

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS ALIMENTOS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DOS ALIMENTOS

EDUARDA SCHUBERT

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE PRÉ-RESFRIAMENTO DE CARCAÇAS DE AVES
EM UM FRIGORÍFICO**

PORTO ALEGRE

2024

EDUARDA SCHUBERT

**Avaliação do sistema de pré-resfriamento de carcaças de aves em um
frigorífico**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro de Alimentos do Instituto de Ciência e
Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul

Orientadora: Prof^a Dr^a Patrícia Benelli

Coorientadora: Prof^a Dr^a. Giovana Domeneghini
Mercali

PORTO ALEGRE

2024

Schubert, Eduarda
Avaliação do sistema de pré-resfriamento de
carcaças de aves em um frigorífico / Eduarda Schubert.
-- 2024.
51 f.
Orientadora: Patrícia Benelli.

Coorientadora: Giovana Domeneghini Mercali.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Curso de
Engenharia de Alimentos, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Pré-resfriamento de aves. I. Benelli, Patrícia,
orient. II. Mercali, Giovana Domeneghini, coorient.
III. Título.

Eduarda Schubert

Avaliação do sistema de pré-resfriamento de carcaças de frango em um frigorífico

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos

Aprovado em: Porto Alegre, 7 de fevereiro de 2024.

Prof^a. Dr^a Patrícia Benelli – UFRGS
Orientadora

Prof^a. Dr^a Giovana Domeneghini Mercali – UFRGS
Coorientadora

Prof. Dr. Jean Philippe Palma Revillion – UFRGS
Examinador

M^a. Michele Utpott – UFRGS
Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser meu guia e por conceder todas as oportunidades que tive durante a graduação.

Agradeço aos meus pais, Cássia e Valério, por todo amor, carinho, paciência, e por estarem sempre presentes ao longo da minha trajetória acadêmica, incentivando-me, apoiando minhas escolhas e oferecendo orientação.

Agradeço ao meu namorado, Arthur, por estar sempre ao meu lado, fornecendo apoio e carinho, e contribuindo para a realização deste projeto.

Agradeço ao meu supervisor de estágio, Marlon Dal Conte, por todo o apoio, pelas oportunidades de crescimento profissional e por permitir a realização deste estudo. Mesmo diante de inúmeros compromissos, mostrou-se sempre disposto em auxiliar. Foi extremamente importante para a minha escolha profissional, e será para sempre lembrado.

Aos meus colegas de trabalho, por toda a parceria, e por sempre compartilharem desafios, conquistas e aprendizados.

Aos meus colegas de graduação que estiveram comigo, obrigada por todo o apoio e parceria.

Às professoras Patrícia Benelli e Giovana Mercali, agradeço por todos os direcionamentos e o suporte dedicado proporcionados para a concretização deste trabalho.

Por último, expresse meu agradecimento a todos os colegas, professores e funcionários da Universidade Federal do Rio Grande do Sul que, de diversas maneiras, contribuíram para minha trajetória acadêmica.

RESUMO

O processo de pré-resfriamento constitui uma das etapas do processo tecnológico do abate, visando à rápida redução da temperatura das carcaças de frango. Sua relevância direta na qualidade do produto final decorre da eficácia dos métodos empregados na dissipação de calor, contribuindo para a minimização da proliferação de bactérias e potenciais patógenos prejudiciais às carcaças. No contexto brasileiro, a maioria dos frigoríficos adota o sistema de pré-resfriamento por imersão em água, não apenas por sua efetividade na redução de microrganismos, mas também pela prevenção da desidratação das carcaças durante o processo. Entretanto, este sistema enfrenta desafios notáveis, abordados nesta pesquisa, como a dificuldade em controlar de maneira precisa a absorção de água pelas carcaças e várias restrições comerciais. Diante dessas considerações, conduziu-se um estudo com o objetivo de avaliar o referido sistema, almejando obter dados relevantes para o desenvolvimento de um sistema de pré-resfriamento inovador mantido sob sigilo tecnológico. Foram realizadas análises abrangendo a temperatura da carcaça, temperatura dos tanques de água de pré-resfriamento e temperatura de absorção de água pelas carcaças. Os resultados obtidos indicaram alguns problemas no processo de pré-resfriamento de carcaças de frango por imersão. Os dados revelaram a ineficácia do sistema de pré-resfriamento da planta, além de demonstrar que a absorção de água pelas carcaças é um parâmetro altamente variável. Essas constatações evidenciam a necessidade do desenvolvimento de um novo método de pré-resfriamento para garantir um controle mais preciso da absorção de água, alinhando-se aos padrões internacionais de qualidade.

Palavras-chave: pré-resfriamento, abate de aves, *chiller*, absorção de água.

ABSTRACT

The pre-cooling process is one of the stages in the technological process of poultry slaughter, aiming for the rapid reduction of chicken carcass temperature. Its direct relevance to the final product quality stems from the effectiveness of the methods employed in heat dissipation, contributing to the minimization of bacteria proliferation and potential pathogens harmful to the carcasses. In the Brazilian context, most slaughterhouses adopt the pre-cooling system by immersion in water, not only for its effectiveness in reducing microorganisms but also for preventing dehydration of the carcasses during the process. However, this system faces notable challenges addressed in this research, such as the difficulty in precisely controlling water absorption by the carcasses and various commercial restrictions. Given these considerations, a study was conducted with the aim of evaluating the mentioned system, aiming to obtain relevant data for the development of an innovative pre-cooling system kept under technological secrecy. Analyses were carried out covering carcass temperature, pre-cooling water tank temperature, and water absorption temperature by the carcasses. The results obtained indicated some issues in the immersion pre-cooling process of chicken carcasses. The data revealed the inefficiency of the plant's pre-cooling system, as well as demonstrating that water absorption by the carcasses is a highly variable parameter. These findings highlight the need for the development of a new pre-cooling method to ensure more precise control of water absorption, aligning with international quality standards.

Keywords: pre-cooling, poultry slaughter, chiller, water absorption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exportações de carne de frango por unidade federativa em 2022.....	11
Figura 2 - Fluxograma do abate de frangos de corte no Brasil.....	16
Figura 3 - Selo de identificação de produtos <i>Halal</i>	17
Figura 4 - Tanque de pré-resfriamento de carcaças pré- <i>chiller</i>	26
Figura 5 - Hidrômetros para controle da proporção água:carcaça nas entradas de água nos tanques.....	27
Figura 6 - Soldagem para desativação da linha de injeção de ar.....	28
Figura 7 – Vistas do sistema de resfriador de água <i>zig-zag cooler</i> acoplado na parte superior do tanque resfriador de carcaças.....	29
Figura 8 - Trocador de calor para resfriamento de água (<i>zig-zag cooler</i>).....	30
Figura 9 - Medição da temperatura no ponto mais quente da amostra identificada com lacre.....	32
Figura 10 - Painel de visualização da temperatura em um dos dias de experimento.....	35
Figura 11 - Variação da temperatura no centro do peito da carcaça (°C) ao longo dos dias de experimentos, comparados na entrada e saída do pré- <i>chiller</i> e na saída do <i>chiller</i>	36
Figura 12 - Amostras conformes e não conformes quanto à temperatura.....	37
Figura 13 - Temperatura média da carcaça (°C) ao longo do <i>chiller</i> durante os 8 dias de experimento.....	38
Figura 14 - Média da redução de temperatura das carcaças que ocorre no pré- <i>chiller</i> e no <i>chiller</i>	39
Figura 15 - Temperatura da água (°C) no pré- <i>chiller</i> e no <i>chiller</i> durante os dias de experimento.....	39
Figura 16 - Pesos iniciais médios (g) das carcaças ao longo dos dias de experimento.....	40
Figura 17 - Absorção média de água (%) pelas carcaças durante os dias de experimento.....	41
Figura 18 - Valor médio de absorção de água (%) pelas carcaças no pré- <i>chiller</i> e no <i>chiller</i>	42

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
RIISPOA	Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária dos Produtos de Origem Animal
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
DIPOA	Divisão de Inspeção de Produtos de Origem Animal
SIF	Serviço de Inspeção Federal
<i>P_i</i>	Peso inicial
<i>P_f</i>	Peso final

SUMÁRIO

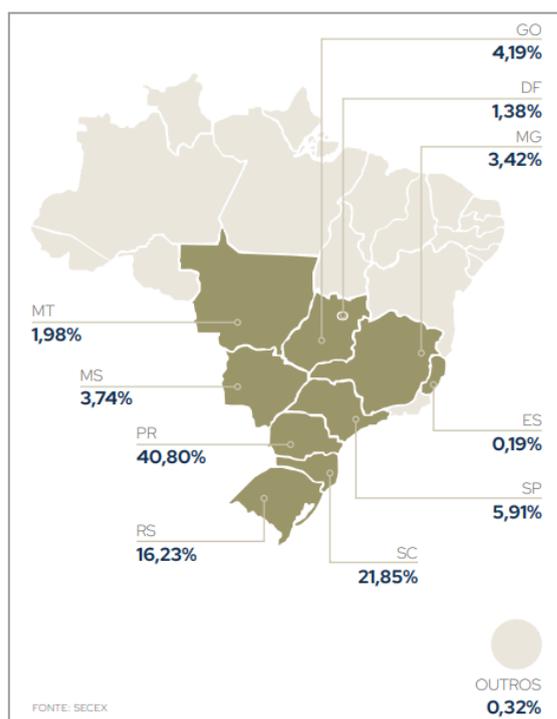
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1 Abate de frangos de corte no Brasil.....	15
3.2 Sistema de pré-resfriamento de carcaças por imersão.....	18
3.2.1 Higienização pré-operacional.....	20
3.2.2 Problemas relacionados ao pré-resfriamento por imersão.....	21
3.2.3 Fatores que influenciam na absorção de água pelas carcaças.....	22
3.2.4 Fatores que influenciam na transferência de calor.....	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 Coleta do material.....	25
4.2 Sistema de pré-resfriamento da planta.....	25
4.3 Análises realizadas.....	31
4.3.1 Análise de temperatura das carcaças.....	31
4.3.2 Análise de temperatura da água de pré-resfriamento.....	32
4.3.3 Análise de absorção de água pelas carcaças.....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
5.1 Descrição de disparidades do processo de pré-resfriamento.....	34
5.2 Análise de temperatura das carcaças.....	36
5.3 Análise de temperatura da água de pré-resfriamento.....	39
5.4 Análise de absorção de água pelas carcaças.....	40
6 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44
APÊNDICES.....	46

1 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de frangos tem como foco principal o mercado interno, o que representa quase 67% da sua produção. Apesar disso, o Brasil ostenta a posição de maior exportador mundial, e o segundo maior produtor, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Ainda, segundo dados do setor divulgados pela Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), no ano de 2022 foram produzidas cerca de 14,5 milhões de toneladas de carne de frango no Brasil.

Os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul lideram, respectivamente, o *ranking* de maiores produtores de frango no país, representando 64,4% do total de abate no país; juntos esses três estados representam quase 79% do total de exportações no país, conforme demonstrado na Figura 1 (ABPA, 2023).

Figura 1 - Exportações de carne de frango por unidade federativa em 2022.



Fonte: ABPA, 2023.

