($p < 0,05$) em relação aos pedaços submetidos a 130 kHz
 241 nessas mesmas condições ($\Delta 2$, Tabela 1 e Figura 3). O mesmo não ocorreu quando
 242 os pedaços de peito de frango foram submetidos a 25 kHz e imersos em AEFA
 243 (Tabela 1 e Figura 4), uma vez que a diferença de temperatura entre a parte interna
 244 e externa ($\Delta 2$) em relação ao seu controle foi significativamente menor ($p > 0,05$).

245 Em relação às frequências aplicadas nas diferentes condições (normal,
246 sweep, água e AEFA), os pedaços de peito de frango submetidos a 130 kHz,
247 apresentaram menores valores de $\Delta 2$, do que a 25 kHz (Tabela 1, Figura 3 e 4). Há
248 o indicativo que a 130 kHz ocorreu melhor transferência de calor por condução da
249 parte interna para externa no pedaço de peito de frango.

250 Baixas frequências de US (20 – 100 kHz) ao se propagarem em meio líquido
251 promovem implosões das bolhas com maior intensidade (cavitação), e assim geram
252 elevados níveis de energia no meio (Laborde, Bouyer, Caltagirone, Gerard, 1998;
253 Suslick et al., 2007). Ocorrerá aquecimento na água de imersão se a renovação da
254 água do sistema não for suficiente para manter a temperatura do processo (10 °C
255 vazão 500 mL/min) e como consequência, haverá diminuição da intensidade de
256 resfriamento. Além disso, os movimentos nos meios líquidos causados pelo US
257 aumentam a energia que poderá ser convertida em calor (Bermudez-Aguirre, 2011).

258 O modo de aplicação “sweep” caracteriza-se por manter continuamente as
259 pressões sonoras em níveis máximos, distribuindo o campo sonoro no meio líquido
260 de forma mais homogênea (ELMA, 2009). Como grande parte da energia
261 ultrassônica transferida para um líquido é convertida em calor (Raso, Mañas, Pagan
262 & Sala, 1999; Sun & Li, 2002), este modo de aplicação de US pode ter interferido
263 nas taxas de transferência de calor nos dois tipos de águas utilizadas no banho de
264 US.

265 Mulet, Carcel, Sanjuan & Bon, (1999) e Ozuna, Puig, Garcia-Perez, Mulet &
266 Carcel, (2013) demonstraram que o emprego de US de baixa frequência (25 kHz) e
267 alta intensidade aumentou a transferência de salmouras com concentrações de 5 a

268 20% em carnes e queijos, quando comparado a grupos não submetidos ao US.
269 Ambos os trabalhos descreveram que a cavitação tem como efeitos agitações e
270 turbulências, que são responsáveis pela maior distribuição da salmoura no interior
271 desses alimentos. Assim as aplicações de US e AEFA possibilitaram uma maior
272 dispersão das ondas de US no meio de imersão, incrementando a energia gerada
273 pelo sistema (Tabela 1).

274 3.2 Aplicação de diferentes tempos de US

275 As temperaturas que os pedaços cilíndricos de peito de frango estavam antes
276 de serem submetidos à imersão foram: 35,70 °C (C1 água), 37,30 °C (T1 US água),
277 33,52 °C (C2 AEFA) e 37,61 °C (T2 US AEFA). Com o estudo do tempo de
278 exposição ao US foi possível acompanhar a transferência de calor por convecção
279 ($\Delta 1$) e por condução ($\Delta 2$) através das fotos termográficas (Figura 5). As termografias
280 permitiram a medição de pontos de temperatura nos pedaços cilíndricos de peito de
281 frango, cujos os valores médios estão demonstrados na figura 6.

282 Em 5 minutos de imersão dos pedaços cilíndricos nestas condições, o melhor
283 resfriamento na superfície ($\Delta 1$) ocorreu no T2 US AEFA (15,54 °C), que diferiu
284 ($p < 0,05$) do segundo melhor que foi o T1 com US água (12,85 °C, Figuras 5 e 6).
285 Nesse mesmo tempo de imersão a menor diferença de temperatura entre a parte
286 interna e externa do pedaço ($\Delta 2$) foi no C2 AEFA (6,86 °C) que diferiu ($p < 0,05$) do
287 segundo menor valor de diferença ($\Delta 2$) que ocorreu no C1 água (8,38 °C, Figuras 5
288 e 6). Mesmo ocorrendo resfriamento na superfície e na parte interna dos pedaços
289 submetidos ao US, esses valores não são apropriados para o processamento de
290 frangos, uma vez que a temperatura quando da saída dos frangos nessa etapa é de

291 7 a 10 °C (Brasil, 1998) estando os pedaços de peito de frango acima dos valores
292 recomendados (T2 US AEFA 21,82 °C e T1 US água 24,44 °C).

293 Em 10 minutos de imersão o T1 US água promoveu o melhor resfriamento em
294 superfície ($\Delta 1 = 21,38$ °C), diferindo ($p < 0,05$) do T2 US AEFA ($\Delta 1 = 19,44$ °C) que foi
295 o segundo melhor resfriamento (Figuras 5 e 6). A menor diferença de temperatura
296 entre a parte interna e externa do pedaço nesse tempo também ocorreu no T1 US
297 água que apresentou o menor valor de $\Delta 2$ (1,57 °C), que diferiu ($p < 0,05$) do T2 US
298 AEFA ($\Delta 2 = 4,13$ °C) que foi a segunda menor diferença (Figuras 5 e 6).

299 Nos tempos de 15, 20 e 30 minutos de imersão o melhor resfriamento de
300 superfície ocorreu com água sem aplicação de ultrassom (C1 água), cujos valores
301 de resfriamento ($\Delta 1$) foram 23,39 °C, 23,83 °C e 25,02 °C respectivamente (Figura 5
302 e 6). Somente aos 15 minutos o valor de C1 água não diferiu ($p > 0,05$) do valor de T1
303 US água (22,52 °C), mas diferiu ($p < 0,05$) do valor do T2 US AEFA (21,76 °C).

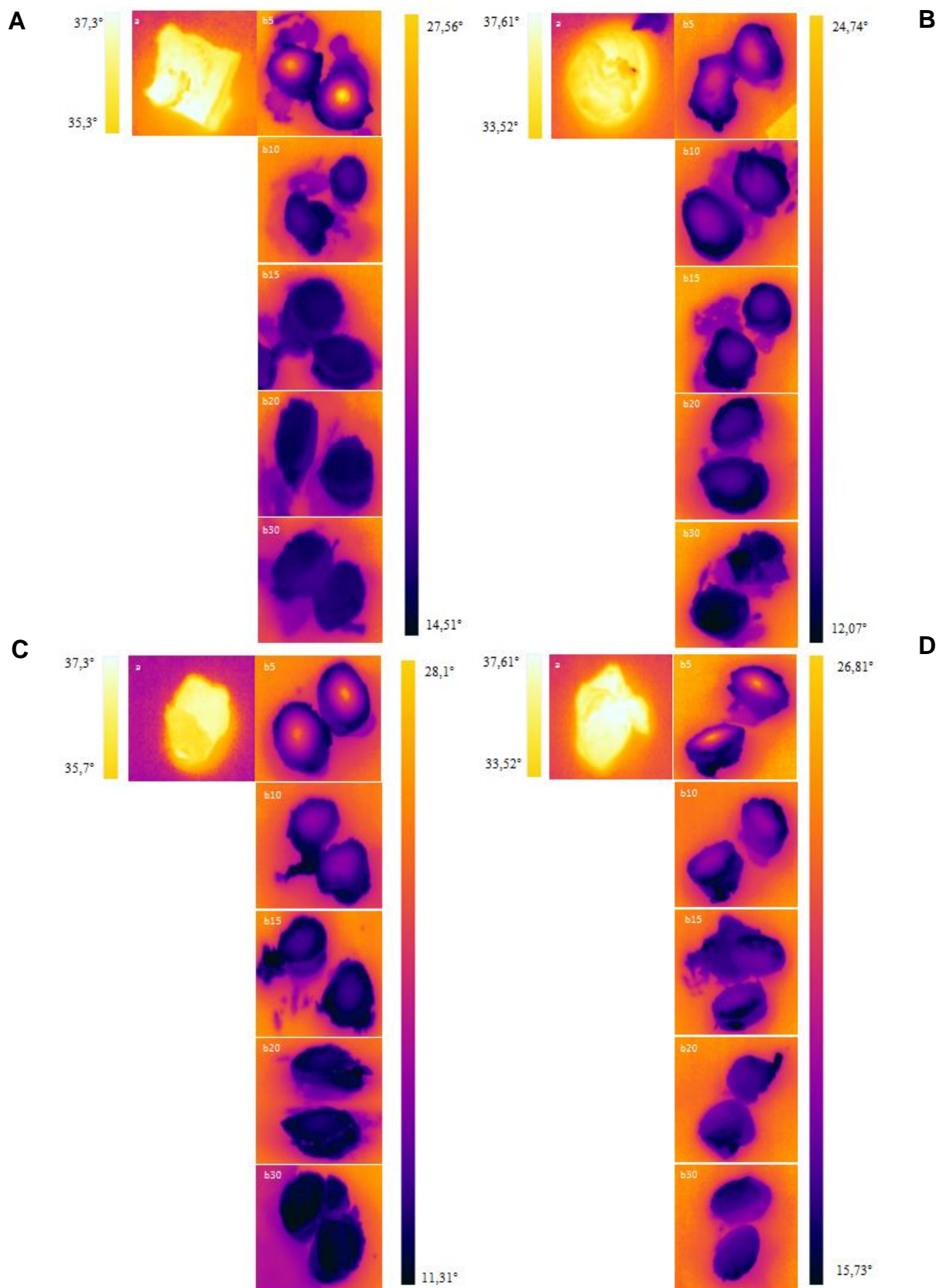


Figura 5- Fotos termográficas dos pedaços cilíndricos de peito de frango antes (a) e após (b) o processo de imersão por 5, 10, 15, 20 e 30 minutos de imersão. Em água (A) e em AEFA (C) sem a aplicação de ultrassom, e em água (B) e AEFA (D) com aplicação de US.

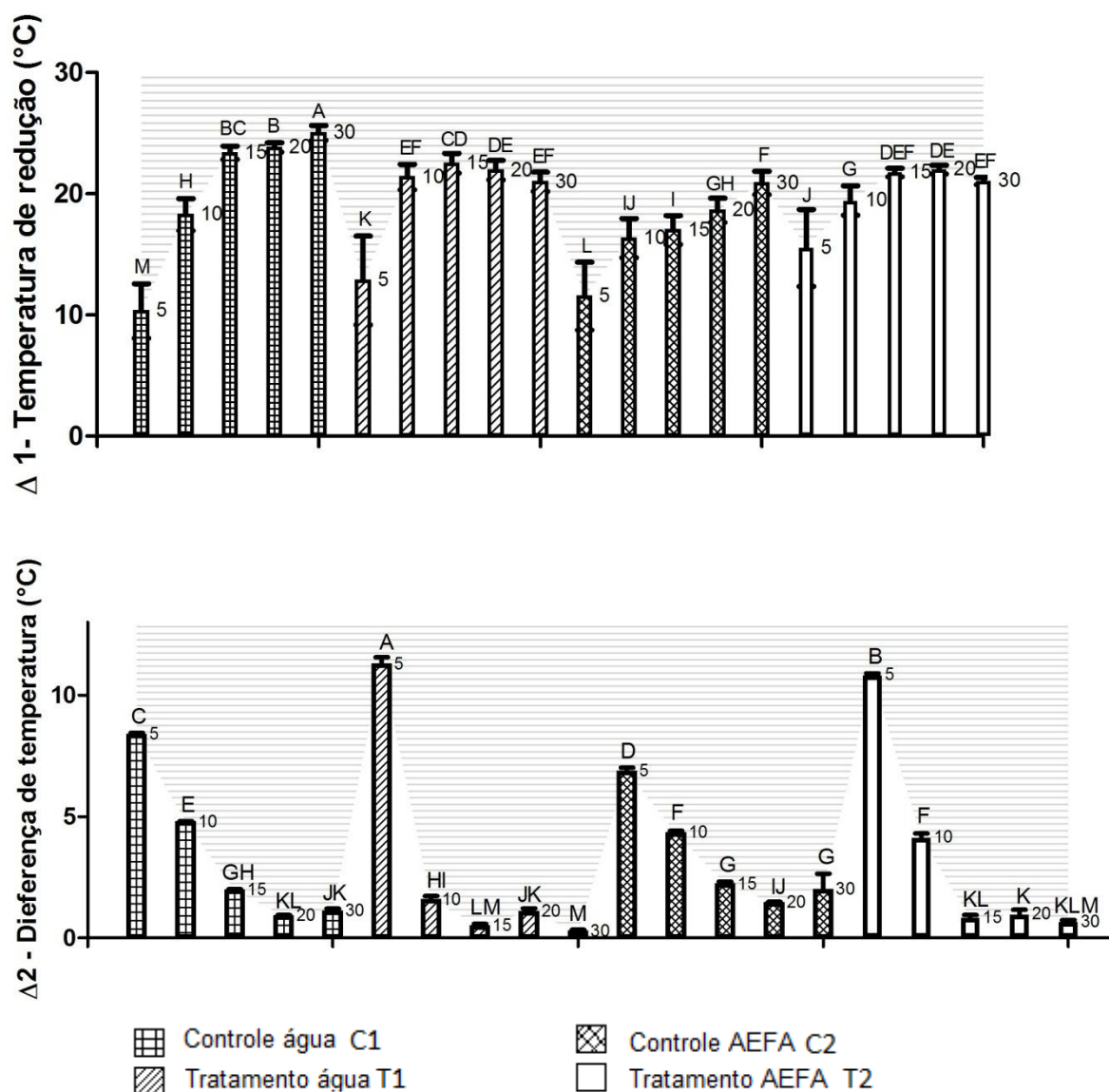


Figura 6- Valores de $\Delta 1$ e $\Delta 2$ nos pedaços cilíndricos que foram submetidos ao US na frequência de 130 kHz no modo normal e imersos em água e em AEFA durante 5, 10, 15, 20 e 30 minutos. Letras diferentes em cada coluna representam diferença estatística significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Duncan.

