

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
WILLIAN KÉVIN RAUBER

DIMENSIONAMENTO TÉRMICO DE UM TANQUE DE ESCALDAGEM PARA A
LINHA DE ABATE DE FRANGOS

CASCADEL
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
WILLIAN KÉVIN RAUBER

DIMENSIONAMENTO TÉRMICO DE UM TANQUE DE ESCALDAGEM PARA A
LINHA DE ABATE DE FRANGOS

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: Me. Eliseu Avelino Zanella Junior

CASCADEL

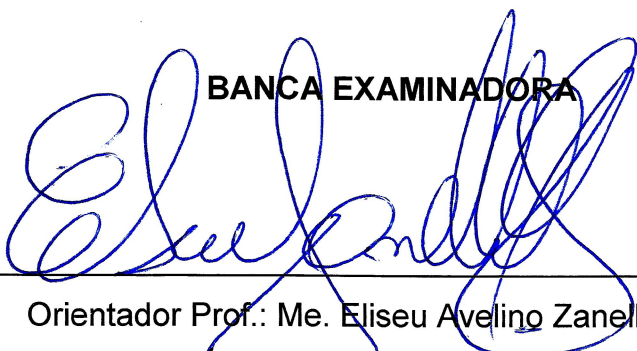
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
WILLIAN KÉVIN RAUBER

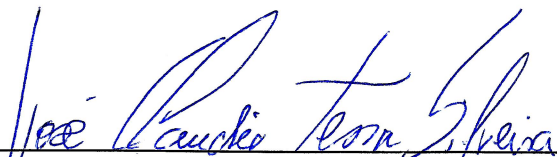
DIMENSIONAMENTO TÉRMICO DE UM TANQUE DE ESCALDAGEM PARA A
LINHA DE ABATE DE FRANGOS

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Eliseu Avelino Zanella Junior.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof.: Me. Eliseu Avelino Zanella Junior
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Avaliador Prof.: José Claudio Terra Silveira
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Avaliador Prof.: Esp. Rogério Luiz Ludgero
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

CASCABEL

07 DE DEZEMBRO DE 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que participaram do seu desenvolvimento e que passaram comigo por este período turbulento me dando apoio e forças para continuar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe Marinês Ferretto, que me ajudou ao longo desta jornada sempre me dando apoio e incentivo.

Agradeço a minha namorada Sthefany Prigol, por aguentar as minhas chatices e pela ajuda para completar este trabalho.

Agradeço a minha irmã Francieli Rauber, pela ajuda com as partes finais dos meus trabalhos e me levando as aulas quando não havia transporte.

Agradeço ao meu orientador Eliseu Avelino Zanella Junior, por não se irritar com todas as minhas dúvidas e me ajudar a concluir esta etapa da minha vida.

Agradeço ao professor Rafael Guilherme Gallas, por me proporcionar a chance de encontrar o caminho para meu desenvolvimento.

Agradeço ao professor Carlos Alberto Breda, pela sua dedicação com a minha formação e nesse processo me tornando uma pessoa melhor.

Agradeço ao professor Sérgio Henrique Rodriguês Mota, por todas as conversas e pelo apoio nos momentos difíceis.

Agradeço a todos os professores e colegas que estimularam meu aprendizado de maneira direta ou indireta, fazendo com que eu descobrisse a minha verdadeira vocação.

“Não confunda derrotas com fracasso nem vitórias com sucesso. Na vida de um campeão sempre haverá algumas derrotas, assim como na vida de um perdedor sempre haverá vitórias. A diferença é que, enquanto os campeões crescem nas derrotas, os perdedores se acomodam nas vitórias”.

Roberto Shinyashiki

RESUMO

Os frigoríficos de frango fazem parte de um segmento da indústria que tem impacto econômico e social no Brasil e no mundo. As unidades de processamento de frangos nos últimos anos têm procurado aumentar suas eficiências energéticas e o assunto tem sido abordado em vários setores da indústria e do comércio. Este tema dá aos fabricantes de equipamentos do setor uma nova oportunidade para melhorar seus produtos, sejam térmicos ou mecânicos. A escaldagem é um dos processos que compõe um frigorífico de frangos e se destina a remover impurezas, eliminar os microorganismos da carcaça de frango e facilitar o processo de depenagem. Este processo também está diretamente ligado à qualidade final do produto. Finalmente, este estudo tem como objetivo geral realizar o dimensionamento térmico de um tanque de escaldagem para a linha de abate de frangos, apresentando as principais variáveis do processo e utilizando um modelo simplificado para calcular as cargas térmicas compatíveis com a operação especificada.