O abate de aves é realizado no Brasil de acordo com o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária dos Produtos de Origem Animal (RIISPOA) e com a Portaria Nº 210, de 10 de novembro de 1998, do Ministério da Agricultura, Pecuária

e Abastecimento (MAPA), com alterações definidas os pela Portaria N° 74, de 07 de maio de 2019, também do MAPA.

O processamento industrial de carcaças de frango compreende diversas etapas comuns em praticamente todos os frigoríficos no país. Essas fases incluem a insensibilização, sangria, escaldagem, evisceração, lavagem, pré-resfriamento, classificação e gotejamento, seguidas pelas etapas de resfriamento ou congelamento, conforme a modalidade escolhida para a entrega do produto no mercado (CARCIOFI; LAURINDO, 2010).

Ao final da fase de evisceração, as aves adquirem uma temperatura significativamente elevada, aproximadamente 40 °C, sendo obrigatório resfriá-las rapidamente para atingir uma temperatura igual ou inferior a 7 °C na etapa de pré-resfriamento (BRASIL, 1998).

Durante o processo de abate, as aves podem perder até 30% do seu peso inicial, distribuídos entre penas, sangue, vísceras e outros, gerando despesas para a indústria. Para compensar essas perdas e também por ser inerente ao processo, a legislação vigente permite que, durante a etapa de pré-resfriamento, ocorra até 8% de absorção de água nas carcaças. Os sistemas permitidos para essa etapa pré-resfriamento são: aspersão de água gelada, imersão em água por resfriadores contínuos tipo rosca sem fim, resfriamento a ar, e outros aprovados pela Divisão de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA). Devido às suas inúmeras vantagens, o sistema de pré-resfriamento por imersão é o mais utilizado no Brasil (CARCIOFI, 2005; BRASIL, 1998).

Enquanto o sistema de pré-resfriamento de frangos por imersão se destaca pela sua eficiência devido às taxas mais elevadas de transferência de calor, o resfriamento por ar resulta em frangos com uma qualidade microbiológica superior, uma vez que minimiza o risco de contaminação cruzada e permite a redução do consumo de água e geração de resíduos pela indústria. Contudo, é importante observar que o processo de resfriamento por ar está associado à perda de peso e ressecamento da carcaça (CARCIOFI e LAURINDO, 2010; JEONG, et al. 2011).

Sendo assim, ao considerar todos os problemas existentes nos equipamentos de pré-resfriamento de aves, com destaque para a falta de controle na absorção de água e na temperatura final da carcaça, uma indústria avícola está desenvolvendo um sistema altamente inovador com o objetivo de tornar a absorção de água pela carcaça um parâmetro controlável. Devido a isso, foi realizado um estudo para

avaliar o equipamento de pré-resfriamento de aves por imersão de um frigorífico localizado no estado do Rio Grande do Sul, verificando a conformidade dos produtos com os padrões estabelecidos pela legislação vigente e, dessa forma, obter os dados que servirão de base para a construção do novo sistema.

Esse novo sistema, sob sigilo tecnológico, promete recuperar economicamente cerca de 17 toneladas de frango por dia, ao controlar a absorção de água em níveis permitidos pela Portaria N° 210 de 1998, do MAPA, além de ampliar locais de mercado onde esse sistema tradicional atualmente não é aceito, como a Europa, por exemplo. Consequentemente, espera-se aprimorar a competitividade da indústria, tanto no cenário nacional quanto internacional, o que representa um avanço em nível global.

Esse documento está estruturado na forma descrita a seguir. O capítulo 2 estabelece os objetivos gerais e específicos do trabalho, e o Capítulo 3 destina-se ao referencial bibliográfico, incluindo aspectos relacionados à indústria de frango de corte, passando pelo fluxograma de produção, e detalhamento dos sistemas de pré-resfriamento de aves. O Capítulo 4 descreve as condições experimentais e as metodologias adotadas para a realização do trabalho. Os resultados e discussões são abordados no Capítulo 5. Por fim, no Capítulo 6, encontram-se as considerações finais e conclusões.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é avaliar o sistema de pré-resfriamento por imersão, em um frigorífico localizado no estado do Rio Grande do Sul, através da obtenção de parâmetros importantes que auxiliarão no desenvolvimento de um projeto inovador de pré-resfriamento de aves, cujos detalhes não podem ser divulgados devido ao sigilo tecnológico.

Os objetivos específicos são:

- realizar uma pesquisa bibliográfica para identificar os problemas existentes no sistema de pré-resfriamento de carcaças por imersão e os principais fatores que interferem na absorção de água;
- avaliar as carcaças conforme as diretrizes estabelecidas pela Portaria N° 210/1998 do MAPA, levando em consideração a temperatura final no centro do peito da ave, o teor de água absorvida durante o procedimento e a temperatura da água nos tanques, e assim, obter os parâmetros necessários para o desenvolvimento de um sistema inovador de pré-resfriamento de aves.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são abordados os principais tópicos relacionados ao abate de frangos de corte, bem como os métodos utilizados para o pré-resfriamento de carcaças. Os pontos levantados servirão de embasamento teórico para a realização das análises do presente trabalho.

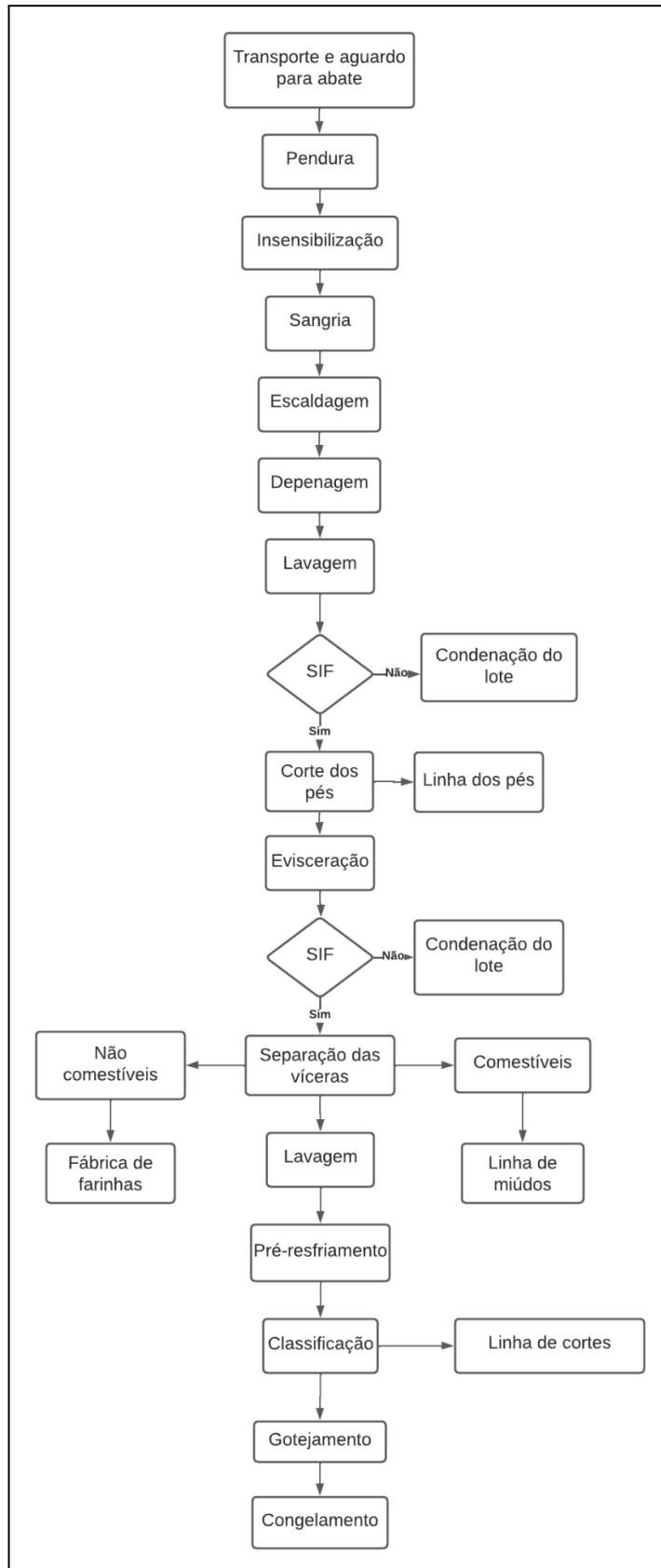
3.1 Abate de frangos de corte no Brasil

A maior parte dos frigoríficos brasileiros adota um procedimento padronizado para o abate de frangos, conforme representado no fluxograma ilustrado na Figura 2.

A primeira etapa do abate de aves ocorre no galpão de espera, onde os caminhões transportadores da matéria-prima aguardam para iniciar o processo, visando diminuir o estresse dos frangos. Este local deve ser bem ventilado, por meio do uso de ventiladores, sendo comum, em algumas indústrias, a utilização de aspersores com água (SANT'ANNA, 2008).

Após o descarregamento, as aves avançam para a fase de pendura, onde são suspensas pelos pés em uma nórea transportadora. Em seguida, são direcionadas para a etapa de insensibilização, que envolve a passagem por um tanque contendo água e corrente elétrica. O propósito dessa fase é induzir a inconsciência das aves, reduzindo o estresse para a etapa subsequente de sangria do processo (SANT'ANNA, 2008).

Figura 2 – Fluxograma do abate de frangos de corte no Brasil.



Fonte: Adaptado SANT'ANNA, 2008.

A carne de aves exportada para nações islâmicas emprega a técnica de abate *Halal*, devendo ser obrigatoriamente identificada na sua embalagem com um selo (Figura 3). Entre as várias normas estabelecidas por essa prática, destaca-se a proibição da etapa de insensibilização ou a permissão de realizá-la com uma corrente elétrica muito reduzida. Isso assegura que o animal permaneça consciente durante a fase de sangria, na qual os frangos têm seus pescoços cortados manualmente, ou automaticamente em abates não *Halal* (HALAL, 2011).

Figura 3 - Selo de identificação de produtos *Halal*.



Fonte: HALAL, 2011.

Após o processo de sangria, a ave, suspensa pelos pés, percorre as nóreas por um período determinado, permitindo que o sangue escorra sobre uma calha. Esta calha coleta o sangue, que é encaminhado para a fábrica de farinha. A etapa subsequente é a escaldagem, na qual a ave é submersa em um tanque de água a uma temperatura entre 50 e 70 °C. Além de realizar uma lavagem preliminar na superfície da ave, essa fase promove o amolecimento das penas, pois a água quente tem a capacidade de abrir os poros da ave, facilitando a etapa de depenagem, conduzida mecanicamente mediante a passagem da ave por dedos giratórios de borracha. Dando sequência ao processo, ocorre mais uma lavagem para diminuir a contaminação microbiana e, então, a evisceração. Dessa forma, a carcaça estará apta para seguir para a etapa de pré-resfriamento, que será detalhada nas próximas seções (SANT'ANNA, 2008).

Ao concluir a fase de pré-resfriamento, as carcaças são retiradas dos tanques e movem-se por uma esteira. Neste ponto, elas passam por um processo de classificação, no qual carcaças com algum tipo de defeito (irregularidades na textura,

cor, integridade estrutural, presença de contusões, cortes inadequados ou qualquer outra anomalia que impeça a venda da carcaça íntegra) são colocadas em caixas plásticas destinadas à sala de cortes. As carcaças restantes são penduradas novamente nas nóreas, seguindo para a etapa de gotejamento, a fim de remover o excesso de água na superfície. A coleta da água é realizada através de uma calha coletora suspensa e disposta ao longo do transportador (BRASIL, 1998).