304 Nos tempos de 20 e 30 minutos nos pedaços tratados com US (T1 US água e
 305 T2 US AEFA), os valores de resfriamento de superfície ($\Delta 1$) se estabilizaram, não

306 diferindo ($p>0,05$) no decorrer do tempo e entre eles (Figuras 5 e 6). Sun & Li (2002)
307 demonstraram que a submissão de palitos de batata à aplicação de US visando
308 congelamento, possuía um limite de tempo de exposição de 2 minutos. Tempos
309 maiores de exposição apresentaram taxas de resfriamento menores e um aumento
310 da temperatura tanto no meio de imersão como nas porções de batatas. Kiani, Sun,
311 Zhang, Mohamed & Mariam, (2013) também observaram esse comportamento ao
312 submeterem ao congelamento soluções de gel de sacarose e agar ao ultrassom a
313 temperaturas de até $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, concluindo que existe um limite de exposição ao US para
314 que ocorra o congelamento. Devido ao aquecimento do próprio meio e das peças
315 sonicadas, há o impedimento das trocas de calor que propiciariam a redução da
316 temperatura. Fato esse que ocorreu a partir dos 20 minutos de imersão dos
317 pedaços de peito de frango, acrescido do fluxo de renovação, que não foi suficiente
318 para manter a temperatura em $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ no banho.

319 Em relação aos valores de $\Delta 2$, somente aos 15 minutos de imersão os
320 tratamentos T1 US água ($0,49\text{ }^{\circ}\text{C}$) e T2 US AEFA ($0,83\text{ }^{\circ}\text{C}$), diferiram ($p<0,05$) do C1
321 água ($1,97\text{ }^{\circ}\text{C}$), pois aos 20 minutos não diferiram ($p>0,05$), e aos 30 minutos
322 somente o T1 US água diferiu ($p<0,05$) do C1 água (Figuras 5 e 6). Nesses maiores
323 tempos de imersão, somente no T1 US água com 30 minutos o valor de $\Delta 2$ diminuiu
324 significativamente ($p<0,05$). Nesse sistema de imersão empregado nos estudos,
325 existe um tempo de ação positiva do US no resfriamento promovido por convecção
326 ($\Delta 1$) e por condução ($\Delta 2$), que nas condições estudadas caracterizou-se entre 10 e
327 15 minutos (Figuras 5 e 6). O US quando aplicado nos alimentos promove no seu
328 interior maior entrelaçamento das linhas de fluxo (fluxo inercial) e o efeito esponja,

329 que funciona como uma bomba e caracteriza-se pela contração e expansão dos
330 tecidos, ocorrendo a comunicação entre a parte interna e externa do tecido, a qual
331 favorece a transferência de massa (Miano et al., 2016). Embora em pouco tempo de
332 imersão (10 a 15 minutos), a transferência de massa ocorreu entre a água do banho
333 (10°C) e o interior do pedaço de frango (Tabela 2), uma vez que os valores de $\Delta 2$
334 foram menores, indicando um resfriamento uniforme promovido pelo US (Figuras 5 e
335 6).

336 Aos 30 minutos no C1 água ocorreu à maior diminuição de temperatura ($\Delta 1 =$
337 25,02 °C), enquanto que a menor diferença de temperatura entre a parte interna e
338 externa dos pedaços de peito de frangos ocorreu aos 15 minutos no T1 US água
339 ($\Delta 2 = 0,49$ °C) e se repetiu aos 30 minutos ($\Delta 2 = 0,27$ °C) (Figuras 5 e 6). Em ambos
340 os tempos, os valores diferiram ($p < 0,05$) dos valores do C1 água ($\Delta 2 = 1,97$ °C em
341 15 minutos e $\Delta 2 = 1,10$ °C em 30 minutos). Durante todo o tempo de imersão as
342 diferenças de temperatura entre a parte interna e externa empregando somente
343 água ou AEFA não foram inferiores a 1 °C, enquanto com US água e US AEFA a
344 partir de 15 minutos a diferença passou a ser menor do que 1 °C (Figuras 5 e 6),
345 demonstrando resfriamento mais uniforme em todo o pedaço cilíndrico de peito de
346 frango, empregando T1 US água seguido pelo T2 US AEFA (Figuras 5 e 6).

347 Ao aplicarem frequência de 18 kHz em salmouras a 3% e em água açucarada a
348 5%, Cai, Huai, Liang & Li (2010) observaram aumento de transferência de calor em
349 comparação com as soluções menos concentradas. Líquidos têm sua densidade
350 alterada à medida que são dissolvidas substâncias (Cesar, Paoli & Andrade, 2004)
351 como, por exemplo, a densidade da água de 0,9975 g/cm² e da AEFA de 0,9989

352 g/cm² a 10 °C. Os valores de $\Delta 1$ e $\Delta 2$ (Tabela 1 e Figura 6) nos pedaços imersos em
 353 AEFA foram menores do que os imersos em água. Possivelmente, em função da
 354 composição da AEFA (HOCl, ClO⁻, Cl₂), a energia liberada dentro do sistema pode
 355 ter sido maior do que em água, e assim retardou o resfriamento dos pedaços
 356 cilíndricos de peito de frangos.

357 A absorção de água (Tabela 2) que ocorreu nos pedaços cilíndricos de peitos
 358 de frangos, submetidos ao US nos dois tipos de águas (T1 US água e T2 US AEFA),
 359 não diferiu ($p > 0,05$) da absorção de água ocorrida nos pedaços imersos em água
 360 (C1) e em AEFA (C2). Este resultado é importante, pois a legislação brasileira limita
 361 o conteúdo de absorção de água pelas carcaças de frangos no final da etapa de
 362 resfriamento em 8% (Brasil, 1998). Dependendo do tempo de exposição ao US pode
 363 ocorrer desnaturação das proteínas miofibrilares da carne de peito de frango e como
 364 consequência, ocorrerá menor absorção de água. Esse efeito pode ser evitado se
 365 for empregado água à temperatura de refrigeração quando do emprego de US (Li et
 366 al., 2015).

Tabela 2- Absorção de água (%) dos pedaços cilíndricos de peito de frango ao longo de 20 minutos de imersão em água e AEFA no banho de US a 130 kHz e modo normal.

Tratamentos/tempo	10 minutos	15 minutos	20 minutos
C1 controle	0,49 ^{Aa} ±0,02	1,10 ^{Aa} ±0,64	1,72 ^{Aa} ±1,28
T 1 130 kHz	1,27 ^{Aa} ±0,73	2,26 ^{Aa} ±0,75	2,32 ^{Aa} ±0,35
C2 controle	1,56 ^{Aa} ±0,88	1,67 ^{Aa} ±0,65	2,16 ^{Aa} ±0,70
T2 130 kHz	1,89 ^{Aa} ±0,60	2,53 ^{Aa} ±1,56	2,58 ^{Aa} ±0,21

Nota: C1 e T1 = imersão em água, C2 e T2 = imersão em AEFA, Controles sem aplicação de US e T1 e T2 com aplicação de 130 kHz no modo normal. Letras diferentes na mesma coluna (A) e na mesma linha (a) representam diferença estatística significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Duncan.

367 Trabalhos aplicando US entre 20 kHz e 40 kHz em carne de peito de frango
368 com diferentes concentrações de sal (1%, 1,5% e 2,0%) e em diferentes tempos (5,
369 10, 20, 30 e 40 minutos), mencionam que o tempo limite de aplicação de US para
370 não promover desnaturação das proteínas e conseqüentemente diminuir a retenção
371 de água é de 20 minutos (Ke et al., 2014; Li et al., 2015). Os melhores resultados de
372 resfriamento homogêneo promovido pelo US (T1 água e T2 AEFA) nos pedaços de
373 peito de frango ocorreram entre 10 e 15 minutos (Figura 5 e 6). Nesses tempos, a
374 absorção de água (Tabela 2) nestes pedaços não diferiu da absorção ocorrida nos
375 pedaços pertencentes aos controles (C1 e C2), demonstrando não ocorrer
376 desnaturação das proteínas.

377 Quando as ondas ultrassônicas penetram através de um alimento, podem
378 causar uma rápida compressão seguida de rápida expansão do tecido matriz,
379 fenômeno conhecido como “sponge effect”. Dessa maneira, podem se formar micro
380 canais, facilitando a transferência de massa, que podem ser observados pela
381 penetração de uma solução de corante. A formação dos micro-canais tem sido
382 demonstrada em alimentos com alto conteúdo de água e valor de a_w (melões,
383 batatas, morangos, maçãs e bacalhau), ao serem submetidos a 25 kHz a 25 °C
384 durante 60 minutos (Miano et al., 2016). Os pedaços cilíndricos de peito de frango,
385 com a_w de 0,99 e umidade de 73,04%, quando submetidos durante 10 e 20 minutos
386 a 130 kHz a 10 °C imersos em água e AEFA adicionadas de corante azul de
387 metileno a 0,1%, são visualizados nas figuras 7A e 7B. Sem o emprego do US o
388 corante apenas tingiu a superfície dos pedaços de peito de frangos, enquanto que
389 com o US o corante ficou impregnando na superfície dos pedaços (Figura 7A e 7B).

390 Estes efeitos se dão, provavelmente, pela frequência de 130 kHz utilizada, que
391 produz menores bolhas de cavitação, pela temperatura (10 °C) e tempo de
392 exposição (10 a 20 minutos) empregada na imersão.

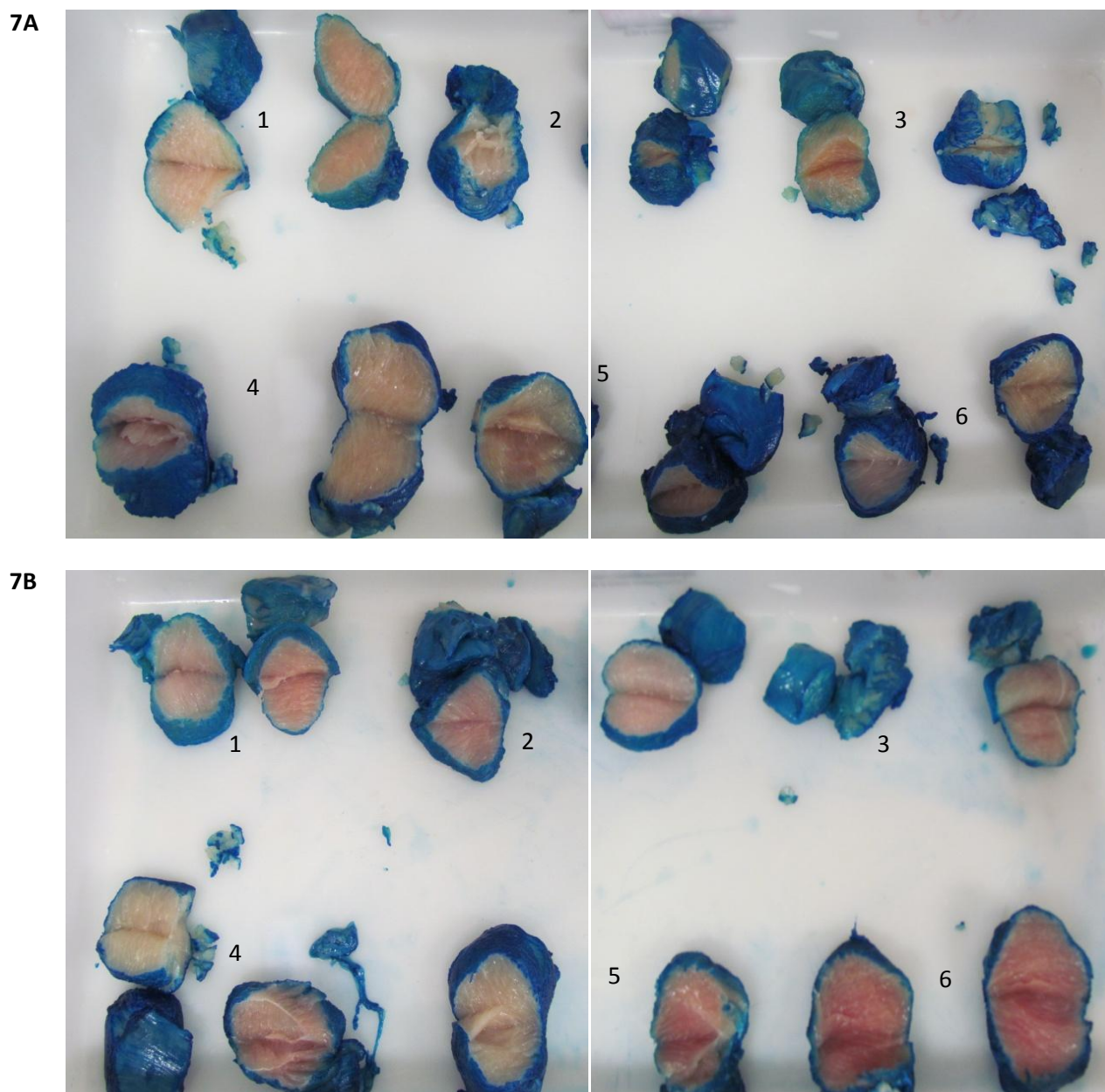


Figura 7- Detalhe em corte dos pedaços cilíndricos após imersão ao longo de 20 minutos em água e em AEFA. 1, 2 e 3 sem aplicação de US e 4, 5 e 6 com aplicação de 130 kHz US, respectivamente 10, 15 e 20 minutos. Fonte: Autor.