Palavras-chave: Frigorífico de frango. Equipamento de escaldagem. Termodinâmica e transferência de calor. Propriedades da água pura.

ABSTRACT

The chicken slaughterhouses are part of an industry segment that has economic and social impact in Brazil and in the world. Chicken processing unities in recent years have sought to increase their energy efficiencies and the subject has been presented in several departments of industry and commerce. This theme gives these sector equipment manufacturers a new opportunity to improve their products, being either thermal or mechanical. Parboiling is one of the processes that compounds a chicken slaughterhouse and is intended to remove impurities, eliminate the microorganisms on the chicken carcass and facilitate the plucking feather process. This step is also directly linked to the final quality of the product. Finally, this study has as general objective to do the thermal measurement of a chicken parboiling tank for the slaughter, presenting the main variables of the process and using a simplified model to calculate the thermal loads compatible to the listed operation.

Keywords: Chicken slaughterhouses. Parboiling equipment. Thermodynamics and heat transfer. Properties of pure water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da linha de abate de aves.	16
Figura 2 – Pendura.....	17
Figura 3 - Insensibilização por eletronarcose.....	18
Figura 4 - Sangria.....	19
Figura 5 – Rolos com dedos de borracha.	22
Figura 6 - Depenadeira.	22
Figura 7 - Evisceração.	23
Figura 8 - Chiller.....	24
Figura 9 - Linha de cortes.....	25
Figura 10 - Armazenagem em racks.	26
Figura 11 - Tanque de escaldagem com agitação por borbulho.	28
Figura 12 - Tanque de escaldagem com agitação mecânica.	28
Figura 13 - AeroScald	29
Figura 14 - Resfriamento de um ovo quente por convecção forçada e natural.	33
Figura 15 - Diagrama T-v para a região bifásica líquido-vapor.....	40
Figura 16 - Módulo do corpo do tanque de escaldagem.	44
Figura 17 - Vista frontal do módulo do corpo do tanque de escaldagem.	45
Figura 18 - Corpo do tanque de escaldagem com 10 módulos.....	46
Figura 19 - Vista lateral corpo do tanque de escaldagem.	46
Figura 20- Tanque de escaldagem real.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Binômio temperatura x tempo.	20
Tabela 2 - Condutividade térmica de alguns materiais a temperatura ambiente.....	32
Tabela 3 - Valores típicos do coeficiente de transferência de calor por convecção ..	34
Tabela 4 - Emissividades de alguns materiais a 300K.	39
Tabela 5 - Tabela de água saturada em função da temperatura.....	41
Tabela 6 - Tabela de água saturada em função da pressão.	41
Tabela 7 - Descrição das dimensões do corpo do tanque de escaldagem.	47
Tabela 8 - Propriedades do ar a pressão de 101,325kPa.	52
Tabela 9 - Propriedades da água líquida nas duas temperaturas.	52
Tabela 10 - Propriedades a temperatura de 37°C.....	53
Tabela 11 - Dimensões tanque de escaldagem real.	60
Tabela 12 - Tabela de consumo de vapor para aquecimento e funcionamento.....	71
Tabela 13- Cálculo das variáveis do tanque de escaldagem real.	72