A próxima etapa compreende o envase das carcaças em embalagens primárias, geralmente sacos plásticos. Após, elas passam pelo detector de metais antes de seguir para o túnel de congelamento. Ao término do processo, as carcaças são embaladas em caixas de papelão e encaminhadas para as câmaras frias do centro de distribuição (BRASIL, 1998).

Durante o processo, são realizadas duas inspeções da carcaça pelo SIF (Serviço de Inspeção Federal): uma após as etapas de depenagem e lavagem, e outra após a evisceração. Essa inspeção envolve um exame visual macroscópico de carcaças e vísceras, e, conforme necessário, palpação e cortes (BRASIL, 1998).

3.2 Sistema de pré-resfriamento de carcaças por imersão

A etapa de pré-resfriamento é definida, conforme a Portaria N° 210 de 1998 do MAPA, como um procedimento para diminuir a temperatura das carcaças de aves, e dessa forma, reduzindo o crescimento microbiano, visando maximizar a segurança do produto e, conseqüentemente, aumentando a vida útil do produto. Essa etapa deve ser realizada imediatamente após as etapas de evisceração e lavagem. São permitidos sistemas que envolvem imersão ou aspensão em água gelada, com ou sem gelo, além da passagem por túneis de resfriamento (BRASIL, 1998; SAMS, 2001).

A maioria dos frigoríficos utiliza o método de pré-resfriamento de carcaças por imersão em tanques com água (RECHE et al., 2011). Esse procedimento, predominante tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos, destaca-se pela eficiência em termos de velocidade em comparação ao resfriamento por ar e evita a desidratação das carcaças, permitindo a absorção de água durante o processamento. No entanto, apresenta desvantagens em termos sanitários, aumentando a possibilidade de contaminação cruzada (CARCIOFI, 2005; CARCIOFI et al., 2010; SAMS, 2001).

O sistema de pré-resfriamento por imersão utiliza tanques nos quais a água gelada é continuamente renovada, fluindo em sentido contrário à entrada das aves, com o objetivo de maximizar a troca de calor e a limpeza das carcaças. Dentro desses tanques, uma rosca do tipo sem fim é responsável pelo deslocamento das carcaças. Após passarem pela lavagem final, as carcaças são descarregadas da nórea, caindo na entrada do pré-*chiller*. Tanto durante as transições de tanques quanto na saída para a área de classificação, a movimentação ocorre por meio de pás fixadas à última volta da rosca (BRASIL, 1998; CARCIOFI, 2005; SAMS, 2001).

A renovação da água deve obedecer a uma proporção mínima de 1,5 litros por carcaça no primeiro estágio e 1 litro no último estágio, sendo possível a adição de cloro na água, com um limite máximo de 5 partes por milhão (ppm) de cloro livre. Geralmente, dois tanques de pré-resfriamento são acoplados, sendo denominados de pré-*chiller* e *chiller*, respectivamente (BRASIL, 1998; CARCIOFI, 2005; SAMS, 2001).

A temperatura da água nos tanques de imersão deve ser monitorada de maneira contínua, não devendo ultrapassar os 16 °C no primeiro estágio e 4 °C no último. No primeiro tanque, a carcaça pode permanecer por no máximo trinta minutos. No que diz respeito à medição da temperatura das carcaças, essa avaliação deve ser feita na parte interna mais profunda do peito do frango, identificada como a região de resfriamento mais lento, e não deve exceder 7 °C ao final do processo. Entretanto, é tolerável uma temperatura de até 10 °C, desde que as carcaças sejam imediatamente congeladas, não podendo ser destinadas para cortes (BRASIL, 1998; JAMES et al., 2006).

A partir do momento em que uma ave é abatida, inicia-se a perda de peso durante o processamento. Nesse contexto, é permitida a hidratação das carcaças durante o pré-resfriamento. O teor de absorção de água pelas carcaças não pode ultrapassar 8% de seu peso antes do pré-resfriamento, e, após essa etapa, as carcaças devem permanecer em gotejamento por pelo menos 3 minutos (BRASIL, 1998; JAMES et al., 2006).

Certos equipamentos possuem um sistema de injeção de ar conhecido como borbulhadores. Esse sistema é composto por entradas localizadas na parte inferior dos tanques, conectadas a uma linha de ar comprimido. Sua finalidade é proporcionar uma agitação mais intensa na água, resultando no aumento da velocidade de resfriamento das carcaças. Dessa forma, a transferência de calor e

massa no produto é ampliada, contribuindo para uma maior absorção de água pelas carcaças (OLIVO, 2006).

Outra possibilidade é a presença de pontos de entrada de gelo no tanque, ou então o equipamento pode ser revestido e preenchido com etilenoglicol ou amônia, com o objetivo de otimizar a eficiência do processo. No entanto, um desafio associado ao uso de gelo é que, frequentemente, devido à baixa agitação do meio, há a tendência de que permaneçam na parte superior do *chiller* devido à sua menor massa específica, dificultando, assim, uma mistura eficaz com a água (CARCIOFI, 2005).

3.2.1 Higienização pré-operacional

Os tanques devem ser esvaziados diariamente no final do último turno para realizar a higienização, conforme orientações da Portaria N° 74 de 2019 do MAPA. O processo de limpeza segue as etapas de preparo do local, aplicação de detergente, limpeza mecânica com escovamento, enxágue, desinfecção e enxágue final. Adicionalmente, uma vez por semana, é necessário realizar uma limpeza mais intensiva, na qual as tubulações de água devem ser desmontadas, sendo a limpeza efetuada com o uso de produto enzimático (BRASIL, 2019; CONTRERAS et al., 2002).

A etapa de preparo do local deve começar somente quando não houver mais nenhum produto sendo processado e consiste na organização dos materiais e no recolhimento de resíduos de produtos presentes nas máquinas ou no chão. Durante essa etapa, é realizado um pré-enxágue inicial utilizando água sob pressão, com controle de temperatura entre 37 °C e 60 °C. É fundamental observar que uma temperatura superior a 60 °C pode causar a coagulação das proteínas, aumentando a aderência das sujeiras, enquanto uma temperatura abaixo de 35 °C dificulta a remoção de gorduras (SILVA et al. 2010).

A próxima etapa consiste na aplicação do detergente, geralmente alcalino, que é o mais indicado para a remoção de proteínas e gorduras, sendo distribuído nas superfícies com o auxílio de um gerador de espuma, permanecendo por tempo suficiente para assegurar sua eficácia. Além disso, dado que as paredes dos tanques podem acumular incrustações de matéria orgânica, a remoção desses

resíduos deve ser realizada mediante o uso de esfregões, vassouras, raspadores ou até mesmo equipamentos de alta pressão (SILVA et al. 2010).

A etapa de enxágue visa remover o composto sujeira-detergente e as sujidades ainda aderidas na superfície, por meio de ação mecânica provocada pela pressão da água em temperaturas entre 36 e 60 °C. Essa etapa é de extrema importância por dois motivos: primeiro, após o enxágue, é possível visualizar sujidades restantes, podendo ser necessário realizar uma nova aplicação de detergente; segundo, os resíduos de detergente devem ser removidos, pois podem reagir com o desinfetante a ser aplicado, tornando-o ineficaz (SILVA et al. 2010).

A etapa seguinte é a desinfecção, que tem como objetivo reduzir a contagem de microrganismos com o auxílio de desinfetantes. Por fim, é realizado o enxágue final com água à temperatura ambiente, visando a eliminação de todo e qualquer resíduo do desinfetante para evitar risco de contato com o alimento (SILVA et al. 2010).

3.2.2 Problemas relacionados ao pré-resfriamento por imersão

As carcaças submersas no *chiller* tendem a agrupar-se no fundo do equipamento, formando um bloco volumoso devido ao atrito gerado pela rosca sem fim, que gira em uma direção ao longo do equipamento. Essa formação cria obstáculos à circulação da água, reduzindo a área de contato com as carcaças e comprometendo a eficiência na transferência de calor (CARCIOFI, 2005).

Ainda, a formação de blocos e o fato de a rosca sem fim cobrir grande parte da área perpendicular ao fluxo de água criam um caminho preferencial com maior velocidade de escoamento na lateral do equipamento do que no centro, resultando em uma zona de estagnação para o escoamento de água fria no bloco de carcaças, diminuindo significativamente a eficiência do equipamento (CARCIOFI, 2005).

Apesar da eficácia na redução de bactérias superficiais, o pré-resfriamento por imersão com água apresenta desafios. A baixa temperatura impede a multiplicação bacteriana, resultando em carcaças com carga bacteriana mais baixa devido ao efeito de lavagem. No entanto, o amplo contato entre as aves na água pode aumentar o potencial de propagação de bactérias entre as carcaças nos tanques, causando contaminações cruzadas. Essa situação contrasta com os resfriadores por ar, onde as carcaças estão mais isoladas. Devido a essa dinâmica, alguns países,

como os europeus, impõem restrições comerciais a nações que utilizam sistemas de pré-resfriamento por imersão (SAMS, 2001).

Por fim, um outro desafio relevante está relacionado ao tempo de retenção variável das carcaças no equipamento, devido à permanência de algumas em regiões estagnadas. A operação da rosca sem fim não garante um contato uniforme com todas as carcaças, resultando em uma passagem mais rápida para algumas em comparação com outras no sistema (CARCIOFI, 2005).

3.2.3 Fatores que influenciam na absorção de água pelas carcaças

Entende-se como absorção de água a porcentagem de água incorporada pelas carcaças durante o processo de pré-resfriamento, uma vez que o percentual de água absorvido em outras etapas é tão insignificante que pode ser negligenciado. Diversos fatores podem influenciar a absorção de água pela carcaça, sendo os mais relevantes: temperatura da água, tempo de retenção, tipo de corte abdominal, injeção de ar no sistema, tamanho da carcaça, sexo e idade da ave, dieta, método de pendura na nórea de gotejamento (asa, perna ou pescoço), espessura de pele e quantidade de gordura (BRASIL, 1998; KATZ; DAWSON, 1964).

A temperatura da água impacta diretamente a absorção de água pela carcaça, de forma que temperaturas mais altas resultam em maior absorção, pois, se a água estiver fria, os poros da superfície da ave se fecham, impedindo a absorção. Além disso, à medida que a temperatura da carcaça diminui, os lipídios dos tecidos solidificam, criando uma barreira que impermeabiliza a carcaça contra a absorção de água durante o pré-resfriamento. Estudos indicam que no pré-*chiller*, devido à sua temperatura de processo ser mais elevada, ocorre cerca de 60% da absorção de água durante o pré-resfriamento (LÓPEZ, 2006; SAMS, 2001).

A profundidade da imersão da carcaça também está relacionada à absorção de água, pois carcaças em maiores profundidades resultam em uma pressão mais elevada sobre a superfície da carne. Esse aumento no gradiente de pressão hidrostática propicia um maior fluxo de água através dos poros da carne. Além disso, a discrepância na absorção de água entre carcaças mantidas em diferentes níveis diminui ao longo do tempo, sugerindo dois estágios distintos de absorção: inicialmente, o preenchimento dos poros até a superfície impulsionado pelo

mecanismo de pressão hidrostática, seguido pela penetração da água para dentro da carcaça por meio do mecanismo de pseudodifusão (CARCIOFI, 2005).