393 **4 Conclusões**

394 A frequência de 130 kHz e o modo de operação normal promoveram melhor
395 resfriamento dos pedaços cilíndricos de peito de frango durante 10 minutos de
396 imersão. A frequência de 25 kHz e o modo de aplicação sweep proporcionaram
397 menores reduções de temperatura quando os pedaços cilíndricos de peito de frango
398 foram imersos em água e em AEFA. Entre o tempo de 10 a 15 minutos na
399 frequência de 130 kHz no modo normal com água, ocorreu resfriamento mais
400 uniforme dos pedaços cilíndricos de peito de frango, demonstrando que nesse
401 período de tempo ocorreu maior transferência de calor por convecção e por
402 condução. Não ocorreu desnaturação das proteínas miofibrilares quando os pedaços
403 de peito de frango foram submetidos ao US água e US AEFA durante 20 minutos,
404 pois os valores de absorção de água não diferiram dos valores dos respectivos
405 controles. A imersão dos pedaços cilíndricos de peito de frango em AEFA
406 demonstraram menores taxas de resfriamento nas condições estudadas. A imersão
407 em US e AEFA apresentou temperaturas superiores de resfriamento em relação as
408 encontradas em US e água. Novos estudos devem ser realizados com US e AEFA
409 devido à características bactericidas apresentadas por ambos.

410 **5 Referências**

411 Al-Haq, M. I. Sugiyama, J. Isobe, S. (2005). Applications of electrolyzed water in
412 agriculture e food industries. *Food Science Technologies Research*, 11 (2), 135-150.
413 DOI: 10.3136/fstr.11.135
414 Brasil, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (1998). Regulamento
415 Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico Sanitária da Carne de Aves, RDC 210.

- 416 Bermudez-Aguirre, D. et al. (2011). Ultrasound applications in food processing.
417 Springer (Capitulo 3).
- 418 Cai, J.; Huai, X.; Liang, S.; Li, X. (2010). Augmentation of natural convective heat
419 transfer by acoustic cavitation. *Fron. Energy Power Engineering*, 4 (3),313-318.
420 DOI:10.1007/s11708-009-0064-3
- 421 Cao, W.; Zhu, Z.W.; Shi,Z.X.; Wang, C.Y.; Li, B.M. (2009). Efficiency of slightly acidic
422 electrolyzed water for inactivation of Salmonella enteritidis and its contaminated shell
423 eggs. *International Journal of Food Microbiology*, 130 (2), 88-93. DOI:
424 10.1016/j.ijfoodmicro.2008.12.021.
- 425 Carcel, J. A. ; Benedito, J. ; Bon, J. Mulet, A.M. (2007). High intensity ultrasound
426 effects on meat brining. *Meat Science*, 76 (4), 611-619. DOI:
427 10.1016/j.meatsci.2007.01.022.
- 428 Carciofi, B.A.M. Estudo do resfriamento de carcaças de frango em chiller de imersão
429 em água. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de
430 Alimentos, UFSC, 2005.
- 431 Cesar, J.; Paoli, M.A.; Andrade, J.C. (2004). A determinação da densidade de
432 sólidos e líquidos. *Chemkeys*.
- 433 Clark, J. H (2011). Alternatives to conventional food processing. RSC Publishing
434 (Capítulo 10).
- 435 Chemat, F.; Huma, Z.E.; Khan, M.K. (2011). Applications of ultrasound in food
436 technology: processing, preservation, and extraction. *Ultrasound Sonochemistry*, 18
437 (4), 813-835. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023.

- 438 Delgado, A.E., Zheng, L., Sun, D.W. (2009). Influence of ultrasound on freezing rate
439 of immersion-frozen apples. *Food Bioprocess Technology*, 2 (3), 263-270.
440 DOI:10.1007/s11947-008-0111-9.
- 441 Dolatowski, Z. J.; Stadnik, J.; Stasiak, D. (2007). Application of ultrasound in food
442 technology. *ACTA Scientarium Polonorum*, 63 (6), 89-99. Disponível em:
443 http://www.food.actapol.net/pub/8_3_2007.pdf
- 444 Elma. (2009). Operating Instruction – Ultrasonic Cleaning Units, Transsonic TI-H2.
- 445 Faostat - Food and agriculture organization of the united nations, Statistic Divison
446 (2016). Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QL/S>
- 447 Floros, J. D., & Liang, H. H.(1994). Acoustically assisted diffusion through
448 membranes and biomaterials. *Food Technology*, 45 (37), p. 79–84.
- 449 Got, F.; Culioli, J.; Berge, P.; Vignon, X.; Astruc, T.; Quideau, J.M. et al. (1999).
450 Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and
451 some physic-chemical properties of beef. *Meat Science*, v. 51 (1), 35-42.
452 DOI:10.1016/S0309-1740(98)00094-1.
- 453 Guentzel, J. L. ; Lam, K.L. ; Callan, M. A.; Emmons, S. A.; Dunham, L. (2008).
454 Reduction of bacteria on spinach, lettuce and surfaces in food service areas using
455 neutral electrolyzed oxidizing water. *Food Microbiology*, 25 (1), 36-41.
456 DOI:10.1016/j.fm.2007.08.003.
- 457 Huang, Y. R.; Hung, Y.C.; Hsu, S.Y.; Huang, Y.W.; Hwang, D.F. (2008). Application
458 of electrolyzed water in the food industry. *Food Control*, 19 (4), 329-345. DOI:
459 10.1016/j.foodcont.2007.08.012.

- 460 Incropera, F. P.; Dewitt, D. P. (1998). “*Fundamentos de Transferência de Calor e*
461 *Massa*” – Ed. LCT-Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., Rio de Janeiro - RJ,
462 4a. edição, pág. 118-120, 154, 448.
- 463 Izumi, H. (1999) Electrolyzed water as a disinfectant for fresh cut vegetables. *Journal*
464 *of Food Science*, 64 (3), 536-539. DOI:10.1111/j.1365-2621.1999.tb15079.x.
- 465 Jayasooriya, S.D.; Bhandari, B.; Torley, P.; D’arcy, B. (2004). Effect of high power
466 ultrasound waves on properties of meat: a review. *International Journal of Food*
467 *Properties*, 7 (2), 301-319. DOI: 10.1081/JFP-120030039.
- 468 Jayasooryia, S.D.; Torley, P.J.; D’arcy, B.R.; Bhandari, B.R. (2007). Effect of high
469 power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine *Semitendinous* and
470 *Longissimus* muscles. *Meat Science*, 75 (4), 628-639.
471 DOI:10.1016/j.meatsci.2006.09.010.
- 472 Kiani, H.; Sun, D.W.; Zhang, Z.; Mohamed, A.; Mariam, N. (2013). Ultrasound-
473 assisted freezing of *Lactobacillus plantarum* subsp. *plantarum*: the freezing process
474 and cell viability. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 18, 138-144.
475 DOI: 10.1016/j.ifset.2012.12.012.
- 476 Ke, L.; Zhuang-Li, K.; Yu-Feng, Z.; Xing-Lian, X.; Guang-Hong, Z. (2014) Effect of
477 ultrasound treatment on functional properties of reduced-salt chicken breast meat
478 batter. *Journal Food Science Technology*, 52 (5), 2622–2633. DOI:10.1007/s13197-
479 014-1356-0.
- 480 Koide, S.; Takeda, J.; Shi, J.; Hiroshi, S.; Griffiths, G. (2009). Disinfection efficacy of
481 slightly acidic electrolyzed water on fresh cut cabbage. *Food Control*, 20 (3), 294-
482 297. DOI:10.1016/j.foodcont.2008.05.019.

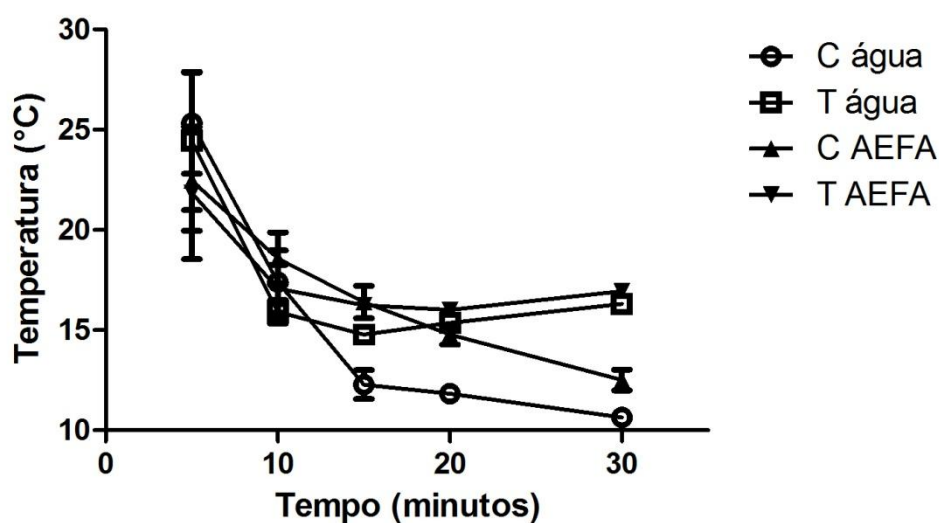
- 483 Laborde, J.L.; Bouyer, C.; Caltagirone, J.P.; Gerard, A. (1998). Acoustic bubble
484 cavitation at low frequencies. *Ultrasonics*, 36 (1-5), 589-594. DOI:10.1016/S0041-
485 624X(97)00105-4.
- 486 Li, B., Sun, D-W. (2002). Effect of power ultrasound on freezing rate during
487 immersion freezing of potatoes. *Journal of Food Engineering*, 55 (3), p. 277–282.
488 DOI:10.1016/S0260-8774(02)00102-4.
- 489 Li, K.; Kang, L.; Z; Zou, Yz; X., XI; Zhou, Gh. (2015) Effect of ultrasound treatment on
490 functional properties of reduced-salt chicken breast meat bater. *Journal Food*
491 *Science Technology*, 52 (5), 2622–2633. DOI: 10.1007/s13197-014-1356-
- 492 Marques, I.E.; Lucion, F.B.; Bizzi, C.A.; Cichoski, A.J.; Wagner, R.; Menezes, C.R. et
493 al. (2016). Are infrared and microwave drying suitable alternatives for moisture
494 determination of meat products? *Journal of Food Quality*, 2016.
495 DOI:10.1111/jfq.12195.
- 496 McClements, D. J. Advances in the application of ultrasound in food analysis and
497 processing. (1995). *Trends in Food Science &Technology*, 6 (9).
498 DOI:10.1016/S0924-2244(00)89139-6.
- 499 Miano, A. C.; Ibarz, A.; Augusto, P. E. D. (2016). Mechanisms for improving mass
500 transfer in food with ultrasound technology: describing the phenomena in two model
501 cases. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 414-419. DOI:10.1016/j.ultsonch.2015.10.020.
- 502 Mulet, A.; Carcel, J.; Sanjuan, N.; Bon, J. (2003). New food drying Technologies- use
503 of ultrasound. *Food Science and Technology International*, 9 (3), 215-221.
504 DOI:10.1177/1082013203034641.

- 505 Northcutt, J.; Smith, D.; Ingram, K.; Hinton, A.; Musgrove, M. (2007). Recovery of
506 bacteria from broiler carcasses after spray washing with acidified electrolyzed water
507 or sodium hypochlorite solutions. *Poultry Science*, 86 (10), 2239-2244.
508 DOI:10.1093/ps/86.10.2239.
- 509 Olivo, R. Olivo, N. (2006). Ciência e tecnologia In: O mundo das carnes. Editora
510 Varela, 3º edição, 21-23.
- 511 Ozuna, C.; Puig, A.; Garcia-Perez, J.V.; Mulet, A.; Carcel, J.A. (2013). Influence of
512 high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural
513 properties of pork meat (Longissimus dorsi) brined at different NaCl concentrations.
514 *Journal of Food Engineering*, 119 (1), 84-93. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2013.05.016.
- 515 Patil, R.; Bhoir, P.; Desphande, P.; Wattanwar, T.; Shirude, M. et al. (2013).
516 Relevance of sonochemistry or ultrasound (US) as a proficient means for the
517 synthesis of fused heterocycles. *Ultrasonic Sonochemistry*, 8 (6), 1327-1336. DOI:
518 10.1016/j.ultsonch.2013.04.002.
- 519 Petrak, T.; Kalodera, Z.; Novakovic, P.; Karolyi, L. (1999). Bacteriological comparison
520 of parallel and counter flow water chilling of poultry meat. *Meat Science*, 53 (4), 269-
521 271. DOI: 10.1016/S0309-1740(99)00066-2.
- 522 Ramos, E. M.; Gomide, L. A. De M. Avaliação objetiva da cor In: Avaliação da
523 qualidade de carne – fundamentos e metodologias, Ed. UFV, 1º ed., p. 321-331,
524 2007.
- 525 Raso, J.; Mañas, P.; Pagan, R.; Sala, F. (1999). Influence of different factors on the
526 output power transferred into medium by ultrasound. *Ultrasonic Sonochemistry*, 5 (4),
527 157-162.