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Primeira lei da termodinâmica.....	30
Equação 2 - Eficiência térmica	31
Equação 3 - Lei da condução de Fourier	32
Equação 4 - Taxa de transferência de calor por convecção	34
Equação 5 - Número de Rayleigh	35
Equação 6 - Comprimento característico	36
Equação 7 - Temperatura de filme	36
Equação 8 - Número de Nusselt para convecção natural em placas verticais	37
Equação 9 - Número de Nusselt para convecção natural em placas horizontais com a superfície quente virada para baixo	37
Equação 10 - Coeficiente de transferência de calor por convecção.....	38
Equação 11 - Taxa de transferência de calor por radiação.....	39
Equação 12 - Densidade.....	42
Equação 13 - Volume específico.....	42
Equação 14 - Calor específico a volume constante	43
Equação 15 - Calor específico a pressão constante	43
Equação 16 - Velocidade do frango durante a escaldagem.....	47
Equação 17 - Produção de frangos.....	48
Equação 18 - Vazão mássica de frango.....	48
Equação 19 - Área total das laterais do corpo.....	49
Equação 20 - Área total do fundo do corpo	49
Equação 21 - Área total das tampas do corpo	50
Equação 22 - Volume disponível para água dentro do corpo.....	50
Equação 23 - Área superficial de radiação	54
Equação 24 - Perímetro dos fundos do módulo	55
Equação 25 - Taxa de transferência de calor para os frangos	56
Equação 26 - Taxa de transferência de calor para aquecimento ou funcionamento.....	57
Equação 27 - Taxa de transferência de calor total para aquecimento do tanque.....	57
Equação 28 - Taxa de transferência de calor total para funcionamento do tanque.....	58
Equação 29 - Massa de vapor consumido para aquecimento ou funcionamento	59
Equação 30 - Índice de erro	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	PROBLEMAS DA PESQUISA	14
1.3	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	14
1.4	OBJETIVOS	15
1.4.1	Objetivo geral	15
1.4.2	Objetivos específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	FRIGORÍFICO DE FRANGO	16
2.1.1	Recepção	17
2.1.2	Insensibilização	17
2.1.3	Sangria	18
2.1.4	Escaldagem	19
2.1.5	Depenagem	21
2.1.6	Evisceração	23
2.1.7	Pré-resfriamento e Resfriamento	23
2.1.8	Gotejamento	24
2.1.9	Classificação, cortes e embalagem	25
2.1.10	Armazenamento	26
2.2	EQUIPAMENTO DE ESCALDAGEM	26
2.2.1	Tanque de escaldagem	27
2.2.2	Escaldador por aspersão de vapor	28
2.3	TERMODINÂMICA E TRANSFERÊNCIA DE CALOR	29
2.3.1	Condução	31
2.3.2	Convecção	33
2.3.2.1	Convecção natural	35
2.3.3	Radiação	38
2.4	PROPRIEDADES DA ÁGUA PURA	39
3	METODOLOGIA	44
3.1	MATERIAIS	44
3.1.1	Características construtivas do tanque de escaldagem	44
3.1.2	Características térmicas do tanque de escaldagem	51

3.2	MÉTODOS	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.1	TRANSFERÊNCIA DE CALOR	61
4.1.1	Áreas superficiais	61
4.1.2	Volume e massa de água	62
4.1.3	Velocidade, produção e vazão mássica de frangos.....	62
4.1.4	Taxa de transferência de calor por convecção natural pelas laterais	63
4.1.5	Taxa de transferência de calor por convecção natural pelas tampas	65
4.1.6	Taxa de transferência de calor por convecção natural pelo fundo	66
4.1.7	Taxa de transferência de calor por radiação	68
4.1.8	Taxa de transferência de calor para o frango	69
4.1.9	Taxas de transferência de calor para aquecimento e funcionamento.....	69
4.2	EFICIÊNCIA TÉRMICA DO TANQUE DE ESCALDAGEM	70
4.3	CONSUMO DE VAPOR PARA AQUECIMENTO E FUNCIONAMENTO	71
4.4	TANQUE DE ESCALDAGEM REAL.....	71
5	CONCLUSÃO.....	74
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	75
	REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

A etapa de escaldagem é um dos processos que constitui a linha de abate de frangos. Com a necessidade de expansão nos frigoríficos de frangos, esse processo tem se tornado cada vez mais caro. Segundo a ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal - (2018) a produção brasileira de carne de frango em 2016 foi de 12,90 milhões de toneladas, e 34% dessa produção foi destinada à exportação. No ano de 2017 foram produzidos 13,05 milhões de toneladas com 33,1% destinados à exportação.

Com as grandes produções são necessários equipamentos cada vez mais eficientes, esta necessidade dá aos fabricantes de equipamentos do setor uma nova oportunidade para melhorar seus produtos, sejam térmicos ou mecânicos. Por este motivo o tema deste trabalho é desenvolver um estudo sobre tanques de escaldagem para a linha de abate de frangos.