Um estudo conduzido por Sant'Anna (2008), sobre os fatores impactantes na temperatura e absorção de água por carcaças em um *chiller* industrial, mostrou que carcaças com menor massa inicial têm uma tendência maior à absorção de água, devido à maior superfície de contato entre os poros das carcaças e a água. Portanto, é recomendável controlar as variáveis do processo de pré-resfriamento ao lidar com carcaças de peso médio reduzido durante o abate.

3.2.4 Fatores que influenciam na transferência de calor

Os meios, representados pela carcaça submersa na água e pela água, encontram-se em diversas temperaturas dentro do *chiller*. Isso propicia a ocorrência de transferência de calor por convecção, onde o fluido em movimento troca calor com a superfície do sólido. Portanto, quanto mais intensa for essa movimentação ou quanto maior for a área de contato entre os dois meios, mais eficiente será o processo (CARCIOFI, 2005).

Conforme a Lei de Newton do resfriamento, a taxa de transferência de calor é proporcional à área de troca térmica e ao coeficiente de transferência de calor convectivo. Este último depende, por sua vez, da geometria do sistema, do fluxo do fluido e das propriedades termodinâmicas e de transporte dos fluidos (INCROPERA; DE WITT, 1998). Como mencionado anteriormente, a agitação do meio aumenta o coeficiente de transferência de calor convectivo.

Paolazzi et al. (2013) concluíram que os gradientes de temperatura foram mais acentuados nas zonas iniciais dos resfriadores, principalmente no pré-*chiller*, e as taxas de troca de calor diminuem à medida que a carcaça progredia em cada sistema. Além disso, foi relatado que o tempo de imersão, o número de turbinas utilizadas para a injeção de ar e as interações entre o intervalo de tempo de adição de gelo e o tempo de imersão exerceram influência significativa na temperatura da carcaça na saída do pré-*chiller*.

Sabe-se também que as carcaças liberam calor por convecção para o meio circundante, e à medida que a temperatura da superfície das aves diminui, a diferença de temperatura entre o sólido e o meio também é reduzida, resultando em uma diminuição progressiva na taxa de transferência de calor. Essa tendência se

aproxima de zero. Por esse motivo, as carcaças precisam passar por mais de um tanque, onde a temperatura é mais baixa, assegurando, assim, a continuidade eficiente do processo (CARCIOFI, 2005).

Além disso, o calor também deve atravessar a carne da carcaça, removendo o calor do interior, e para isso, a transferência de calor por condução também deve ser analisada em conjunto com a transferência convectiva, como descrito por Carciofi (2005). A resistência condutiva no tecido animal é significativa devido aos baixos valores de condutividade térmica nas carnes, sendo de aproximadamente 0,4 W/m.K, e pelo alto teor de gordura nas carcaças de frango atuarem como um isolante térmico (ASHRAE, 1989; PEREIRA, 2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um frigorífico de aves, sob fiscalização do Sistema de Inspeção Federal (SIF), localizado no estado do Rio Grande do Sul, durante o mês de outubro de 2023, com temperaturas médias ambientais variando entre 16 e 25 °C. Esse abatedouro opera em três turnos de produção, possuindo duas linhas de abate, capacidade média de 380 toneladas de aves por dia da linhagem *griller*, com peso médio de 1.250 g. É relevante destacar que a produção é destinada à exportação para o Oriente Médio, sendo adotado o método de abate *Halal*.

4.1 Coleta do material

Foram coletadas um total de 40 carcaças de aves durante um período de 8 dias, contabilizando uma amostragem de 5 carcaças por dia. Essas carcaças foram removidas diretamente da nórea transportadora da área de evisceração, antes de caírem na entrada do pré-*chiller*, e cada uma delas recebeu um lacre numerado, acondicionadas em caixas de isopor para iniciar as análises.

4.2 Sistema de pré-resfriamento da planta

A planta possui três sistemas de pré-resfriamento por imersão, sendo que dois deles são destinados à mesma linha de abate. Nessa configuração, as carcaças que descem da nórea são divididas, com metade delas direcionadas para cada sistema. Cada sistema é composto por um tanque pré-*chiller* e um *chiller*, com renovação contínua da água, conforme as diretrizes estabelecidas pela Portaria N° 210 de 1998 do MAPA. A Figura 4 ilustra o tanque pré-*chiller*.

Figura 4 - Tanque de pré-resfriamento de carcaças pré-chiller.

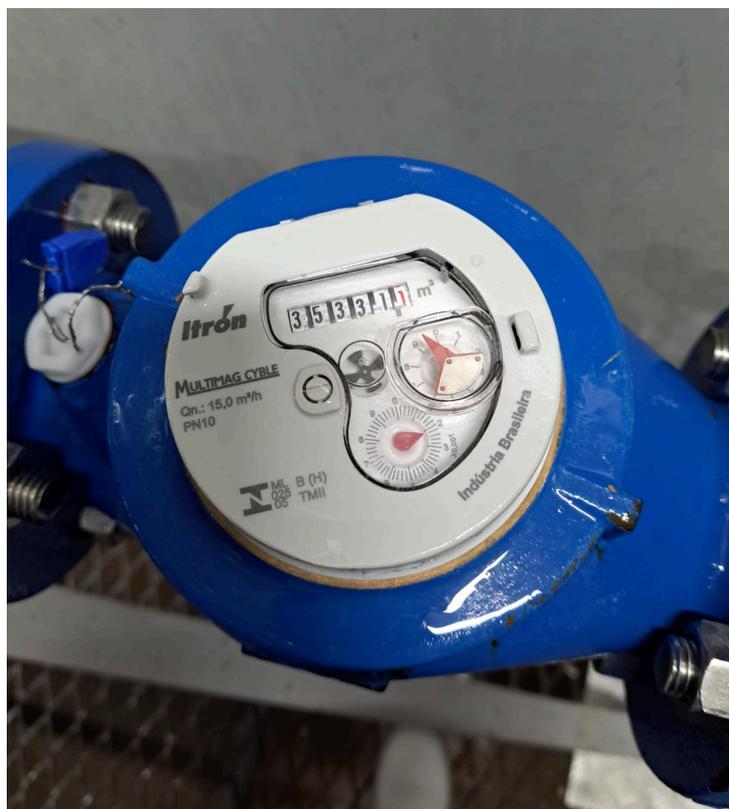


Fonte: Autora, 2024.

Os tanques são esvaziados diariamente no final do último turno (Turno 3) para realizar a higienização pré-operacional, conforme apresentado na seção 3.2.1. Adicionalmente, o sistema *zig-zag cooler* e suas peneiras de filtração também passam por limpeza diariamente, com suas laterais abertas, seguindo as mesmas etapas descritas nesta seção.

Posteriormente, no início do próximo turno, os tanques são novamente preenchidos com água, proveniente da rede de fornecimento, sendo hiperclorada, com concentração variando entre 0,2 e 5,0 ppm, cujo valor depende do mercado de destino do produto. A renovação da água no sistema de pré-resfriamento deve ser contínua, conforme a proporção estabelecida pela Portaria N° 210 de 1998, controlada por leitura dos hidrômetros (Figura 5) em relação à velocidade de abate. Utiliza-se água gelada com temperatura máxima de 2,0 °C e gelo proveniente das máquinas de gelo. A água utilizada na produção do gelo também é proveniente da rede de fornecimento e já está hiperclorada. A quantidade de gelo não está definida no manual técnico de processamento da indústria, devendo ser adicionada e controlada de acordo com a temperatura da água dos tanques, conforme o procedimento que será descrito a seguir. Além disso, há um sistema de resfriamento de água por meio de trocadores de calor, que também será detalhado mais à frente.

Figura 5 - Hidrômetros para controle da proporção água:carcaça nas entradas de água nos tanques.



Fonte: Autora, 2024.

O sistema de pré-resfriamento é supervisionado por colaboradores treinados, responsáveis por realizar a leitura do indicador de temperatura da água do tanque a cada duas horas e registrar esses dados em uma planilha. Os termômetros estão posicionados na entrada das carcaças no pré-*chiller* e na saída das carcaças no *chiller*. Caso as temperaturas não estejam de acordo com o permitido pela Portaria N° 210 do MAPA, devem ser tomadas algumas ações corretivas pré-estabelecidas:

- adicionar mais gelo no sistema;
- aumentar a taxa de renovação da água gelada;
- realizar a manutenção do *zig-zag cooler* se for constatado algum problema no equipamento;
- realizar o monitoramento da temperatura dos produtos na saída do *chiller* em questão;
- realizar a leitura da temperatura em até 30 minutos após a correção para certificar-se de que o problema foi solucionado.

Além disso, para manter o bom funcionamento dos equipamentos de pré-resfriamento, a empresa adota algumas medidas preventivas:

- manutenção preventiva dos sistemas de pré-resfriamento ou máquinas de gelo, quando ocorre falha nos equipamentos;
- calibração dos equipamentos de medição para garantir a assertividade da medição;
- treinamento dos operadores, quando há falha na operação.

Devido à persistência de contaminações cruzadas na linha de injeção de ar, os borbulhadores dos tanques foram desativados por determinação do SIF, sendo soldados, conforme observado na Figura 6.

Figura 6 - Soldagem para desativação da linha de injeção de ar.



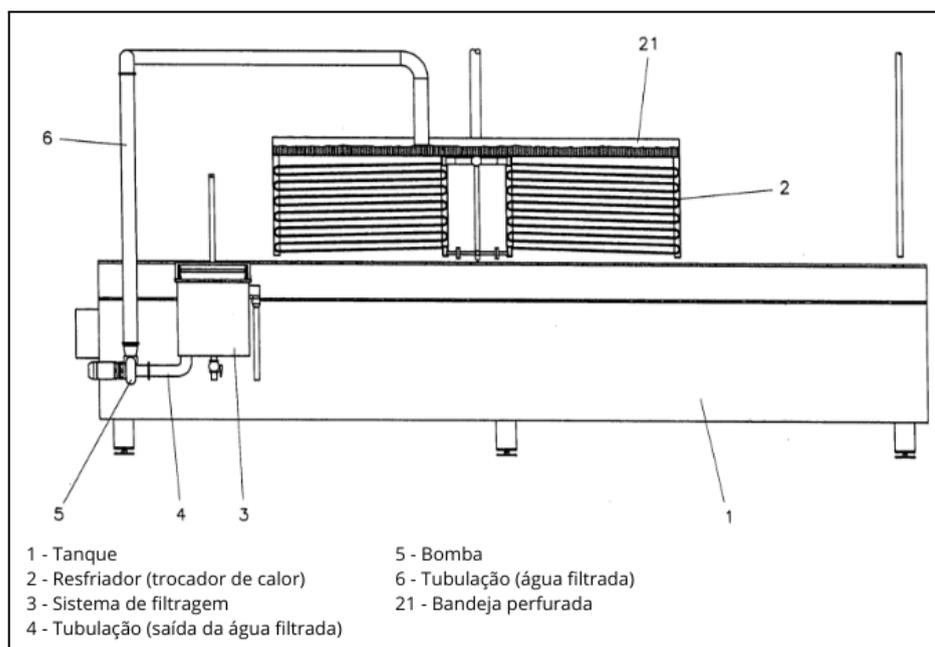
Fonte: Autora, 2024.