- 528 Santini, G.A.; Filho, H.M.S. (2003). Mudanças tecnológicas em cadeias
529 agroindustriais: uma análise dos elos de processamento da pecuária de corte,
530 avicultura de corte e suinocultura. UNESP, Diretório da Pesquisa Privada no Brasil.
- 531 Soria, A. C.; Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties
532 and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21 (7), 323-
533 331. DOI:10.1016/j.tifs.2010.04.003.
- 534 Suslick, K. S. (1986). The sonochemical hot spot. *American Chemical Society*.
- 535 Sun, D. W.; Li, B. (2002). Effect of power ultrasound freezing rate during immersion
536 freezing of potatoes. *Journal of Food Engineering*, 55 (3), 277-282.
537 DOI:10.1016/S0260-8774(02)00102-4.
- 538 Warris, P.D.; Kestin, S.; Brown, S.; Knowles, T.; Wilkins, L. et al (1993). The
539 depletion of glycogen stores and indices of dehydration in transported broilers. *British*
540 *Veterinary Journal*, 149 (4), 391-399. DOI:10.1016/S0007-1935(05)80078-8.
- 541 Warris, P. D. (2010). Meat science: an introductory text In: Producing and eating
542 meat .Editora CABI, 2° ed, 1-7.
- 543 Zacharia, A.I.; Kamitani, Y.; Tisekwa, A.; Morita, K.; Iwasaki, K. (2010). In vitro
544 inactivation of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp using
545 slightly acidic electrolyzed water. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 110 (3),
546 308-313. DOI:10.1016/j.jbiosc.2010.03.012.
- 547 Zacharia, A.I.; Kamitani, Y.; Miwa, N.; Muhimbula, H.; Iwasaki, K. (2011). Application
548 of slightly acidic electrolyzed water as a potential non-thermal food sanitizer for
549 decontamination of fresh ready-to-eat vegetables and sprouts. *Food Control*, 22 (3-
550 4), 601-607. DOI:10.1016/j.foodcont.2010.10.011.

551 Zhang, C.; Lu, Z.; Li, Y.; Shang, Y.; Zhang, G. et al. (2011). Reduction of *Escherichia*
552 *coli* O157:H7 and *Salmonella enteritidis* on mung bean seeds and sprouts by slightly
553 acidic electrolyzed water. *Food Control*, 22 (5), 792-796.
554 DOI:10.1016/j.foodcont.2010.11.018.

555 **Material Suplementar**



Anexo A. Temperatura média final dos pedaços cilíndricos de peito de frango do longo de 30 minutos de imersão em água e água eletrolisada fracamente ácida. C=controle, T= US 130khz modo normal.
○ – controle água □ – 130 kHz água ▲ – controle AEFA ▼ - 130 kHz AEFA.

Anexo B. Temperaturas (°C) dos pedaços cilíndricos de peito de frango e suas variações antes e ao longo de 30 minutos de imersão em água e água eletrolisada fracamente ácida.

Meio de imersão/ Tratamento	Tempo de imersão (minutos)	T° inicial (antes imersão)	T° final (após imersão)	$\Delta 1$	T° máxima (após imersão)	T° mínima (após imersão)	$\Delta 2$	
Água	C - controle	-	35,70±0,33	-	-	-	-	
		5		25,33±0,52	10,33 ^M ±2,25	28,10±0,52	19,72±0,47	8,38 ^C ±0,07
		10		17,38±1,58	18,28 ^H ±1,33	19,02±0,33	14,25±0,29	4,77 ^E ±0,05
		15		12,27±0,72	23,39 ^{BC} ±0,54	13,15±0,15	11,18±0,18	1,97 ^{GH} ±0,04
		20		11,83±0,25	23,83 ^B ±0,39	12,16±0,05	11,26±0,09	0,90 ^{KL} ±0,05
		30		10,64±0,27	25,02 ^A ±0,61	11,30±0,05	10,21±0,13	1,10 ^{JK} ±0,11
	T – 130 kHz N	-	37,30±0,71	-	-	-	-	-
		5		24,44±3,45	12,85 ^K ±3,67	27,56±0,79	16,29±0,58	11,27 ^A ±0,29
		10		15,91±0,58	21,38 ^{EF} ±1,05	16,56±0,12	14,99±0,24	1,57 ^{HI} ±0,16
		15		14,77±0,12	22,52 ^{CD} ±0,82	15,00±0,02	14,51±0,09	0,49 ^{LM} ±0,09
		20		15,35±0,26	21,94 ^{DE} ±0,81	16,12±0,05	15,04±0,15	1,08 ^{JK} ±0,14
		30		16,31±0,09	20,98 ^{EF} ±0,80	16,38±0,01	16,11±0,06	0,27 ^M ±0,07
	AEFA	C - controle	-	33,52±0,85	-	-	-	-
			5		22,46±3,30	11,56 ^L ±2,79	24,74±0,52	17,88±0,40
10				18,57±1,42	16,34 ^J ±1,61	18,40±0,27	14,07±0,33	4,33 ^F ±0,08
15				16,24±0,05	17,01 ^I ±1,19	17,22±0,16	15,01±0,08	2,21 ^G ±0,11
20				14,78±0,49	18,63 ^{GH} ±1,00	15,30±0,10	13,85±0,13	1,45 ^{IJ} ±0,04
30				12,50±0,52	20,90 ^F ±0,96	14,06±0,10	12,07±0,15	1,99 ^G ±0,66
T – 130 kHz N		-	37,61±0,67	-	-	-	-	-
		5		21,84±2,50	15,54 ^J ±3,18	26,81±0,68	15,98±0,63	10,83 ^B ±0,07
		10		17,07±1,30	19,44 ^G ±1,21	20,00±0,24	15,87±0,37	4,13 ^F ±0,18
		15		16,40±0,81	21,76 ^{DEF} ±0,35	16,60±0,04	15,77±0,13	0,83 ^{KL} ±0,12
		20		16,00±0,04	22,00 ^{DE} ±0,35	16,70±0,04	15,73±0,18	0,97 ^K ±0,19
		30		16,94±0,03	21,06 ^{EF} ±0,31	17,33±0,03	16,67±0,09	0,66 ^{KLM} ±0,08

Nota: N= normal. $\Delta 1$ = temperatura inicial – temperatura final. $\Delta 2$ = temperatura máxima – temperatura mínima. Valores expressos em média \pm desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna (A, B) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Duncan.

4 ARTIGO 3

ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS, OXIDATIVOS E BIOQUÍMICOS DE PEITO DE FRANGO APÓS PRÉ-RESFRIAMENTO EM BANHO DE ULTRASSOM¹

¹Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Food Research International.

1 **Aspectos microbiológicos, oxidativos e bioquímicos de peito de frango após**
2 **pré-resfriamento em banho de ultrassom**

3

4 **Resumo**

5 A presença de microorganismos na superfície da carne de frango leva a
6 indústria frigorífica a buscar métodos que auxiliem na redução da carga inicial dos
7 mesmos. Os empregos de ultrassom (US) e água eletrolisada fracamente ácida
8 (AEFA) têm sido estudados como ferramenta útil para esta ação. Porém, são poucas
9 as avaliações complementares quanto a efeitos oxidativos e metabólicos na carne
10 de frango e que sejam, ainda, a baixas temperaturas. Desta forma, o objetivo deste
11 trabalho foi avaliar os efeitos destas tecnologias quando aplicadas em porções de
12 peito de frango a temperaturas baixas. Procederam-se análises microbiológicas,
13 oxidativas lipídicas e proteicas e análises que caracterizaram a glicólise e a textura.
14 Os efeitos de US e AEFA demonstraram maiores reduções microbiológicas do que
15 os tratamentos que não receberam US, com resultados que demonstraram que a
16 redução ocorreu de acordo com o tipo de microorganismo estudado. Além disso, a
17 imersão das porções com US e AEFA não promoveu processos oxidativos lipídicos
18 e protéicos, sem que houvessem modificações significativas no início do processo
19 de conversão do músculo em carne, caracterizado pela glicólise anaeróbica. O US e
20 AE, quando combinados, podem ser consideradas tecnologias promissoras no pré-
21 resfriamento da carne.

22 **Palavras-chave: ultrassom, água eletrolisada, oxidação, glicólise.**

23 1 Introdução

24 Devido à presença de vários microorganismos na superfície externa e no trato
25 digestivo das aves, são necessários meios que auxiliem no processo de
26 descontaminação das carcaças (Barbut, 2003). Na indústria avícola brasileira,
27 emprega-se a imersão das carcaças em água clorada nas etapas de pré-
28 resfriamento e resfriamento, visando reduzir a carga microbiana e sujidades (James,
29 Vincent, Andrade-Lima, Jame, 2006). Novas tecnologias podem ser incorporadas
30 nesta etapa visando preservar a segurança microbiológica dos produtos obtidos
31 (Vasconcelos, Silva, Meza, Bassi, 2015).

32 Os mecanismos exercidos pelo ultrassom (US) frente às bactérias
33 apresentam efeitos diretos decorrente da cavitação, e indiretos através da produção
34 de radicais livres (Mason & Lorimer, 2002). Os radicais formados em soluções
35 aquosas são a hidroxila ($\bullet\text{OH}$), hidroperóxidos ($\bullet\text{OOH}$) e espécies extremamente
36 reativas de hidrogênio ($\bullet\text{H}$) (Suslick, 1989), que podem se recombinar e formar
37 peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (Hua & Thompson, 2000). Esses oxidantes se
38 difundem pelo meio, atacando estruturas orgânicas e funcionando como agentes
39 sanitizantes. Além disso, a cavitação gera efeitos mecânicos que produzem micro-
40 fissuras nas membranas celulares das bactérias, auxiliando a penetração de
41 compostos presentes no meio (Gao, Lewis, Ashokkumar & Hemar, 2014).

42 A água eletrolisada fracamente ácida (AEFA) promove redução do
43 crescimento microbiano. Essa ação se dá pela lesão das membranas celulares dos
44 microorganismos através da oxidação de compostos protéicos envolvidos no
45 metabolismo celular, rearranjos celulares, indução de danos ao DNA (Huang, Hung,

46 Hsu, Huang & Hwang, 2008) e reações de redox que envolvem a transferência de
47 elétrons e formações de pontes de dissulfetos (Liao, Chen & Xiao, 2007).

48 O conteúdo lipídico da carne relaciona-se com a textura, estabilidade das
49 proteínas e vida de prateleira (Dominguez, Gomez, Fonseca & Lorenzo, 2014;
50 Morrissey, Sheehy, Galvin, Kerry & Buckley, 1998; Shaihidi & Pegg, 1994). São
51 poucas as informações sobre os efeitos do US e da AEFA na oxidação lipídica,
52 restringindo à estudos com carnes de animais de espécies específicas. Essas
53 informações tornam-se importantes em virtude que a sonicação da água pelo US
54 pode gerar radicais livres, pressões e temperaturas altas (Marchioni et al., 2009), e
55 também por que a AEFA pode causar danos à estruturas biológicas, inclusive nos
56 tecidos musculares (Shirahata et al., 2006).

57 Filés de peixe tratados por mais de 30 minutos com US de 60 kHz
58 apresentaram aumento do metabolismo muscular e da proteólise durante o período
59 de armazenamento, os quais contribuíram para o aumento dos valores de TBARS
60 (Chang & Wong, 2012). Turienzo, Cobos & Diaz (2012) demonstraram que
61 aplicação de US de 35 kHz em carnes de salmão fresco, durante 15 e 20 minutos,
62 apresentaram baixos valores de peróxidos e TBARS. Carne suína imersa por 10
63 minutos em AEFA (pH 6,8; Eh 700 mV e 10 mg/L Cl) apresentou mínimas
64 modificações nos valores de TBARS, quando comparado com o controle em água
65 destilada (Rahman, Wang & Oh, 2013).

66 Os mecanismos oxidativos e funcionais das proteínas da carne são
67 brevemente estudados após aplicações de US, assim como o com aplicação
68 conjunta com a AEFA. O US de baixa frequência e alta intensidade diminuiu o

69 tamanho das partículas de extratos proteicos bovinos, de peixes e de albumina
70 bovina sérica, auxiliando na solubilidade destas proteínas e na estabilidade de
71 emulsões (Sullivan, Murray, Flynn & Norton, 2016; Gulseren, Guzey, Bruce & Weiss,
72 2007). Gulseren, Guzey, Bruce & Weiss (2007) também demonstraram que ocorreu
73 redução de grupos tióis livres após a aplicação de US de 25 kHz, por 90 minutos em
74 extratos de albumina bovina sérica, demonstrando que os radicais livres produzidos
75 pela sonicação poderiam reagir com esses grupos e desta forma contribuir nas
76 modificações oxidativas

77 O US foi utilizado experimentalmente como ferramenta útil no processo de
78 amaciamento da carne, decorrente que a cavitação causa ruptura da membrana
79 celular e aceleração das reações enzimáticas (Mason et al., 2011; Xiong, Zhang,
80 Zhang & Wu, 2012), alterando as fibras musculares e aumentando os níveis de Ca^{+2}
81 (Bekhit, Carne, Há & Franks, 2014). As enzimas calpaínas responsáveis pela maciez
82 da carne (Koochmaraie, 1994), são ativadas pela liberação de Ca^{+2} armazenados no
83 retículo sarcoplasmático (Got et al., 1999).

84 Deste modo, o objetivo deste trabalho foi aplicar frequências de 25 e 130 kHz
85 de US na etapa de pré-resfriamento de carne de peito de frangos imersos em água e
86 em AEFA, e avaliar suas consequências nas características microbiológicas,
87 oxidativas, físico-químicas, bioquímicas e na textura.