Os equipamentos de escaldagem devem ser desenvolvidos de acordo com as especificações de cada processo para que atenda às suas necessidades, esse desenvolvimento deve levar em consideração o tamanho das carcaças, a cor da pele desejada, a produção por hora, o tempo de permanência da carcaça que é chamado de tempo de escaldagem que depende do tipo de ave a ser escaldada e a temperatura da água ou do vapor (NUNES, 2008).

Para facilitar o entendimento do leitor o trabalho foi dividido em quatro capítulos. O conteúdo inicia-se no Capítulo 2, que é a fundamentação teórica, e este é um apanhado geral dos trabalhos acadêmicos já publicados sobre: frigoríficos de frangos, equipamentos de escaldagem, termodinâmica, transferência de calor e propriedades da água pura. O Capítulo 3 é a metodologia, neste capítulo estão separados os materiais e métodos para desenvolvimento do trabalho. Na seção de materiais estará exibido um projeto simplificado de um corpo para tanque de escaldagem no qual serão baseados os cálculos, são feitas as suposições e apresentadas as fórmulas desenvolvidas por análise dimensional. Na seção de métodos são explicitadas como as equações definidas no Capítulo 2 serão utilizadas, explicando a aplicação no tanque de escaldagem.

O Capítulo 4 define os resultados e discussões, onde são utilizadas as suposições feitas na seção de materiais e as explicações da aplicação do

equacionamento feita na seção de métodos do Capítulo 3. No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões referentes aos objetivos específicos do trabalho.

Utilizando a metodologia proposta neste trabalho foram obtidos resultados que possuem erros menores que 1%, o que é um pequeno erro para essa aplicação das equações de termodinâmica e transferência de calor.

1.1 JUSTIFICATIVA

Após serem realizadas pesquisas sobre o assunto, notou-se que não havia conteúdo científico sobre tanques de escaldagem, sobre o processo de escaldagem existem vários. Este trabalho foi desenvolvido para demonstrar como é a construção do equipamento de escaldagem por imersão, e quais aproximações podem ser utilizadas para o seu dimensionamento térmico.

1.2 PROBLEMAS DA PESQUISA

O presente projeto é uma pesquisa bibliográfica que tem como base a elaboração de conteúdo utilizando obras já publicadas. Inclui todos os tipos de materiais, desde livros, até CDs e também periódicos ou trabalhos acadêmicos disponibilizados na internet. A maior desvantagem desse tipo de pesquisa, é que a qualidade dos resultados pode ser comprometida. Deve-se ter cuidado com as fontes secundárias que apresentam dados, pois estes podem ter sido coletados ou processados de forma equivocada, e a cada vez que um trabalho é fundamentado com esses dados, amplia-se o erro. Para reduzir os erros é necessário assegurar-se de como são feitas as coletas e analisar as informações para ter certeza que não possuem incoerências ou contradições (GIL, 2010, p. 29-30).

1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa está limitada a equipamentos de escaldagem por imersão com agitação mecânica para frangos, utilizando as dimensões físicas e térmicas fixadas. Para outros modelos de tanque de escaldagem é necessário que sejam realizados outros estudos, para que se obtenham as variáveis relacionadas ao processo de escaldagem do frigorífico que necessita do equipamento. As dimensões físicas do

tanque de escaldagem são: comprimento total do tanque de 10500mm, altura interna do módulo de 1000mm, altura do fundo do módulo 80mm e distância até o centro do módulo de 337,50mm, possui duas passagens e é construído de aço inoxidável com emissividade de 0,3. As dimensões térmicas são: temperatura dos arredores e da água de alimentação igual a 20 °C, temperatura de escaldagem de 54 °C e tempo de escaldagem de 90 segundos. Os animais a serem escaldados são frangos de corte com massa média de 2,50kg e temperatura corporal de 41 °C.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Fazer o dimensionamento térmico de um tanque de escaldagem para a linha de abate de frangos.