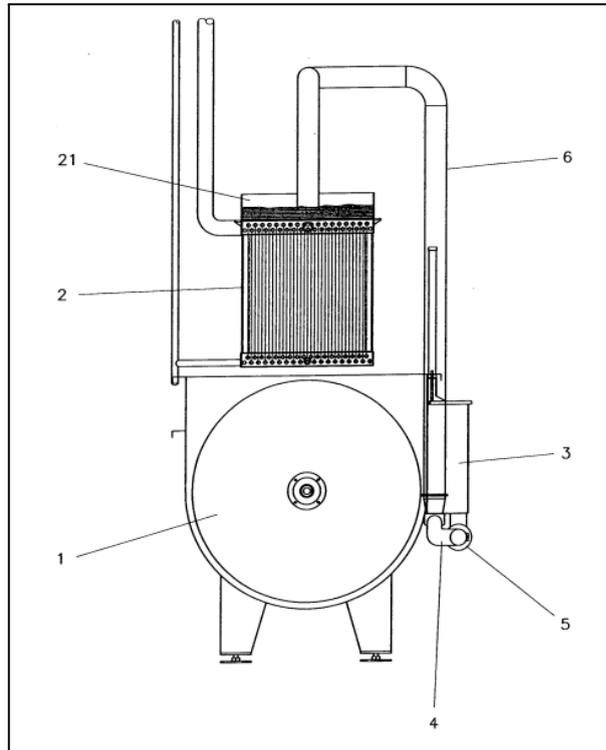
A principal distinção desse sistema em relação ao descrito anteriormente (item 3.2) reside no emprego de um trocador de calor patenteado, conhecido como *zig-zag cooler*, responsável pelo resfriamento da água do tanque. Dessa forma, cada sistema de pré-resfriamento possui dois desses trocadores de calor, posicionados na parte superior do pré-*chiller* e do *chiller*. A utilização desse tipo de trocador de calor viabiliza a eliminação do uso de gelo, resultando em uma economia significativa de energia para a unidade. Além disso, a utilização de gelo causa um resfriamento indireto das carcaças, pois ocorre transferência de calor do gelo para o líquido intermediário e da água para as carcaças, e como cada uma dessas etapas de

transferência possui o seu próprio fator de rendimento, o rendimento final é bastante baixo (CONTE, 2006).

O equipamento, representado nas Figuras 7 e 8, consiste em um bloco resfriador de água que opera por meio da compressão de amônia a 0 °C. A amônia percorre o interior dos tubos de uma serpentina, operando em um sistema fechado. Durante esse processo, a água é coletada no ponto de saída nos tanques de pré-resfriamento e passa por um processo de filtragem com uma peneira rotativa, responsável por remover sobrenadantes e excesso de gordura. Posteriormente, a água é bombeada para o interior do resfriador. Ao adentrar, ela cai em uma bandeja perfurada, garantindo uma distribuição uniforme ao longo de toda a serpentina e, por fim, atinge o interior do tanque de pré-resfriamento de aves, caindo no ponto de entrada de água (CONTE, 2006).

Figura 7 - Vistas do sistema de resfriador de água zig-zag cooler acoplado na parte superior do tanque resfriador de carcaças.





Fonte: CONTE, 2006.

Figura 8 - Trocador de calor para resfriamento de água (zig-zag cooler).



Fonte: Autora, 2024.

Por fim, é importante ressaltar que a velocidade de abate da planta é ajustada de maneira a garantir que o tempo máximo de permanência das carcaças nos tanques de pré-*chiller* não ultrapasse 30 minutos. Não é permitida a retenção de carcaças nos tanques durante os intervalos de trabalho, sendo programados de forma intercalada entre os setores de abate e embalagem.

Para monitorar o tempo de permanência das carcaças nos tanques, a cada turno é recolhida uma amostra identificada por meio de um lacre plástico. Essa amostra é colocada no interior do tanque, e seu trajeto até a saída do *chiller* é acompanhado por meio de um cronômetro.

4.3 Análises realizadas

Os experimentos foram conduzidos em dois turnos distintos de operação na indústria, especificamente nos turnos da manhã (Turno 1, das 6h10min às 14h30min) e da tarde (Turno 2, das 14h às 22h17min).

4.3.1 Análise de temperatura da carcaça

Utilizando um termômetro do tipo espeto (modelo AKSO AK-08), realizou-se a medição da temperatura na região de resfriamento mais lento da carcaça, ou seja, no centro do peito da ave, antes de entrar no pré-*chiller*, conforme ilustrado na Figura 9. Posteriormente, a carcaça foi colocada no tanque, sendo novamente medida na saída do pré-*chiller* após um período de aproximadamente 15 minutos. Em seguida, a carcaça foi acondicionada em uma caixa de isopor, aguardando-se um período de 10 minutos dentro da caixa para que a temperatura no centro da carcaça se estabilizasse, momento em que uma nova medição foi realizada.

Figura 9 - Medição da temperatura no ponto mais quente da amostra identificada com lacre.



Fonte: Autora, 2024.

Após, a carcaça foi levada para o tanque *chiller*, aguardando-se um tempo médio de 45 minutos, que representa o tempo médio de retenção no equipamento. Posteriormente, a amostra foi coletada na área de classificação, repetindo-se o procedimento de mensuração de temperatura descrito anteriormente para o *pré-chiller*.

4.3.2 Análise de temperatura da água dos tanques

A temperatura da água dos tanques foi medida logo após a coleta das amostras com o auxílio de uma haste longa de aço inoxidável equipada com o termômetro do tipo espeto (modelo AKSO AK-08), fixado por um lacre em sua extremidade. Este instrumento foi inserido nos seguintes pontos: entrada das carcaças no *pré-chiller* e saída das carcaças no *chiller*.

Dessa forma, procedeu-se à medição de temperatura em cada experimento nos pontos mencionados. Por questões de segurança, conforme orientações obtidas em treinamentos ministrados pela equipe de segurança do trabalho, essa medição foi restrita à superfície do tanque. Isso se deve ao elevado risco de queda no tanque, o que poderia resultar em afogamentos e esmagamentos pela rosca sem fim. Adicionalmente, devido ao difícil acesso para inserir a haste na água, aliado ao risco de rompimento do lacre do termômetro e à possível perda do instrumento no tanque, foi realizada apenas uma medição por dia em cada ponto.

4.3.3 Análise de absorção de água pelas carcaças

As amostras anteriormente empregadas na medição da temperatura das carcaças foram também submetidas à pesagem em uma balança industrial de 20 kg, nos três pontos de coleta designados (entrada e saída do pré-*chiller*, e na saída do *chiller*), com a finalidade de determinar a absorção de água pelas carcaças.

Assim, ao serem removidas dos tanques, as carcaças com lacre foram separadas pelos colaboradores na etapa de classificação e cuidadosamente secas com papel toalha, com o objetivo de eliminar o excesso de água que estava presente em sua superfície e cavidade. Esse procedimento foi realizado obrigatoriamente com a finalidade de evitar que, após a fase de gotejamento, que acontece na sequência da etapa de classificação, as carcaças com lacre seguissem para a etapa de embalagem.

Utilizou-se uma balança de bancada de aço inoxidável (linha *Standard* da marca *Digi-tron*) para a determinação dos pesos iniciais (P_i) e pesos finais (P_f) nas diferentes etapas (entrada do pré-*chiller*, saída do pré-*chiller* e saída do *chiller*). Isso possibilitou a determinação da absorção de água no pré-*chiller*, no *chiller* e absorção de água total, com o cálculo realizado utilizando a Equação 1.

$$\text{Absorção de água} = \frac{(P_f - P_i) * 100}{P_i} \quad (1)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo aborda os resultados obtidos no presente trabalho. Inicialmente, será apresentada uma descrição dos principais problemas enfrentados durante a execução dos experimentos. Posteriormente, dados referentes ao peso e temperatura das carcaças serão apresentados e discutidos. Os valores obtidos para os pesos, as temperaturas e a absorção de água das carcaças durante o pré-resfriamento, bem como a temperatura da água na entrada das carcaças no pré-*chiller* e saída delas no *chiller*, estão dispostos nos Apêndices A e B.

Adicionalmente, foram empregados os Apêndices C, D e E para a elaboração de gráficos ao longo do estudo, abordando, respectivamente, as médias e desvio padrão da temperatura das carcaças, do peso das carcaças, e da absorção de água pelas carcaças.

5.1 Descrição de disparidades do processo de pré-resfriamento

Durante a realização dos experimentos, foram identificadas diversas disparidades nas práticas de operação entre os responsáveis pelo equipamento de pré-resfriamento e o controlador da área de evisceração.

Ao longo dos dias de realização dos testes, constatou-se que as carcaças provenientes da etapa de evisceração apresentavam diferentes temperaturas e comprimentos de pescoço, indicando a ausência de um padrão operacional consistente durante os dias. Essas variações são conhecidas por influenciar significativamente a absorção de água e temperatura final do produto.

Adicionalmente, observou-se que as paradas de intervalo para o almoço entre as áreas de evisceração e classificação (pós pré-resfriamento) ocorriam em horários diferentes, com evisceração parando primeiro e, em seguida, a classificação. Esse procedimento resultava na retenção das carcaças nos tanques durante todo esse período, contribuindo consideravelmente para um aumento da quantidade de água absorvida, além de ultrapassar o tempo máximo permitido pela legislação para permanência no primeiro tanque.

Ainda, foi identificada variação considerável na temperatura da água dos *chillers* durante os dias de teste, e essa condição está diretamente atrelada ao controlador responsável pelo ajuste da temperatura. Em muitos dias, observou-se

que houve esquecimento na adição de gelo ao sistema por parte do controlador. É importante ressaltar que, mesmo com a introdução de um equipamento destinado a substituir o gelo, ele continua sendo empregado na unidade. Foi constatado que houve um impacto negativo na temperatura final do produto nos dias em que o gelo não foi adicionado.

Além disso, como foi descrito na seção 4.2, o procedimento para correção da temperatura da água dos tanques é a observação visual da leitura dos sensores de temperatura acoplados em pontos no interior do tanque em um painel na sala de pré-resfriamento. No entanto, foi observado que esses sensores estavam apresentando problemas na sua calibração, apresentando valores de temperatura impossíveis fisicamente para água no estado líquido (temperatura menor do que 0 °C), conforme a Figura 10.

Figura 10 - Painel de visualização da temperatura em um dos dias de experimento.