88 **2 Materiais e métodos**

89 **2.1 Obtenção da carne e aplicação de ultrassom**

90 Carcaças de frangos a temperatura de 37 ± 1 °C foram coletadas antes que
91 chegassem ao *pré-chiller* em um matadouro-frigorífico sob inspeção municipal e

92 colocadas em caixas térmicas que foram levadas imediatamente à Universidade
93 Federal de Santa Maria (UFSM). No laboratório procedeu-se a elaboração dos
94 cortes cilíndricos dos peitos dos frangos nas dimensões de 5 cm de diâmetro por 3
95 cm de altura.

96 Os pedaços cilíndricos dos peitos dos frangos foram submetidos à aplicação
97 de US em banhos multi frequência Elma[®] modelo TI H-10 MF2 e MF3, nas
98 frequências de 25 e 130 kHz e intensidade de 80 W. Utilizou-se água e AEFA a 10
99 °C de acordo com a portaria nº 210 (Brasil, 1998) nas cubas dos banhos de US. A
100 AEFA empregada apresentava pH $6,0 \pm 0,1$, cloro livre de $5 \pm 0,2$ mg/L e potencial
101 redox de 800-850 mV, enquanto que a água apresentava pH $7,0 \pm 0,1$, potencial
102 redox de 130-140 mV e não possuía cloro.

103 Os tratamentos tiveram as seguintes nomenclaturas: controle, T1 (imersão
104 em água da torneira sem US), T2 (imersão em AEFA sem US), T3 e T4
105 (respectivamente, 25 e 130 kHz em água da torneira) e T5 e T6 (respectivamente,
106 25 e 130 kHz em AEFA).

107 2.2 Análise microbiológica

108 Os parâmetros microbiológicos dos peitos de frangos resfriados foram
109 determinados conforme Brasil (2001). Para a amostragem da carne foram pesados
110 20 gramas dos cilindros cárneos em saquetas plásticas estéreis. Após a pesagem,
111 foi adicionado 180 mL de água peptonada 0,1% (HIMEDIA), sendo os sacos
112 homogeneizados em Stomacher por 2 minutos. Para a análise microbiológica das
113 águas utilizadas nos banhos de US foram amostrados, em tubos estéreis de vidro,
114 10 mL de água das cubas de ultrassom antes e após o processo de imersão das

115 porções musculares. Também foram colhidas amostras de água oriundas das
116 garrafas plásticas de armazenamento.

117 O método para contagem de bactérias lácticas foi realizado através da
118 semeadura em profundidade da amostra em placas com ágar MRS (Man, Rogosa &
119 Sharpe - ACUMEDIA[®]) (Silva et al., 2007), sendo posto, após a agarificação do
120 meio, sobre camada de ágar ágar (HIMEDIA[®]). As placas foram incubadas invertidas
121 a 36 °C em estufa bacteriológica De Leo[®], por 48 horas.

122 O método para contagem do número de colônias de *Staphylococcus* spp. se
123 deu pela contagem direta em placas. A amostra foi semeada em superfície de
124 placas com ágar Baird-Parker (FLUKA- SIGMA ALDRICH Co.[®]), adicionado de gema
125 de ovo com 0,1% de telurito (LABORCLIN[®]), (Silva et al., 2007). As placas foram
126 incubadas invertidas em estufa bacteriológica De Leo[®] a 36 °C, por 48 horas.

127 O método para contagem de *Enterobacteriaceae* foi realizado através da
128 semeadura em profundidade da amostra em placas com ágar VRBG (bile vermelho
129 violeta com glicose - ACUMEDIA[®]) (Silva et al., 2007), sendo posto, após a
130 agarificação do meio, sobre camada de ágar ágar (HIMEDIA[®]). As placas foram
131 incubadas invertidas em estufa bacteriológica De Leo[®] a temperatura de 41,5 °C por
132 24 horas (Purnell, James, James, Howell & Corry, 2014).

133 O método para contagem de microorganismos mesófilos foi realizado através
134 da semeadura em profundidade da amostra em placas com PCA (ágar padrão para
135 contagem - HIMEDIA[®]) que foram incubadas em estufa de cultura bacteriológica De
136 Leo[®] a temperatura de 36 °C por 48 horas (Brasil, 2003).

137 O método para a contagem de microorganismos psicrotróficos se deu pela
138 semeadura da amostra em superfície em placas com PCA (ágar padrão para
139 contagem - HIMEDIA[®]) que foram incubadas invertidas em bolsas plásticas em
140 refrigerador Consul[®] CRB39AB, a temperatura de 7 °C por 7 dias (Silva et al., 2007).

141 2.3 Oxidação dos lipídios e das proteínas

142 O processo oxidativo lipídico foi avaliado pela análise de espécies reativas ao
143 ácido tiobarbitúrico (TBARS) (Raharjo & Sofos, 1993) e pelas determinações de
144 dienos conjugados (Recknagel & Glende, 1984) e índice de peróxidos (Shanta &
145 Decker, 1997). O processo oxidativo protéico foi avaliado pela determinação do
146 conteúdo de grupos Carbonil (Levine et al., 1990) e dos grupamentos Tiol (Ellman,
147 1959).

148 2.4 Análise físico-química

149 A análise de potencial hidrogenionico (pH) foi conduzida pela determinação
150 eletrométrica, através da pesagem de 5 g da amostra e diluição em 50 mL de água
151 destilada (IAL, 2008). As amostras foram trituradas em mixer Philips Wallita[®] por um
152 minuto. As leituras foram realizadas em medidor de pH multicanal DM-23 DC
153 Digimed[®].

154 2.5 Análise de textura

155 A força de cisalhamento (Warner Bratzler Shear-WBS) foi avaliada logo após
156 a aplicação de US em texturômetro TA XT plus (Texture Technologies Corp.). As
157 amostras foram cisalhadas perpendicularmente a direção das fibras musculares, em
158 uma velocidade de 5 cm/min (AMSA, 1995).

159 2.6 Análises bioquímicas

160 O glicogênio foi determinado logo após a aplicação de US e também após 10
161 minutos de imersão, conforme Montgomery (1957) e Dubois, Giles, Hamilton, Rebers
162 & Smith (1956) e de lactato através da técnica de Harrower & Brown (1972).

163 2.7 Análises histológicas

164 Foram coletadas porções musculares da superfície do peito de frango, no
165 sentido longitudinal as fibras musculares antes e após os processos de imersão. O
166 estudo histológico seguiu a metodologia de coloração de Feulgen-Bauer, através da
167 reação por ácido periódico de Schiff (PAS) (Tolosa et al., 2003). Para a confirmação
168 da positividade da reação de PAS, as seções coradas foram submetidas ao
169 processo de diástase com amilase salivar (Suvarna, Layton & Brancroft, 2012).

170 2.8 Análise estatística

171 Os experimentos foram modelados através do delineamento inteiramente
172 casualizado, com nível de significância de 5%. O estudo teve 7 tratamentos e 3
173 repetições para cada tratamento. O teste de Duncan foi executado para a análise de
174 diferença significativa entre contrastes entre médias. O programa estatístico utilizado
175 foi o Statistica 8.0 (Statsoft).

176 **3. Resultados e discussões**

177 3.1 Análises microbiológicas

178 Baixas frequências (20-40 kHz) formam grandes bolhas de cavitação que ao
179 romperem, liberam grande energia térmica e mecânica, enquanto que altas
180 frequências (100-130 kHz) possuem ciclos acústicos maiores, possibilitando menor
181 tempo para a formação de bolhas de cavitação (Joyce, Al-Hashimi & Mason, 2011).

182 Um dos mecanismos de inativação de microrganismos pelo emprego de US é a
183 formação de fissuras na estrutura celular de bactérias promovidas pela cavitação,
184 podendo haver um efeito sinérgico da combinação de US com AEFA (Gao, Lewis,
185 Ashokkumar & Hemar, 2014). Esse efeito sinérgico ocorreu nos tratamentos T5 e T6
186 em relação aos grupos de bactérias mesófilas, psicotróficas e lácticas. Os pedaços
187 de peito de frango imersos em AEFA e frequência de 25 kHz (T5), apresentaram
188 diferença significativa ($p < 0,05$) de colônias de bactérias mesófilas e psicotróficas,
189 em relação aos demais tratamentos realizados e do controle (Tabela 1). Para esses
190 dois grupos de bactérias, a imersão dos pedaços de peito de frango em AEFA em
191 frequência 130 kHz (T6) promoveu redução significativa ($p < 0,05$) no número de
192 colônias de bactérias, em relação ao controle e aos tratamentos T1 e T4 (Tabela 1),
193 mas não em relação aos pedaços imersos em água e frequência de 25 kHz (T2). Em
194 relação às bactérias lácticas, a menor redução no número de bactérias ocorreu no
195 T5 (25 kHz AEFA), que não diferiu ($p > 0,05$) do T6 (130 kHz AEFA) e do T2 (25 kHz
196 água), mas esses três tratamentos diferiram ($p < 0,05$) do controle e dos tratamentos
197 T1 e T4 (Tabela 1).

198 Para as enterobactérias, os tratamentos T2 (25 kHz água), T3 (130 kHz
199 água), T5 (25 kHz AEFA) e T6 (130 kHz AEFA) diferiram somente do controle
200 ($p < 0,05$) e não dos tratamentos T1 e T4 (Tabela 1). Nos tratamentos com AEFA e
201 US (T5 e T6), a redução no número de enterobactérias foi de 0,93 e 0,91 log UFC/g
202 respectivamente (Tabela 1), sendo maior do que ocorreu nos outros tratamentos (T2
203 0,79 log UFC/g e T3 0,68 log UFC/g). Forghani, Eskandari & Oh (2015) também
204 observaram esse comportamento, ao avaliaram a ação da água eletrolisada ácida

205 com 20 ppm de cloro combinado com US de 40 kHz em tempos que variaram até 5
 206 minutos, de reduzir a carga microbiana de Kashk (iogurte típico iraniano). Os autores
 207 concluíram que o US aumentou a penetração de AEFA e seus compostos clorados
 208 para o interior dos microorganismos.

Tabela 1- Número de colônias de diferentes grupos de bactérias (log UFC/g) nos pedaços cilíndricos de peito de frango antes e após a aplicação de US (25 e 130 kHz modo normal) imersos em água e AEFA a 10°C durante 10 minutos.

	Controle	T1 água S/ US	T2 25 kHz água	T3 130 kHz água	T4 AEFA S/ US	T5 25 kHz AEFA	T6 130 kHz AEFA
Bactérias lácticas	3,22 ^A ±0,12	2,99 ^B ±0,03	2,53 ^{CD} ±0,06	2,62 ^C ±0,09	3,02 ^B ±0,10	2,41 ^D ±0,12	2,55 ^{CD} ±0,05
Enterobactérias	2,10 ^A ±0,27	1,52 ^{AB} ±0,40	1,31 ^B ±0,23	1,42 ^B ±0,16	1,51 ^{AB} ±0,30	1,17 ^B ±0,24	1,19 ^B ±0,26
Mesófilos	3,25 ^A ±0,10	2,93 ^B ±0,09	2,57 ^D ±0,07	2,62 ^D ±0,07	2,86 ^{BC} ±0,05	2,27 ^E ±0,18	2,71 ^{CD} ±0,10
Psicrotróficos	3,47 ^A ±0,16	3,24 ^{BC} ±0,11	2,97 ^D ±0,07	3,03 ^{CD} ±0,08	3,36 ^{AB} ±0,04	2,71 ^E ±0,05	3,00 ^D ±0,25
<i>Staphylococcus</i> spp.	2,25 ^A ±0,21	1,76 ^{AB} ±0,10	1,37 ^B ±0,31	1,44 ^B ±0,14	2,24 ^A ±0,07	1,61 ^B ±0,11	2,17 ^A ±0,44

Nota: letras diferentes na mesma linha (A, B, C, D) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Duncan. Valores expressos em média \pm desvio padrão.

209 Para os *Staphylococcus* spp., somente os tratamentos T2 (25 kHz água), T3
 210 (130 kHz água) e T5 (25 kHz AEFA) diferiram ($p < 0,05$) do controle e do T4 (AEFA
 211 sem US). Para esses dois grupos, o efeito do US e o efeito associado de US e AEFA
 212 apresentaram menor efeito de redução do número de colônias (Tabela 1). *S.aureus*
 213 possuem uma membrana celular (peptideoglicanos) espessa, tamanho reduzido e

214 formato esférico, apresentando maior capacidade de resistência ao estresse
215 mecânico, como o induzido pelo US, do que as bactérias que possuem formato
216 alongado, como bacilos e Gram negativos que são mais suscetíveis a ação
217 inativante do processo de cavitação (Pagan, Mañas, Raso & Condon, 1999; Joyce,
218 Al-Hashimi & Mason, 2011). Yokoyama et al. (2007) e Zacharia, Kamitani, Tisekwa,
219 Morita, Iwasaki (2010) propuseram que as diferenças na estrutura celular das
220 bactérias Gram positivas impediriam a penetração do ácido hipocloroso presente na
221 AEFA na célula microbiana, dificultando a inibição das enzimas responsáveis pelo
222 equilíbrio osmótico e pela síntese de nutrientes.

223 3.2 Análise microbiológica dos meios de imersão

224 A tabela 2 demonstra os valores de microorganismos mesófilos e
225 psicrotróficos dos meios de imersão antes e após os processos de submersão de
226 peito de frango. A AEFA antes e após a imersão dos pedaços cilíndricos de peito de
227 frango apresentou o mesmo número de colônias de bactérias mesófilas e
228 psicrotróficas ($< 10^0$ – valor estimado). Os fatores que influenciaram nesse resultado
229 foram a presença de cloro na água (5 mg/L), associado ao efeito do ultrassom
230 (cavitação) e a renovação utilizada (500 mL/min). O mesmo não ocorreu com o outro
231 tipo de meio de imersão. Destaca-se o T1, que demonstrou número de colônias
232 antes da imersão de 2,84 log UFC/g, havendo um aumento de 0,79 log UFC/g após
233 a imersão.

234 A água utilizada na etapa de pré-resfriamento, além de resfriar as porções,
235 auxilia na retirada das bactérias de sua superfície, sendo as mesófilas em maior

236 quantidade, devido às carcaças estarem mais expostas a altas temperaturas no
237 processo (36 a 40 °C).

238 O US exerceu efeito positivo nessa água de imersão nas duas frequências
239 utilizadas (25 e 130 kHz), uma vez que o número de colônias de bactérias mesófilas
240 e psicrotróficas, após a imersão, obtiveram um leve aumento quando comparadas
241 ao número inicial que a água apresentava antes da imersão (mesófilas: 0,03 a 0,14
242 log UFC/g e psicrotróficas: 0,05 a 0,39 log UFC/g). Há a demonstração que o
243 emprego do US e da AEFA podem auxiliar na obtenção de carcaças de frangos com
244 menor carga inicial de bactérias.

Tabela 2- Número de colônias de bactérias mesófilas e psicrotróficas (log UFC/mL) presentes na água e AEFA antes da imersão e após 10 minutos do processo de imersão dos pedaços de peito de frango a 10 °C.

Tratamentos	Mesófilos		Psicrotróficas	
	Antes da imersão	Após a imersão	Antes da imersão	Após a imersão
T1 água S/ US	2,84 ±0,14	3,59 ±0,12	<1,00*	<1,00*
T2 25kHz água	3,39 ±0,22	3,53 ±0,30	3,32 ±0,15	3,37 ±0,05
T3 130kHz água	3,42 ±0,10	3,45 ±0,06	2,91 ±0,20	3,30 ±0,06
T4 AEFA S/ US	<1,00*	<1,00*	<1,00*	<1,00*
T5 25kHz AEFA	<1,00*	<1,00*	<1,00*	<1,00*
T6 130kHz AEFA	<1,00*	<1,00*	<1,00*	<1,00*

Nota: *Valores estimados.

245 3.3 Análises oxidativas

246 A tabela 3 apresenta os valores de processos oxidativos proteicos e lipídicos
247 após o processo de imersão em água e AEFA. As análises de dienos conjugados
248 indicaram que não ocorreu influência do US e dos diferentes meios de imersão
249 (água e AEFA) nos pedaços de peito de frango, decorrente que não ocorreu
250 diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores encontrados no controle (2,58) em
251 relação aos demais tratamentos realizados (Tabela 3). Nos peróxidos, o US e água
252 influenciaram no processo uma vez que os valores dos tratamentos T2 (0,03) e T3
253 (0,04) demonstraram os menores valores que diferiram ($p > 0,05$) do controle e dos
254 tratamentos T1, T4, T5 e T6, enquanto que os valores nos tratamentos utilizando
255 AEFA não diferiram do controle (Tabela 3). Para o TBARS, os tratamentos com US e
256 água (T1 0,07; T2 0,06 e T3 0,06) não diferiram ($p < 0,05$) do controle, mas diferiram
257 ($p > 0,05$) dos tratamentos com US e AEFA (T4, T5 e T6), os quais não diferiram
258 ($p < 0,05$) do controle (Tabela 3).

259 O processo de resfriamento da carne de frango possui grandes efeitos na
260 suscetibilidade de reações oxidativas lipídicas e protéicas, principalmente durante o
261 armazenamento (Soyer, Ozalp, Dalmis & Bilgin, 2010). Mesmo que o US possa
262 formar radicais livres na água em que foram imersos os pedaços de peito de frango
263 (Petrier, Jeunet, Luche, Reverdy, 1992), esses não estimularam a oxidação lipídica,
264 uma vez que os resultados não diferiram ($p < 0,05$) do controle (dienos conjugados e
265 TBARS) e em peróxidos foram significativamente menores ($p < 0,05$). A razão disso
266 seria a renovação contínua da água empregada (500 mL/min), que proporcionaria o

267 arraste desses radicais do meio (Akon & Min, 2008) e, conseqüentemente, um
 268 menor tempo de contato com os pedaços de peitos de frangos.

Tabela 3- Oxidação lipídica (dienos conjugados, peróxidos e TBARS) e protéica (carbonil e tiol) nos pedaços cilíndricos de peito de frango antes e após a aplicação de US imersos em água e AEFA a 10°C durante 10 minutos.

	Controle	T1 água S/ US	T2 25 kHz água	T3 130 kHz água	T4 AEFA S/ US	T5 25 kHz AEFA	T6 130 kHz AEFA
Dienos	2,58 ^A ±1,71	1,13 ^A ±0,18	2,15 ^A ±0,18	2,57 ^A ±0,20	1,10 ^A ±0,08	1,42 ^A ±0,25	1,46 ^A ±0,12
Peróxidos	0,67 ^{AB} ±0,37	0,23 ^B ±0,06	0,03 ^C ±0,01	0,04 ^C ±0,007	0,95 ^A ±0,04	0,20 ^B ±0,07	0,74 ^A ±0,05
TBARS	0,14 ^{AB} ±0,11	0,07 ^B ±0,005	0,06 ^B ±0,01	0,06 ^B ±0,004	0,13 ^A ±0,001	0,14 ^A ±0,05	0,26 ^A ±0,02
Carbonil	10,72 ^A ±6,45	2,21 ^B ±0,10	1,88 ^B ±0,39	1,49 ^B ±0,10	7,90 ^{AB} ±0,81	6,73 ^{AB} ±1,08	7,27 ^{AB} ±1,66
Tiol	109,6 ^A ±11,83	98,7 ^A ±4,74	100,22 ^A ±22,21	106,38 ^A ±13,38	123,52 ^A ±9,27	117,78 ^A ±11,71	115,54 ^A ±11,25

Nota: Letras diferentes na mesma linha (A, B, C, D) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Duncan. Valores expressos em média \pm desvio padrão. TBARS expressos em miligrama de malonaldeído (MDA) por kilograma de amostra, Dienos conjugados expressos em miligrama de lipídeo por ml de ciclohexano, Peróxidos expressos em miliequivalente de peróxido por kilograma de amostra, Tiol expressos em nanomol de sulfidrila (SH) por miligrama de amostra e Carbonil expressos em nanomol de dinitrofenilhidrazina (DNPH) por miligrama de amostra.

269 Em relação aos tratamentos empregando US e AEFA, as características da
 270 AEFA empregada, que podem ser consideradas oxidantes (Winterbourn, Berg,
 271 Roitman & Kuypers, 1992; Olivo, Santos & Franco, 2006), assim como a renovação
 272 continua da AEFA no banho de US, seriam responsáveis pelos valores de

273 peróxidos e TBARS diferirem dos tratamentos com US e água. Porém, estes
274 valores não se diferem de forma significativa ($p < 0,05$) do controle (Tabela 3).

275 Em relação à oxidação das proteínas, os valores de tiol de todos os
276 tratamentos não diferiram ($p < 0,05$) do controle (Tabela 3), mas os valores de
277 carbonil nos tratamentos com US e água (T1 2,21; T2 1,88 e T3 1,49) diferiram
278 ($p < 0,05$) do controle (10,72), mas não diferiram ($p < 0,05$) dos tratamentos com US e
279 AEFA (T4 7,90; T5 6,73 e T6 7,27), os quais não diferiram do controle também
280 (Tabela 3). Comportamento semelhante ao ocorrido nos lipídios, onde o tipo de água
281 utilizada na imersão e a renovação influenciaram nos resultados, as combinações
282 US e água e US e AEFA não estimularam os processos oxidativos, mesmo que a
283 temperatura média (24,44 e 21,84 °C) tenha sido favorável a esse acontecimento
284 (Flores et al., 2016, no prelo).

285 3.4 Análises de textura, bioquímicas e histológicas

286 A tabela 4 apresenta os dados de textura, pH, glicogênio e lactato das
287 porções musculares antes e após o processo de imersão. No pré-resfriamento as
288 carcaças de frangos encontram-se na etapa de pré-rigor, caracterizado pelo início da
289 queda do pH, presença de glicogênio e lactato e com os músculos apresentando
290 flexibilidade e extensibilidade máxima (Prandl, Fischer, Schmidhofer & Sinell, 1994).
291 Os músculos do peito de frango são constituídos por fibras brancas que são mais
292 eficientes em glicólise anaeróbica, podendo entrar em rigor mortis uma hora após o
293 abate. A temperatura influencia diretamente na velocidade da glicólise anaeróbica,
294 retardando o aparecimento do rigor mortis. O rápido resfriamento das carcaças a
295 temperaturas inferiores a 14 °C, associado a valores de pH maiores do que 6,2,

296 promovem o encurtamento dos músculos e conseqüentemente aumentam a dureza
 297 da carne (Varnam & Sutherland, 1998).

Tabela 4- Valores de textura, pH, glicogênio e lactato nos peitos de frangos não submetido a imersão e após a imersão de 10 minutos em banho de ultrassom contendo água e AEFA.

	Controle	T1 água S/ US	T2 25 kHz água	T3 130 kHz água	T4 AEFA S/ US	T5 25 kHz AEFA	T6 130 kHz AEFA
Textura	13,60 ^A ±1,64	13,78 ^A ±0,19	14,47 ^A ±1,05	14,39 ^A ±1,66	12,47 ^A ±1,17	13,77 ^A ±0,65	13,97 ^A ±0,51
pH	6,10 ^{AB} ±0,02	5,97 ^B ±0,02	6,03 ^B ±0,13	5,98 ^B ±0,14	6,16 ^{AB} ±0,08	6,28 ^A ± 0,09	6,14 ^{AB} ±0,14
Glicogênio	13,37 ^A ±2,08	16,37 ^A ±1,92	13,41 ^A ±1,90	13,70 ^A ±5,15	14,40 ^A ±1,47	15,14 ^A ±1,36	16,85 ^A ± 3,78
Lactato	43,68 ^A ±4,71	40,12 ^A ±2,01	32,11 ^A ±5,75	33,23 ^A ±6,85	39,18 ^A ±12,11	38,25 ^A ± 8,97	39,30 ^A ± 1,47

Nota: Letras diferentes na mesma linha (A, B, C, D) indicam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Duncan. Valores expressos em média \pm desvio padrão. Valores de textura expressos em Newton (N), valores de glicogênio expressos em micromol de glicose por grama de tecido e valores de lactato expressos em micromol de lactato por grama de tecido.

298 Mesmo que o emprego de US (T2, T3, T5 e T6) tenha proporcionado
 299 resfriamento mais rápido e homogêneo nos pedaços de peitos de frangos (Flores et
 300 al., 2016, no prelo), esse fato não interferiu no andamento da glicólise anaeróbica,
 301 uma vez que os valores de textura, pH, glicogênio e lactato, desses tratamentos não
 302 diferiram ($p < 0,05$) dos valores encontrados no controle (Tabela 4). Os cortes
 303 histológicos demonstram esse acontecimento, devido à presença de glicogênio entre

304 as fibras musculares e também por não haver encurtamento das fibras musculares
305 pelo resfriamento rápido promovido pelo US (Figura 1).

306 Frações frescas de lula submetidas a US de 25 kHz durante 30 minutos a 20
307 °C apresentaram menores valores de textura em relação ao controle (Hu et al.,
308 2014). Chen et al. (2015) observaram aumento na maciez de peito de frango ao
309 aplicarem US de 40 kHz e 1500 W de intensidade durante 60 minutos a 20 °C, na
310 etapa de pré-rigor e durante o armazenamento. Em filés de salmão congelados
311 submetidos a banho de US de 35 kHz, 820 W de intensidade, durante 15 e 20
312 minutos a 25 °C, os valores de textura não diferiram ($p < 0,05$) do controle (Turienzo,
313 Cobos & Diaz, 2012). Nesses trabalhos os autores concluíram que o tempo de
314 exposição, bem como a frequência e a intensidade de aplicação do US, são fatores
315 determinantes para promover modificações estruturais nas fibras musculares. Não
316 ocorreram modificações na textura dos pedaços de peitos de frangos, decorrente
317 que o tempo empregado de US foi insuficiente para promover modificações nas
318 fibras musculares (Tabela 4).

319 O emprego de US de 20 kHz, 100 a 550 W de intensidade, por tempos de 10
320 a 180 minutos, favoreceu a difusão de salmouras e sais de cura em pernil suíno
321 quando da elaboração de presunto cozido (Siró, Vén, Balla, Jonas, Zeke & Friedrich,
322 2009; Carcel, Benedito, Bon & Mulet, 2007; McDonnell, Lyng & Allen, 2014). A AEFA
323 caracteriza-se por apresentar 95% do cloro presente na forma de ácido hipocloroso
324 (HOCl), 5% como íons hipoclorito (OCl⁻) e traços de Cl₂ (Guentzel, Lam, Callan,
325 Emmons, & Dunham, 2008). Porém, mesmo com essas características, a
326 combinação de AEFA com US não demonstrou alterações significativas em relação

327 à textura, lactato e glicogênio (Tabela 4 e Figura 1). Esse efeito pode ter ocorrido no
328 T5 em relação ao pH, uma vez que o mesmo diferiu ($p>0,05$) dos valores
329 encontrados nos tratamentos T1, T2 e T3 (Tabela 4).