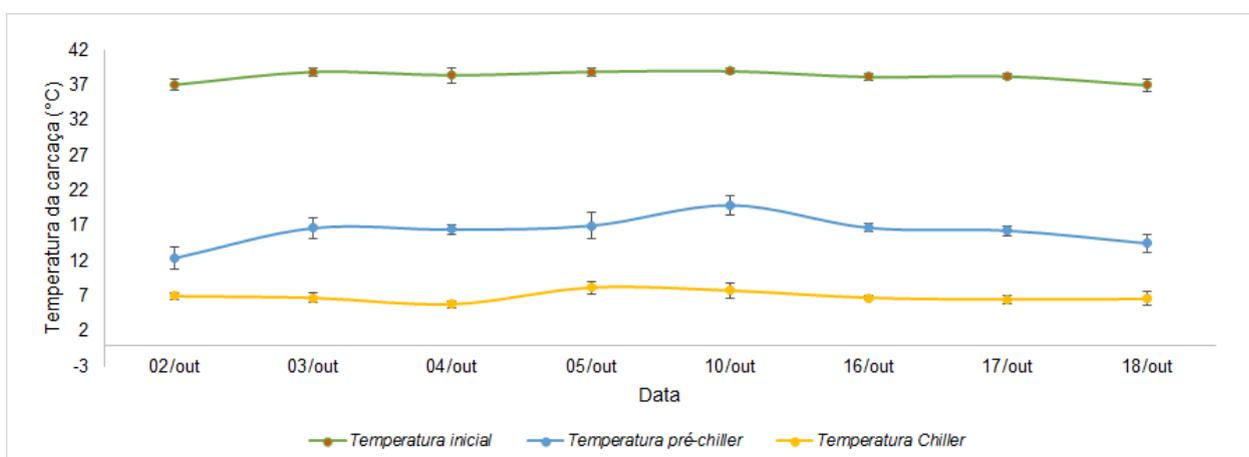


Por fim, a ausência de borbulhadores nos tanques da planta compromete diretamente a eficiência do resfriador, conforme apresentado na seção 3.2.

5.2 Análise de temperatura das carcaças

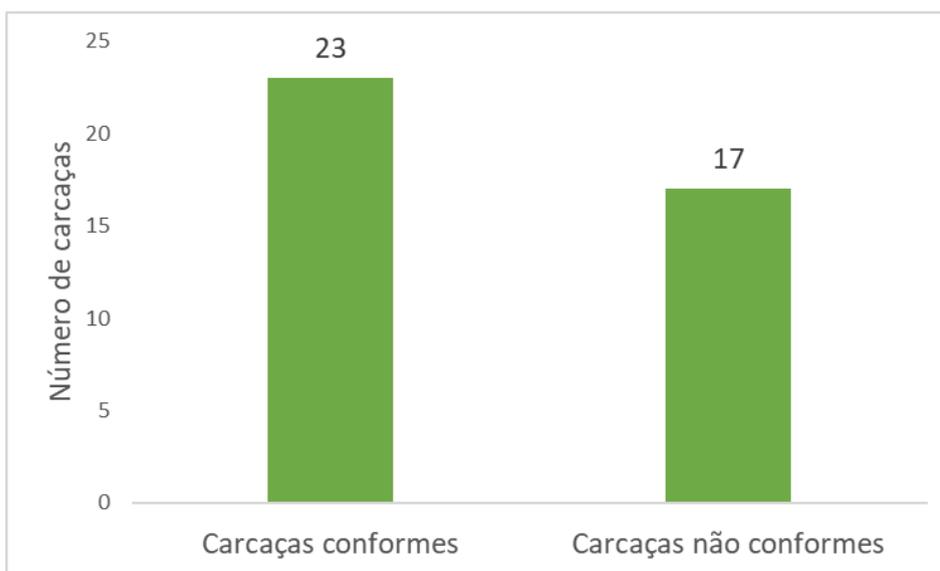
As temperaturas médias finais, obtidas após o processo no tanque de *chiller* e medidas no centro do peito das carcaças, não estiveram em conformidade com a Portaria N° 210 de 1998 do MAPA em dois dias (5 e 10 de outubro), registrando valores médios acima de 7 °C, como pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11 – Variação da temperatura no centro do peito da carcaça (°C) ao longo dos dias de experimentos, comparados na entrada e saída do pré-*chiller* e na saída do *chiller*.



Ao analisar as observações anotadas durante os dias de experimento, é possível associar os dois dias, 5 e 10 de outubro, à falta de alimentação de gelo no equipamento, deixando a temperatura da água mais elevada nos tanques. Nos outros dias em que foi utilizado gelo na água, observou-se uma temperatura média final da carcaça mais baixa.

Além disso, constatou-se que 42% das amostras analisadas durante o teste não estavam em conformidade com a mesma Portaria, uma vez que apresentaram temperatura superior a 7 °C, como evidenciado na Figura 12, que mostra o número de carcaças conformes e não conformes.

Figura 12 - Amostras conformes e não conformes quanto à temperatura.

Conforme o Apêndice A, a temperatura mais baixa na saída do *chiller* foi de 5,1 °C, enquanto a mais alta atingiu 9,6 °C, resultando em uma média de $6,9 \pm 0,7$ °C, indicando ineficácia do sistema de pré-resfriamento.

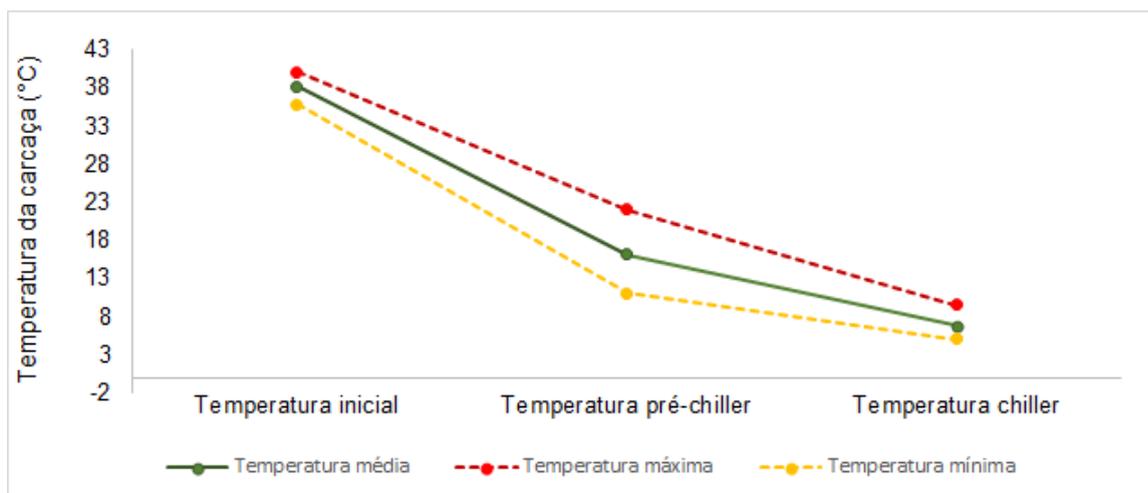
Durante a análise dos dados, notou-se que os desvios padrões mais elevados foram observados na fase do pré-*chiller*, na qual as temperaturas médias atingiram 16,2 °C. Esse desvio padrão médio, calculado em 1,2 °C, indica uma maior variabilidade ou dispersão em relação à média nessa etapa específica do processo, sugerindo uma considerável amplitude nas temperaturas durante a fase do pré-*chiller*, o que pode ter implicações para a estabilidade ou controle térmico desse componente do sistema.

Além disso, é relevante salientar que, mesmo em um dia em que ocorreu uma anomalia no sistema do *zig-zag cooler*, ocasionado por uma baixa vazão de água, possivelmente devido a obstruções no sistema de filtragem ou entupimento na bandeja perfurada, o processo de pré-resfriamento permaneceu inalterado, mantendo uma temperatura média inferior a 7 °C. Também, nesse dia, observou-se a menor temperatura da água registrada. Uma das hipóteses é a maior atenção do operador em manter temperaturas mais baixas, reduzindo a temperatura da água e aumentando a proporção de gelo adicionado ao sistema.

Quanto às temperaturas médias na entrada do *chiller*, pode-se concluir que há uma uniformidade, cujo valor médio foi $38,2 \pm 0,7$ °C, indicando consistência nas temperaturas médias aplicadas durante a etapa de escaldagem, seguida de lavagem

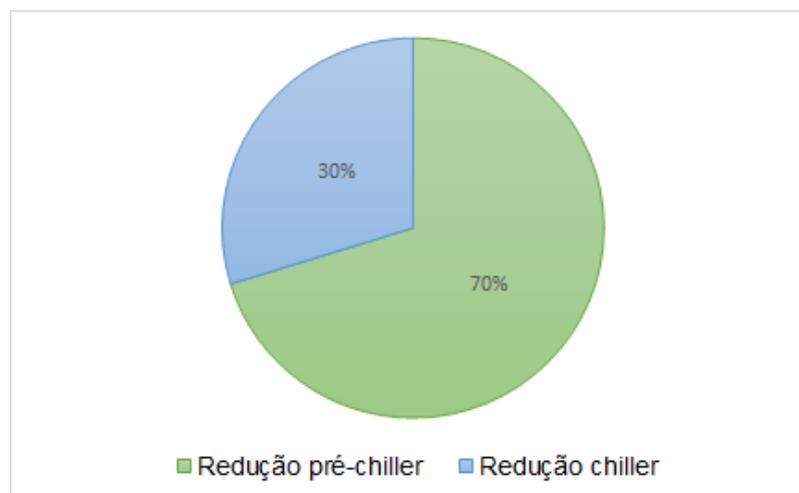
com água fria, durante os dias de experimento. A partir da média entre os valores médios das temperaturas das carcaças dispostos no Apêndice C, durante os oito dias de experimento, observa-se na Figura 13 a redução da temperatura média das carcaças conforme avançam pelos tanques.

Figura 13 - Temperatura média da carcaça (°C) ao longo do *chiller* durante os 8 dias de experimento.



A partir dos dados obtidos, também foi possível concluir que, em média, 70% da redução da temperatura da carcaça ocorre no pré-*chiller* (Figura 14), o que está de acordo com o estudo conduzido por Paolazzi et al. (2013). Esses pesquisadores afirmaram que, nessa região, os gradientes de temperatura são mais acentuados e as taxas de calor diminuem à medida que a carcaça avança pelos tanques.

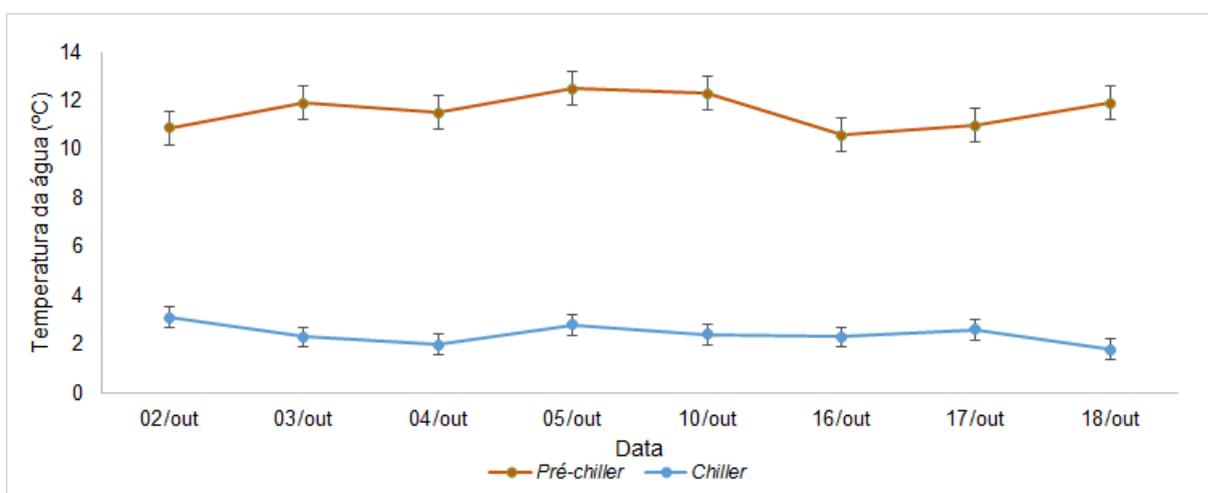
Figura 14 - Média da redução de temperatura das carcaças que ocorre no pré-chiller e no chiller.