330 O glicogênio é a principal reserva de energia muscular, sendo que até duas
331 horas após o abate seus níveis podem ser mantidos estáveis, assim como os
332 valores de lactato, sem afetar o pH e conseqüentemente a taxa de glicólise (Warris
333 et al., 1993). Os valores de pH logo após o processo de imersão nos diferentes
334 tratamentos (Tabela 4) diminuíram em relação ao valor do pH fisiológico normal
335 (7,0), demonstrando o início da glicólise anaeróbica nos tratamentos onde foram
336 aplicados US (Savenije, Lamboorj, Gerritzen, Venema & Korf, 2002). Não houve
337 interferência no processo de glicólise anaeróbica, pois o valor de lactato quantificado
338 nos peitos de frangos não diferiu ($p<0,05$) dos valores encontrados nos grupos
339 controle, onde a temperatura final média era (decorridos 10 minutos),
340 respectivamente, de 19,41 e 21,09 °C após a imersão em água e AEFA (Flores et
341 al., 2016, no prelo). Got et al. (1999) descreveram que a aplicação de US de 2,6
342 MHz, 10 W/cm² de intensidade por 15 segundos a 3 °C, não afetou as taxas
343 metabólicas da glicólise anaeróbica.

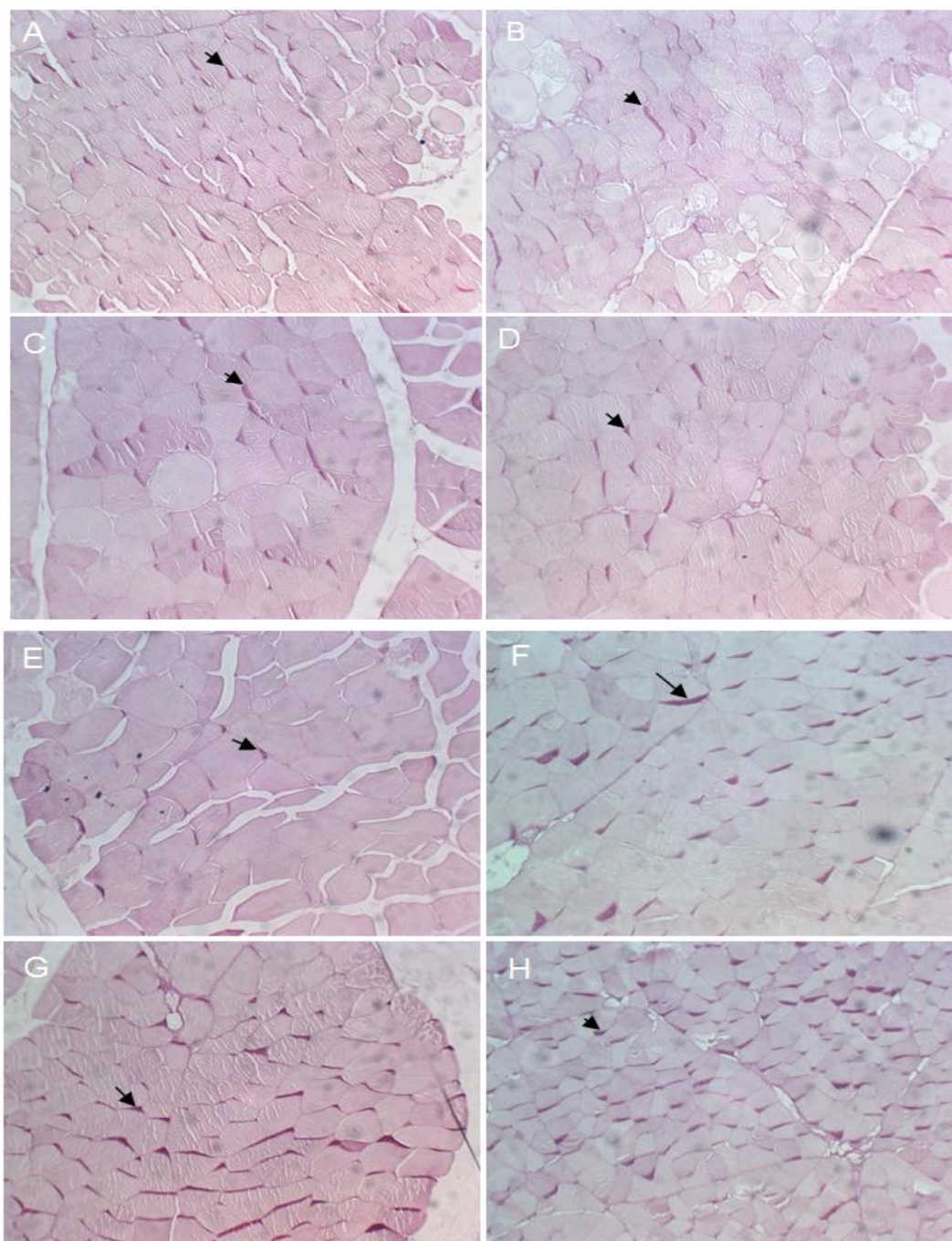


Figura 1- Análise histológica com coloração de PAS, antes e após a aplicação de ultrassom em imersão com água (A a D) e AEFA (E a H). (A e E) controle, (B e F) imersão sem aplicação de ultrassom, (C e G) 25 kHz, (D e H) 130 kHz. Setas representam acumulo de glicogênio na periferia de feixes musculares. 100 X objeto.

344 O resfriamento é um passo crítico no processamento de frangos, que
345 determina a qualidade da carne e a segurança do produto (Demirok, Veluz,
346 Stuyvenberg, Castaneda, Byrd & Alvarado, 2013). Nos pedaços de peitos de frangos
347 submetidos ao US (T2, T3, T4, T5 e T6), ocorreu efeito positivo frente as bactérias
348 (Tabela 1) sem interferir no processo de transformação do músculo em carne,
349 mesmo em baixa temperatura (as variações entre temperaturas externas e internas
350 foram 2 a 4 °C com a aplicação de US (Flores et al., 2016, no prelo), contribuindo
351 para que desta forma seja obtida e oferecida carne com qualidade e segura ao
352 consumidor.

353 **4 Conclusões**

354 As aplicações de US associada à AEFA apresentaram maior efeito frente as
355 bactérias mesófilas, psicotróficas e lácticas e moderado efeito frente a
356 enterobactérias e *Staphylococcus* spp., quando comparada as aplicações de água.
357 A AEFA nas condições estudadas, após o tempo de imersão, apresentou numero de
358 colônias de bactérias mesófilas e psicrotróficas abaixo do valor detectável,
359 demonstrando a importância do US e o fluxo de renovação. O emprego do US e de
360 AEFA podem auxiliar na obtenção de porções de carne de frango com menor carga
361 inicial de bactérias, quando utilizados na etapa de pré-resfriamento. O emprego do
362 US nas frequências 25 e 130 kHz associado a água e a AEFA não acelerou os
363 processos de oxidação dos lipídios e das proteínas. O emprego do US nas
364 frequências de 25 e 130 kHz associado a água e a AEFA durante 10 minutos não
365 interferiu no gasto de glicogênio e na produção de lactato, não impactando
366 negativamente o atributo de maciez.

367 **5 Referências**

- 368 AMSA - American Meat Association. (1995). Research Guidelines for Cookery,
369 Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat.
- 370 Akon, C.C.; Min, D.B. (2002). Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology,
371 3° Edition. CRC Press, 2002.
- 372 Barbut, S. (2003). An industry guide In: Poultry products processing, CRC press,
373 300-370.
- 374 Bekhit, A.; Carne, A.; Ha, M.; Franks, P. (2014). Physical intervention to manipulate
375 texture and terdeness of fresh meat: a review. *International Journal of Food*
376 *Properties*, 17 (2), 433-453. DOI: 10.1080/10942912.2011.642442.
- 377 Brasil, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (1998). Regulamento
378 Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico Sanitária da Carne de Aves, 210.
- 379 Brasil, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2001). Resolução da Diretoria
380 Colegiada (RDC) n° 12.
- 381 Brasil, Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (2003). Instrução
382 Normativa (IN) n° 62.
- 383 Carcel, J. A. ; Benedito, J. ; Bon, J. ; Mulet, A. (2007). High intensity ultrasound
384 effects on meat brining. *Meat Science*, 76 (4), 611-619.
385 DOI:10.1016/j.meatsci.2007.01.022.
- 386 Chang, H.C.; Wong, R.X. (2012). Textural and biochemical properties of cobia
387 (*Rachycentroncanadum*) sashimi tenderized with the ultrasonic water bath. *Food*
388 *Chemistry*, 132 (3), 1340-1345. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.11.116.

- 389 Chen, L. et al. (2015). Effects of ultrasonic processing on caspases-3, calpain
390 expression and myofibrillar structure of chicken during post-mortem ageing. *Food*
391 *Chemistry*, 177, 280-287. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.11.064.
- 392 Demirok, E.; Veluz, G.; Stuyvenberg, W.V.; Castaneda, M.P.; Byrd, A.; Alvarado,
393 C.Z. (2013). *Poultry Science*, 92 (4), 1117-1126. DOI:10.3382/ps.2012-02493.
- 394 Dominguez, R.; Gomez, M.; Fonseca, S.; Lorenzo, J. (2014). Effect of different
395 cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat.
396 *Meat Science*, 97 (2), 223-230. DOI: 10.1016/j.meatsci.2014.01.023.
- 397 Dubois, M.; Giles, K.; Hamilton, J.; Rebers, P.; Smith, F. (1956). Colorimetric method
398 for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28 (3),
399 350-356. DOI:10.1021/ac60111a017.
- 400 Ellman, G. L. Tissue sulfhydryl groups. (1959). *Archives of Biochemistry and*
401 *Biophysics*, 82 (1), 70-77. DOI: 10.1016/0003-9861(59)90090-6.
- 402 Flores, D.R.M. et al. (2016). Utilização de ultrassom no pré-resfriamento de peito de
403 frango. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. *Artigo no prelo.
- 404 Forghani, F.; Eskandari, M.; Oh, D.H. (2015). Application of slightly acidic
405 electrolyzed water and ultrasound for microbial decontamination of kashk. *Food*
406 *Science Biotechnology*, 24 (3), 1011-1016. Disponível em:
407 <http://link.springer.com/article/10.1007/s10068-015-0129-5>.
- 408 Gao, S.; Lewis, G.; Ashokkumar, M.; Hemar, Y. (2014). Inactivation of
409 microorganisms by low-frequency high-power ultrasound: A simple model for the
410 inactivation mechanism. *Ultrasonic Sonochemistry*, 21 (1), 454-460. DOI:
411 10.1016/j.ultsonch.2013.06.007.

- 412 Got, F. et al. (1999). Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing
413 rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. *Meat Science*, 51
414 (1), 35-42. DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00094-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00094-1).
- 415 Guentzel, J. L. ; Lam, K.L. ; Callan, M. A.; Emmons, S. A.; Dunham, L. (2008).
416 Reduction of bacteria on spinach, lettuce and surfaces in food service areas using
417 neutral electrolyzed oxidizing water. *Food Microbiology*, 25 (1), 36-41.
418 DOI:10.1016/j.fm.2007.08.003.
- 419 Gulseren, I.; Guzey, D.; Bruce, B.; Weiss, J. (2007). Structural and functional
420 changes in ultrasonicated bovine serum albumin solutions. *Ultrasonic*
421 *Sonochemistry*, 1492, 173-183. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2005.07.006.
- 422 Harrower, J. R.; Brown, C. H. (1972). Blood lactic acid – a micromethod adapted to
423 field collection of microliter samples. *Journal of Applied Physiology*, 32 (5).
- 424 Hu, Y. et al. (2014). Analysis of the tenderization of jumbo squid (*Dosidicus gigas*)
425 meat by ultrasonic treatment using response surface methodology. *Food Chemistry*,
426 160, 219-225. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.01.085.
- 427 Hua, I. Thompson, J. E. (2000). Inactivation of *Escherichia coli* by sonication at
428 discrete ultrasonic frequencies. *Water Research*, 34 (15), 3888-3893. DOI:
429 10.1016/S0043-1354(00)00121-4.
- 430 Huang, Y. R.; Hung, Y.C.; Hsu, S.Y.; Huang, Y.W.; Hwang, D.F. (2008). Application
431 of electrolyzed water in the food industry. *Food Control*, 19 (4), 329-345. DOI:
432 10.1016/j.foodcont.2007.08.012.
- 433 IAL – Instituto Adolfo Lutz. (2008). Métodos químicos e físicos para análise de
434 alimentos, 4° ed, 105.

- 435 James, C.; Vincent, C.; Andrade-Lima, T.; James, S. (2006). The primary chilling of
436 poultry carcasses- a review. *International Journal of Refrigeration*, 29 (6), 847-862.
437 DOI:10.1016/j.ijrefrig.2005.08.003.
- 438 Joyce, E.; Al-Hashimi, A.; Mason, T.J. (2011). Assessing the effect of different
439 ultrasonic frequencies on bacterial viability using flow cytometry. *Journal of Applied*
440 *Microbiology*, 110 (4), 862-870. DOI:10.1111/j.1365-2672.2011.04923.x.
- 441 Koohmaraie, M. Muscle proteinases and meat aging. *Meat Science*, 36 (1-2), 93-104.
442 DOI:10.1016/0309-1740(94)90036-1.
- 443 Levine, R. L. et al. (1990). Determination of carbonyl content in oxidatively modified
444 proteins. *Methods in Enzymology*, 186, 464-478. DOI:10.1016/0076-6879(90)86141-
445 H.
- 446 Liao, L. B. Chen, W. M. Xiao, X. M. (2007). The generation and inactivation
447 mechanism of oxidation-reduction potential of electrolyzed oxidizing water. *Journal of*
448 *Food Engineering*, 78 (4), 1326-1332. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2006.01.004.
- 449 Marchioni, C. et al. (2009). Structural changes induced in proteins by therapeutic
450 ultrasounds. *Ultrasonics*, 49 (6-7), 569-576. DOI: 10.1016/j.ultras.2009.02.003.
- 451 Mason, T. J.; Lorimer, J. P. (2002). Sonochemistry in environmental protection and
452 remediation: the sonification of water In: *Applied sonochemistry: use of power*
453 *ultrasound in chemistry and processing*, Wiley-vch, 137-138.
- 454 Mason, T. J. et al. (2011). Alternatives to Conventional Food Processing In:
455 *Ultrasonic food processing*, RSC Publishing, 387-407.