5.3 Análise de temperatura da água de pré-resfriamento

A Figura 15 mostra a variação da temperatura da água no pré-chiller e no chiller durante os dias de amostragem das carcaças. Ao analisar os dados, constatou-se que os mesmos estão em conformidade com a legislação vigente, pois em nenhum dia da pesquisa, a temperatura da água no pré-chiller excedeu os 16 °C, bem como os 4 °C no chiller. As temperaturas médias da água foram de 11,6 °C \pm 0,7 °C na entrada das carcaças no pré-chiller e de 2,4 °C \pm 0,4 °C na saída das carcaças no chiller.

Figura 15 - Temperatura da água (°C) no pré-chiller e no chiller durante os dias de experimento.

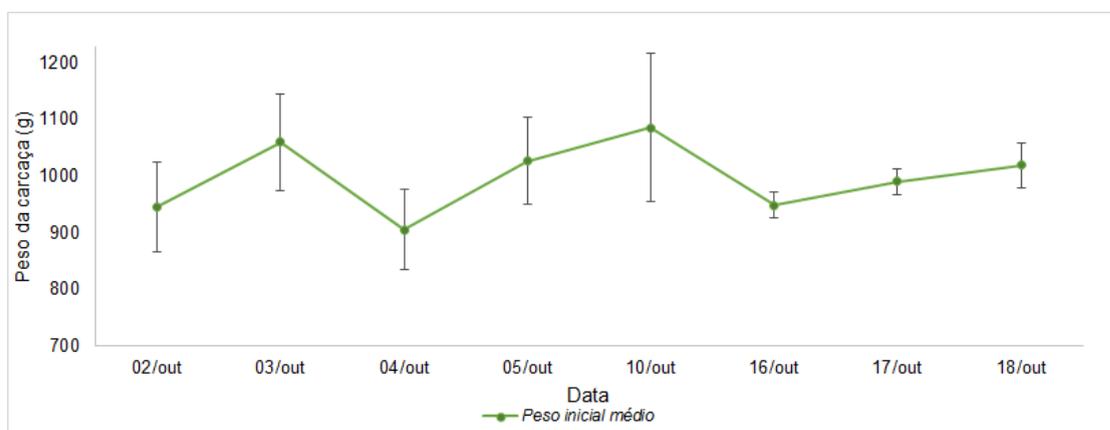


Ao comparar os dados de índices de absorção de água pela carcaça com os de temperatura da água nos tanques, não é viável validar as conclusões apresentadas por Sams (2001), o qual afirmou que quanto maior for a temperatura da água, maior será a absorção de água pela carcaça. Isso se evidencia pelo fato de que, no dia em que a temperatura da água atingiu o ponto mais baixo no pré-chiller, registrou-se uma menor absorção média de água; no entanto, em dias em que a temperatura do pré-chiller esteve mais alta, o resultado médio de absorção de água não foi maior, conforme esperado. As causas para isso não foram identificadas.

5.4 Análise de absorção de água pelas carcaças

A Figura 16 apresenta os pesos iniciais médios das carcaças ao longo dos dias de experimento. Observa-se uma considerável variabilidade nos pesos dos lotes de carcaças recebidos ao longo dos dias em que os experimentos foram conduzidos. Esses pesos oscilaram entre 807 e 1.263 g, com uma média registrada de $997,9 \text{ g} \pm 66,1 \text{ g}$, conforme detalhado no Apêndice D.

Figura 16 - Pesos iniciais médios (g) das carcaças ao longo dos dias de experimento.

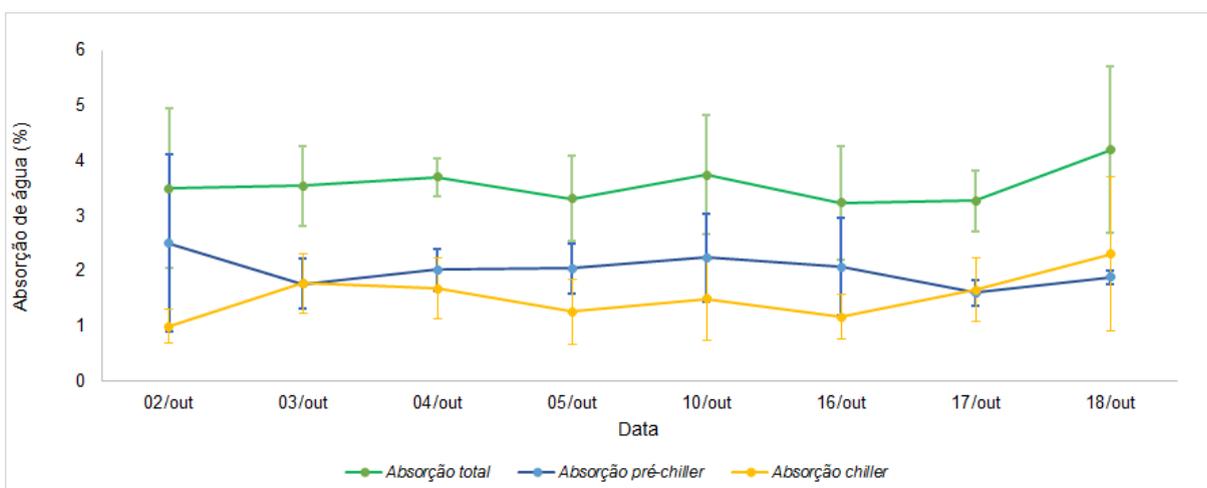


Essa diferença nos pesos iniciais das carcaças exerce um impacto direto nos processos de troca de calor e absorção de água, influenciando a eficiência do pré-resfriamento e, assim, afetando a uniformidade do processo e comprometendo a qualidade final do produto.

A Figura 17 apresenta os resultados da absorção média de água pelas carcaças. Verifica-se que a absorção de água pela carcaça manteve-se em conformidade com a legislação em todos os dias em que a análise foi conduzida,

pois ficou abaixo de 8%. Contudo, esse parâmetro revelou-se altamente variável, variando entre 2,0% e 6,6% (dados dispostos nos Apêndice A e E), com uma média de $3,6\% \pm 0,9\%$. É importante destacar que os experimentos foram interrompidos de maneira sistemática diante de quaisquer irregularidades, como o funcionamento de apenas um *chiller* ou paradas durante os intervalos. Tais eventos poderiam impactar os resultados, e, portanto, os dados referentes a esses dias foram descartados.

Figura 17 - Absorção média de água (%) pelas carcaças durante os dias de experimento.



A falta de uniformidade na absorção de água pelas carcaças representa fator que resulta em uma considerável perda econômica para o frigorífico. Do ponto de vista financeiro e legal, a empresa deixa de ganhar, em média, 4,4% do peso por carcaça, o que, considerando a capacidade da planta em questão, se traduz em uma perda de quase 17 toneladas de frango por dia. É sabido que o sistema atual de pré-resfriamento por imersão não permite um controle preciso desse parâmetro devido a diversas problemáticas, conforme apresentado na seção 3.2. Dessa forma, se algum fator for alterado (como aumento da temperatura do pré-*chiller*, instalação de borbulhadores, mudança no tipo de corte abdominal, entre outros) visando aumentar a absorção, esse aumento não será uniforme, e algumas carcaças irão ultrapassar o limite de absorção permitido, podendo resultar em descumprimento da legislação vigente, acarretando em punições.

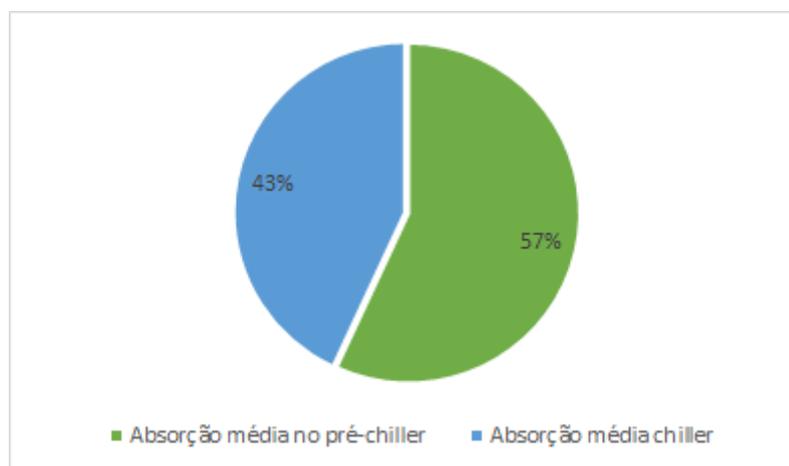
Por esse motivo, a empresa objeto deste estudo está desenvolvendo uma patente para um sistema inovador, visando oferecer um método eficiente e tecnologicamente avançado para resfriar as carcaças de frango. O objetivo é permitir que esse processo seja rigorosamente controlado, garantindo que a temperatura das

carcaças nunca ultrapasse os níveis seguros. Além disso, busca-se alcançar uma maior eficiência energética e um método que seja aceito em outros mercados, como o da União Europeia. Todavia, esse trabalho não teve permissão por parte da empresa para divulgar mais detalhes do projeto do novo sistema.

Ao analisar conjuntamente os dados de peso e absorção de água, não é possível afirmar que, nos dias em que os lotes de frango tiveram os menores pesos ocorreu a maior absorção média, contrariando o que foi evidenciado por Sant'Anna (2008). Da mesma maneira, a conclusão oposta também não pode ser considerada como válida.

Por fim, a Figura 18 apresenta os valores médios de absorção de água pelas carcaças no pré-chiller e no chiller. Observa-se que quase 60% da absorção acontece na fase de pré-chiller. Essa observação está alinhada com a literatura, que sustenta que a exposição da carcaça a temperaturas mais elevadas resulta em uma maior absorção de água, uma vez que seus poros estão abertos, enquanto temperaturas mais baixas levam ao fechamento desses poros.

Figura 18 - Valor médio de absorção de água (%) pelas carcaças no pré-chiller e no chiller.



No entanto, em três dias do experimento (dias 3, 17 e 18 de outubro), foi verificado que esse padrão não pôde ser confirmado, tendo as médias de absorção no chiller maiores ou iguais às do pré-chiller, e as causas possíveis são erros experimentais na pesagem de algumas amostras.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o sistema de pré-resfriamento por imersão em um frigorífico no Rio Grande do Sul, com o intuito de obter parâmetros relevantes para o desenvolvimento de um projeto inovador de pré-resfriamento de aves, sujeito a sigilo tecnológico. Os resultados apresentados evidenciaram uma série de disparidades e desafios no processo de pré-resfriamento de carcaças de frango por imersão, pois a análise das práticas revelou muitas inconsistências durante a passagem das carcaças pelas etapas de evisceração e pelo sistema de pré-resfriamento, influenciando diretamente nas temperaturas e na absorção de água das carcaças.

A análise das temperaturas médias das carcaças indicou que, em dois dias específicos, a temperatura final no centro do peito ultrapassou os limites estabelecidos pela legislação, comprometendo a conformidade com as normativas vigentes. Essa irregularidade foi associada à falta de alimentação de gelo no equipamento, destacando a importância desse componente para manter a eficácia do sistema.

A investigação das temperaturas da água nos tanques revelou que, apesar de não ultrapassarem os limites legais, as variações nas temperaturas influenciaram diretamente na absorção de água pelas carcaças, corroborando a literatura existente sobre a relação entre temperatura da água e absorção.

A análise dos pesos iniciais das carcaças demonstrou uma considerável variabilidade, impactando nos processos de troca de calor e absorção de água. A absorção média de água pelas carcaças mostrou-se variável, mas dentro dos limites legais, salientando, no entanto, a falta de uniformidade como um fator considerável de perda econômica para o frigorífico.

Dessa forma, os resultados comprovaram a necessidade do desenvolvimento de um novo método para o pré-resfriamento de carcaças de ave, de acordo com as expectativas da empresa, a fim de garantir um controle preciso da absorção de água e atender aos padrões internacionais.

Por fim, este estudo destaca a necessidade de aprimoramentos no processo de pré-resfriamento de carcaças de frango, não apenas para cumprir as normativas, mas também para otimizar a eficiência operacional e econômica da planta industrial.

REFERÊNCIAS

- ABPA. **Relatório Anual 2023**. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Proteína Animal, 2023. Disponível em: <<https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/Relatorio-Anual-2023.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2023.
- ASHRAE. **Fundamentals Handbook**. Cap. 30, **Thermal Properties of Foods**, Am. Soc. Heat., Refrig. and Air-Cond. Eng., Inc., USA. 1989.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 210 de 10 de novembro de 1998. Aprovar o regulamento técnico da inspeção tecnológica e higiênico-sanitária de carne de aves. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 26 nov. 1998. Seção 1, p. 226.
- BRASIL. Portaria no 74, de 7 de maio de 2019. Altera a Portaria no 210, de 10 de novembro de 1998. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, p. 1, 2019.
- CARCIOFI, B. A. M. **Estudo do resfriamento de carcaças de frango em chiller de imersão em água**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Experimental results and modeling of poultry carcass cooling by water immersion. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, p. 447–453, 2010.
- CONTE, M. S. D. **Instalação de resfriamento contínuo de água para pré-resfriamento de carcaças de aves**. Patente, 2006.
- CONTRERAS, C. J. C et al. **Higiene e sanitização na indústria de carnes e derivados**. São Paulo, SP: Livraria Varela, 2002.
- HALAL, C. **Abate Halal**. São Paulo, SP: Alimentos Halal Brasil, 2011. Disponível em: <<https://alimentoshalal.com.br/abate-halal/>>. Acesso em: 12 dez. 2023.
- INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 1998.
- JAMES, C. et al. The primary chilling of poultry carcasses: a review. **International Journal of Refrigeration**, p. 847–862, 2006.
- JEONG, J. Y. et al. Breast meat quality and consumer sensory properties of broiler carcasses chilled by water, air, or evaporative air. **Poultry Science**, p. 694–700, 2011.
- KATZ, M.; DAWSON, L. E. Water absorption and retention by cut up broiler parts chilled in polyphosphate solutions. **Poultry Science**, v. 43, p. 1541-1546, 1964.

LÓPEZ, E. C. Mermas de processo: hidratación y perdida de produto vendible. **Indústria Avícola**, Morent Morris, US, p.10-14, 2006.

PAOLAZZI, E. D.; NORENA, C. P.; BRANDELI, A. Water absorption and temperature changes in poultry carcasses during chilling by immersion. **International Journal of Food Engineering**, p. 129–134, [s.d.].

PEREIRA, T. E. DE J. **Determinação da condutividade térmica e difusidade térmica da carne de frango**. Apucarana, PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

OLIVO, R. **O mundo do frango: cadeia produtiva de carne de frango**. Criciúma, SC, 680p. 2006.

RECHE, R. A.; RUI, C.; CAMARGO, M. E. **Absorção de água em carcaças de frango: Um estudo sobre os fatores determinantes e a capacidade do processo**. Belo Horizonte, MG: Enegep, 2011. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_136_863_17592.pdf>

SANT'ANNA, V. **Análise dos fatores que afetam a temperatura e absorção de água de carcaças de frango em chiller industrial**. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

SAMS, A. R. **Poultry meat processing**. Londres, England: CRC Press, 2001.

SILVA, G.; DUTRA, P. R. S.; CADIMA, I. M. **Higiene na indústria de alimentos**. Recife, PE: EDUFRPE, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Pesos, temperaturas e absorção de água das carcaças durante o pré-resfriamento.

Data	Peso inicial (g)	Temperatura inicial (°C)	Peso saída pré-chiller (g)	Temperatura saída pré-chiller (°C)	Peso saída chiller (g)	Temperatura saída chiller (°C)	Absorção de água (%)	Absorção de água pré-chiller (%)	Absorção de água no chiller (%)
02/out	895	36,0	911	11,1	923	6,5	3,1	1,8	1,3
02/out	849	37,1	862	11,9	872	6,9	2,7	1,5	1,2
02/out	1020	37,7	1078	11,2	1085	6,4	6,4	5,7	0,7
02/out	909	36,3	922	12,3	933	7,1	2,6	1,4	1,2
02/out	1059	38,1	1081	15,3	1087	7,9	2,6	2,1	0,6
03/out	1091	39,1	1109	17,2	1117	6,2	2,4	1,7	0,7
03/out	1133	39,4	1150	15,9	1176	7,7	3,8	1,5	2,3
03/out	1129	39,6	1143	18,8	1164	7,1	3,1	1,2	1,9
03/out	1046	38,1	1066	16,8	1088	6,6	4,0	1,9	2,1
03/out	901	38,1	924	14,5	941	6,0	4,4	2,6	1,9
04/out	975	39,1	1000	16,9	1007	5,8	3,3	2,6	0,7
04/out	988	40,1	1004	16,9	1028	5,7	4,0	1,6	2,4
04/out	807	38,1	822	15,3	838	5,1	3,8	1,9	2,0
04/out	915	37,7	937	17,3	952	6,6	4,0	2,4	1,6
04/out	843	36,9	857	15,7	871	5,9	3,3	1,7	1,7
05/out	962	38,9	982	13,6	1005	7,4	4,5	2,1	2,4
05/out	1020	39,9	1033	19,3	1041	8,4	2,1	1,3	0,8
05/out	935	38,5	957	16,6	967	7,1	3,4	2,4	1,1
05/out	1066	38,9	1094	17,5	1103	8,5	3,5	2,6	0,8
05/out	1151	38,2	1173	17,9	1187	9,6	3,1	1,9	1,2
10/out	1017	39,7	1032	18	1039	7,9	2,2	1,5	0,7
10/out	989	38,7	1009	18,9	1021	5,9	3,2	2,0	1,2
10/out	937	38,7	957	20,1	969	7,3	3,4	2,1	1,3
10/out	1263	39,1	1286	22	1323	9,0	4,8	1,8	2,9
10/out	1224	38,6	1270	20,5	1287	8,7	5,1	3,8	1,4
16/out	969	38,5	978	16,9	988	6,4	2,0	0,9	1,0
16/out	910	38,1	930	15,7	946	6,9	4,0	2,2	1,8
16/out	939	38,1	973	17,3	984	6,4	4,8	3,6	1,2
16/out	965	37,3	982	16,3	995	6,7	3,1	1,8	1,3

16/out	962	38,7	980	17,2	985	7,3	2,4	1,9	0,5
17/out	1020	38,5	1039	16,4	1047	6,9	2,6	1,9	0,8
17/out	998	37,9	1015	17,5	1028	7,1	3,0	1,7	1,3
17/out	1004	37,5	1022	15,4	1047	5,7	4,3	1,8	2,5
17/out	955	38,4	969	16,3	987	6,9	3,4	1,5	1,9
17/out	975	38,8	987	15,8	1005	5,9	3,1	1,2	1,8
18/out	990	36,9	1011	15,9	1055	6,6	6,6	2,1	4,4
18/out	983	37,9	1001	12,4	1019	5,6	3,7	1,8	1,8
18/out	1001	38,0	1020	15,3	1054	5,4	5,3	1,9	3,4
18/out	1032	35,8	1051	13,9	1061	7,7	2,8	1,8	1,0
18/out	1090	36,2	1109	14,9	1119	7,6	2,7	1,7	0,9

APÊNDICE B – Temperatura da água em pontos do pré-chiller e do chiller.

Data	Entrada pré-chiller (°C)	Saída chiller (°C)	Observações
02/out	10,9	3,1	Uso de gelo
03/out	11,9	2,3	Uso de gelo
04/out	11,5	2,0	Uso de gelo
05/out	12,5	2,8	Sem uso de gelo
10/out	12,3	2,4	Sem uso de gelo
16/out	10,6	2,3	Uso de gelo; <i>Zig-zag cooler</i> com pouca vazão
17/out	11,0	2,6	Com gelo
18/out	11,9	1,8	Com gelo
Média	11,6	2,4	-
Desvio padrão	0,7	0,4	-

APÊNDICE C - Média e desvio padrão da temperatura das carcaças.

Data	Média temperatura inicial (°C)	Desvio padrão temperatura inicial (°C)	Média temperatura pré-chiller (°C)	Desvio padrão temperatura pré-chiller (°C)	Média temperatura chiller (°C)	Desvio padrão temperatura chiller (°C)
02/out	37,0	0,8	12,4	1,5	7,0	0,5
03/out	38,9	0,6	16,6	1,4	6,7	0,6
04/out	38,4	1,1	16,4	0,8	5,8	0,5
05/out	38,9	0,6	17,0	1,9	8,2	0,9
10/out	39,0	0,4	19,9	1,4	7,8	1,1
16/out	38,1	0,5	16,7	0,6	6,7	0,3
17/out	38,2	0,5	16,3	0,7	6,5	0,6
18/out	37,0	0,9	14,5	1,2	6,6	1,0
Média	38,2	0,7	16,2	1,2	6,9	0,7

APÊNDICE D - Média e desvio padrão do peso das carcaças.

Data	Peso inicial médio	Desvio padrão
02/out	946,4	79,5
03/out	10600	85,5
04/out	905,6	71,2
05/out	1026,8	77,0
10/out	1086,0	131,7
16/out	949,0	22,1
17/out	990,4	22,8
18/out	1019,2	39,2
Média	997,9	66,1

APÊNDICE E - Média e desvio padrão da absorção de água pelas carcaças.

Data	Média absorção de água total (%)	Desvio padrão absorção total (%)	Média absorção de água pré-chiller (%)	Desvio padrão absorção pré-chiller (%)	Média absorção de água chiller (%)	Desvio padrão absorção chiller (%)
02/out	3,5	1,5	2,5	1,6	1,0	0,3
03/out	3,6	0,7	1,8	0,5	1,8	0,5
04/out	3,7	0,3	2,0	0,4	1,7	0,6
05/out	3,3	0,8	2,1	0,5	1,3	0,6
10/out	3,7	1,1	2,2	0,8	1,5	0,8
16/out	3,2	1,0	2,1	0,9	1,2	0,4
17/out	3,3	0,6	1,6	0,2	1,7	0,6
18/out	4,2	1,5	1,9	0,1	2,3	1,4
Média	3,6	0,3	2,0	0,6	1,5	0,7