- 456 McDonnell, C. K. ; Lyng, J.G. ; Allen, P. (2014). The use of power ultrasound for
457 accelerating the curing of pork. *Meat Science*, 98 (2), 142-149.
458 DOI:10.1016/j.meatsci.2014.04.008
- 459 Montgomery, R. (1957). Determination of glycogen. *Archives of Biochemistry and*
460 *Biophysics*, 67, 378-386. DOI: 10.1016/0003-9861(57)90292-8.
- 461 Morrissey, P.; Sheehy, P.; Galvin, K.; Kerry, J.; Buckley, D. (1998). Lipid Stability in
462 meat and meat products. *Meat Science*, 49 (1), 73-86. DOI: 10.1016/S0309-
463 1740(98)90039-0.
- 464 Olivo, R.; Santos, M.N.; Franco, F.O. (2006). Carne de frango e nutrição In: O Mundo
465 do Frango: cadeia produtiva da carne de frango. Criciúma, SC, 665-680.
- 466 Pagan, R.; Mañas, P.; Raso, J.; Condon, s. (1999). Bacterial resistance to ultrasonic
467 waves under pressure at nonlethal (manosonication) and lethal
468 (manothermosonication) temperatures. *Applied and Enviromental Microbiology*, 65
469 (1), 297-300. DOI:10.1006/fmic.1998.0231.
- 470 Prandl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T., Sinell, H-J. (1994). Capitulo II Sacrificio de
471 los animals - Cambios post-mortem. IN: Tecnología e Higiene de la Carne. Editorial
472 Acribia, S.A. Zaragoza, Espanha, 115-124.
- 473 Petrier, C.; Jeunet, A.; Luche, J.; Reverdy, G. (1992). Unexpected frequency effects
474 on the rate of oxidative process induced by ultrasound. *Journal American Chemical*
475 *Society*, 114, 3148-3150. DOI:10.1021/ja00034a077.
- 476 Purnell, G.; James, C.; James, S.; Howell, M.; Corry, J. (2014). Comparison of
477 acidified sodium chlorite, chlorine dioxide, peroxyacetic acid and tri-sodium

478 phosphate spray washes for decontamination of chicken carcasse. *Food and*
479 *Bioprocess Technology*, 7 (7), 2093-2101. DOI:10.1007/s11947-013-1211-8.

480 Raharjo, S.; Sofos, J. N. (1993). Methodology for measuring malonaldehyde as a
481 product of lipid peroxidation in muscle tissues: a review. *Meat Science*, 35 (2), 145-
482 169. DOI:10.1016/0309-1740(93)90046-K.

483 Rahman, S.M.E.; Wang, J.; Oh, D.H. (2013). Synergistic effect of low concentration
484 electrolyzed water and calcium lactate to ensure microbial safety, shelf life and
485 sensory quality of fresh pork. *Food Control*, 30 (1), 176-183.
486 DOI:10.1016/j.foodcont.2012.06.041.

487 Recknagel, R. O.; Glende, E. A. Spectrophotometric detection of lipid conjugated
488 dienes. (1984). *Methods in Enzymology*, 105, 331-337. DOI:
489 [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05043-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05043-6).

490 Savenije, B.; Lamboorj, E.; Gerritzen, M.; Venema, K.; Korf, J. (2002). Effects of feed
491 deprivation and transport on pre slaughter blood metabolites, early postmortem
492 muscle metabolites and meat quality. *Poultry Science*, 81 (5), 699-708. Disponivel
493 em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12033421>.

494 Silva, N. et al. (2007). Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos, 3°
495 ed., 96.

496 Siró, I.; Vén, C.; Balla, C.; Jonas, G.; Zeke, I.; Friedrich, L. (2009). Application of an
497 ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in
498 porcine meat. *Journal of Food Engineering*, 91 (2), 353-362.
499 DOI:10.1016/j.jfoodeng.2008.09.015.

- 500 Shahidi, F.; Pegg, R.B. (1994). Hexanal as an indicator of flavor deterioration.
501 *Journal of Food Lipids*, 1, 177-186.
- 502 Shanta, N. L.; Decker, E.A. (1997). Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric
503 methods for determination of peroxides value of food lipids. *Journal of AOAC*
504 *International*, 77(2), 421-424.
- 505 Shirahata, S. et al. (2006). Electrolyzed-reduced water protects against oxidative
506 damage to DNA, RNA and protein. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 135 (2).
507 DOI: 10.1385/ABAB:135:2:133.
- 508 Soyer, A.; Ozalp, B.; Dalmis, U.; Bilgin, V. (2010). Effects of freezing temperature
509 and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. *Food*
510 *Chemistry*, 120 (4), 1025-1030. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.11.042.
- 511 Sullivan, J.O.; Murray, B.; Flynn, C.; Norton, I. (2016). The effect of ultrasound
512 treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and
513 vegetable proteins. *Food Hydrocolloids*, 53, 1-14.
514 DOI:10.1016/j.foodhyd.2015.02.009.
- 515 Suslick, K. S. (1989). The chemical effect of ultrasound. *Scientific American*, 260(2).
516 DOI: 10.1038/scientificamerican0289-80.
- 517 Suvarna, S.K.; Layton, C.; Bancroft, J.D. (2012). Bancroft's theory and practice of
518 histological techniques. Elsevier, 7° Edição, 381, 427.
- 519 Tolosa, E. M. C. de et al. (2003). Colorações histológicas para grânulos, depósitos e
520 pigmentos In: Manual de técnicas para histologia normal e patológica, Ed. Manole,
521 2° edição, 87-109.

- 522 Turienzo, L. R.; Cobos, A.; Diaz, O. (2012). Effects of edible coatings based on
523 ultrasound-treated whey proteins in quality attributes of frozen Atlantic salmon
524 (*Salmo salar*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 14, 92-98. DOI:
525 10.1016/j.ifset.2011.12.003.
- 526 Vasconcelos, M.C.; Silva, C.; Meza, M.L.F.; Bassi, N.S.S. (2015). Trajetória
527 tecnológica da cadeia produtiva do frango de corte no Brasil. *Iniciação científica*
528 *Cesumar*, 17 (1), 15-27. Disponível em:
529 <http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/iccesumar/article/view/3900>.
- 530 Varnam, A. H.; Sutherland, J. P. (1998). Conversión del músculo en carne IN: Carne
531 Y productos cárnicos. Tecnología, química y microbiología. Editorial Acribia, S.A.
532 Zaragoza, Espanha. 45-94, 1998.
- 533 Warris, P.D. et al. (1993). The depletion of glycogen stores and indices of
534 dehydration in transported broilers. *British Veterinary Journal*, 149 (4), 391-399.
535 DOI:10.1016/S0007-1935(05)80078-8.
- 536 Winterbourn, C.; Berg, J. J.; Roitman, E.; Kuypers, F. A. (1992). Chlorohydrin
537 formation from unsaturated fatty acids reacted with hypochlorous acid. *Archives of*
538 *Biochemistry and Biophysics*, 296 (2), 547-555. DOI:10.1016/0003-9861(92)90609-Z.
- 539 Xiong, G. Y.; Zhang, L.; Zhang, W.; Wu, J. (2012). Influence of ultrasound and
540 proteolytic enzyme inhibitors on muscle degradation, tenderness and cooking loss of
541 hens during aging. *Czech Journal Food Science*, 30 (3), 195-205.
- 542 Yokoyama, I. et al. (2007). Establishment of gold standard for electrolyzed sodium
543 solutions in disinfection. *Bulletin of the Osaka Medical College*, 53 (1), 11-19.

544 Disponivel em: <http://www.osaka-med.ac.jp/deps/b->
545 [omc/articles/531/531yokoyama.pdf](http://www.osaka-med.ac.jp/deps/b-omc/articles/531/531yokoyama.pdf).

546 Zacharia, A.I.; Kamitani, Y.; Tisekwa, A.; Morita, K.; Iwasaki, K. (2010. In vitro
547 inactivation of Escherichia coli, Staphylococcus aureus and Salmonella spp. Using
548 slightly acidic electrolyzed water. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 110 (3),
549 308-313. DOI:10.1016/j.jbiosc.2010.03.012.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Novas tecnologias possibilitam melhorias em processos tradicionalmente empregados por agroindústrias, aprimorando o uso de recursos naturais, questões de segurança e agregar valor aos produtos obtidos a serem ofertados aos consumidores. Os benefícios propostos por ambas as tecnologias podem ser ainda maiores quando existe aplicação e uso combinado destas. Cabe destacar os maiores efeitos de redução da carga microbiana quando existe a combinação de US e AEFA.

As aplicações de US no pré-resfriamento de porções de peito de frango promoveram um resfriamento com menores variações entre as temperaturas internas e externas com a aplicação de 130 kHz em modo normal com imersão em água em 10 minutos. Houveram maiores variações das temperaturas internas e externas com aplicações de 25 kHz em modo sweep com imersão em AEFA. Com as melhores condições propostas de resfriamento das porções de carne de frango, 130 kHz e 10 minutos de imersão demonstraram melhores condições de resfriamento em comparação ao grupo que não sofreu aplicação de US, tanto com água como AEFA. Em virtude das características da AEFA, houve menores taxas de resfriamento das porções de carne de frango quando houve aplicação de US em 25 e 130 kHz em comparação a imersão com água.

O emprego de 25 kHz nos pedaços de peito de frango promoveu de forma mais intensa a redução da carga microbiana inicial de bactérias ácido lácticas, mesófilos e psicrotróficos quando houve a combinação com AEFA. Estafilococos e enterobactérias também tiveram reduções das suas cargas microbianas iniciais,

porém de forma menos intensa, em virtude das suas características estruturais. 130 kHz promoveu reduções microbiológicas em menor grau tanto quando associado a água ou AEFA. As características oxidativas da carne de frango não foram modificadas quando houve a aplicação de US. Entretanto, quando foi aplicada a combinação de US e AEFA, os valores foram maiores do que a imersão em água. As aplicações de US e US e AEFA não promoveram alterações na glicólise anaeróbica e na morfologia das fibras musculares, sem haver alterações significativas na maciez das porções.

Estudos que contemplem a continuação do processo de resfriamento em *chiller* e a avaliação da vida de prateleira da carne podem ser prospectivos. Em função das características funcionais dos aparelhos de US utilizados nos estudos de pré-resfriamento, há uma limitação da temperatura utilizada nas cubas dos banhos. O limite estabelecido de 10 °C faz com que este estudo necessite de outro equipamento para que seja possível a reprodução de tanques de *chiller* que utilizam temperaturas de no máximo 4 °C. Também será necessário o aprimoramento do sistema de manutenção da temperatura no interior da cuba de banho, através do desenvolvimento de um sistema trocador de calor. A padronização em formatos geométricos das porções musculares é de grande importância para a coleta de dados termográficos, além de facilitar a comparação dos diferentes modos de transferências de calor induzidos pelo US.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/aves> Acesso em: 04/03/2016.

CLARK, J. H. Alternatives to conventional food processing In: Introduction to green chemistry, RSC Publishing, p. 1-8, 2011.

CHEMAT, F. et al. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation, and extraction. **Ultrasound Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813- 835, 2011. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21216174> Acesso em: 15/06/2014.

DELGADO, A.E., ZHENG, L., SUN, D.W. Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apples. **Food Bioprocess Technology**, v. 2,p.263-270, 2009.

EMBRAPA. Nota técnica- Sistema alternativo de criação de galinhas caipiras, Sistemas de produção, v.4, 2007.

INDEXMUNDI. Food exports by products section – poultry meat yearly. Disponível em: <http://www.indexmundi.com/trade/exports/?country=br> Acesso em: 11/08/2016.

JAYASOORYIA, S.D. et al. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine *Semitendinosus* and *Longissimus* muscles. **Meat Science**, v. 75, p. 628-639, 2007.

JIMÉNEZ-COLMENERO, F. et al. Meat and functional foods In: Handbook of meat and meat processing. CRC Press, 2º edição, p. 225-249, 2012.

OLIVO, R. OLIVO, N. Ciência e tecnologia In: O mundo das carnes. Editora Varela, 3º edição, p. 21-23, 2006.

SANTINI, G.A.; FILHO, H.M.S. Mudanças tecnológicas em cadeias agroindustriais: uma análise dos elos de processamento da pecuária de corte, avicultura de corte e suinocultura. UNESP, Diretório da Pesquisa Privada no Brasil, 2003.

TERRA, N. N. Produção de carnes In: Apontamentos de tecnologia de carnes, Ed. Unisinos, 1º Edição, p. 11-21, 2003.

USDA. Poultry meat production. Disponível em: <http://www.thepoultrysite.com/reports/?id=1486> Acesso em: 11/08/2016.

WARRIS, P. D. Meat science: an introductory text In: Producing and eating meat. Editora CABI, 2º ed, p. 1-7, 2010.

ZHENG, L.; SUN, D.W. Ultrasonic assistance of food freezing. **Emerging Technologies for Food Processing**, v. 15, p. 245-252, 2005.