1.4.2 Objetivos específicos

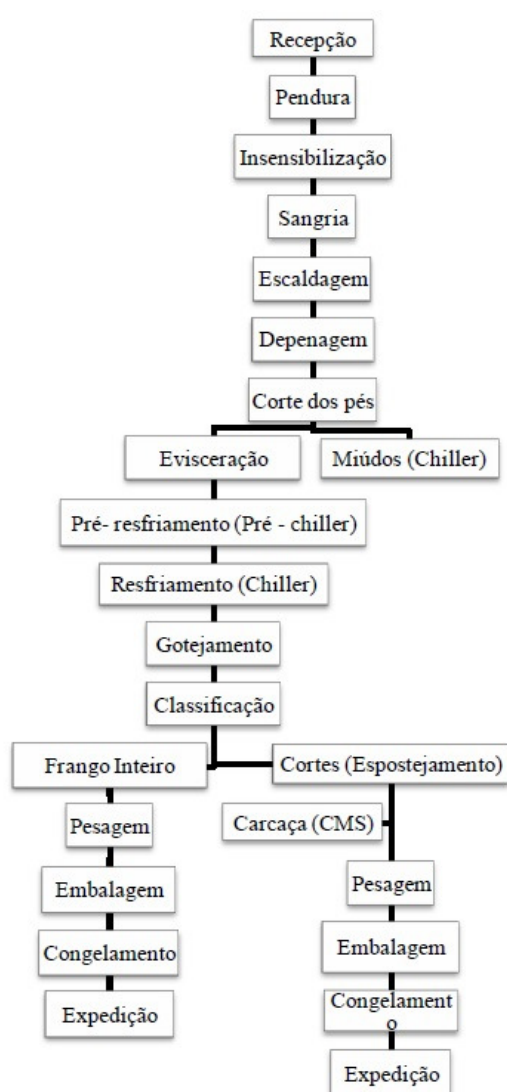
- Determinar as principais variáveis térmicas do processo de escaldagem de frangos.
- Utilizando um modelo simplificado para o corpo do tanque de escaldagem, construir um passo a passo para determinar as cargas térmicas.
- A partir das cargas térmicas determinar a eficiência do tanque de escaldagem e calcular os consumos de vapor para os processos de aquecimento e funcionamento.
- Fazer a verificação do erro do equacionamento proposto em um tanque de escaldagem real a partir de dados teóricos retirados de trabalhos acadêmicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FRIGORÍFICO DE FRANGO

Para melhorar o desempenho de produção das plantas frigoríficas as mesmas são divididas em vários processos. Na Figura 1, é apresentado um fluxograma geral dos processos que compõe a linha de abate de aves.

Figura 1 - Fluxograma da linha de abate de aves.



Fonte: Schilling (2014).

As fases de recepção, pendura, insensibilização, sangria, escaldagem, depenagem, evisceração, pré-resfriamento, resfriamento, gotejamento, classificação, cortes, embalagem e armazenamento, compõem a fase de industrialização da carne

de frango (ROÇA, 2018, p. 1-4). Será feita uma breve explanação dos principais processos dentro do fluxograma.

2.1.1 Recepção

Na recepção os frangos chegam em gaiolas padrões com dimensões de 830 x 590 x 300mm, cada gaiola comporta um total de 10 a 12 aves, os caminhões ficam em garagens que possuem ventiladores com aspersão de água, para uma primeira lavagem (SARCINELLI et al., 2018), e ainda para que haja redução da mortalidade no transporte, que é de 0,13%. Os caminhões ficam de 2 a 4 horas estacionados até o descarregamento (ROÇA, 2018, p. 1). A massa média dos frangos de corte é de 2,50kg (CARNEIRO et al., 2004, p. 6). A Figura 2 exibe como as aves ficam após a pendura.

Figura 2 – Pendura.



Fonte: <https://arcotherm.com.br/descubra-como-abrir-um-abatedouro-de-frango/>

2.1.2 Insensibilização

Segundo a Portaria nº210 (1998), na etapa de insensibilização a preferência é que esta seja feita por eletronarcose com imersão em líquido, o equipamento destinado a esta função deve dispor de registros de voltagem e amperagem. E em

nenhuma hipótese pode promover a morte das aves. A sangria deve ser feita em um prazo máximo de 12 segundos após a insensibilização.

Segundo Roça (2018) a eletronarcose reduz a eficiência da sangria, pois a sangria é entendida como um processo passivo (por este motivo a insensibilização não pode causar a morte da ave), que é acelerado ou retardado pelo bombeamento cardíaco. E esse tipo de insensibilização tem uma chance de atrapalhar as reações bioquímicas *post-mortem*, o que talvez possa melhorar a maciez do peito do frango. Na Figura 3, pode-se ver um equipamento que é utilizado para atordoar o frango.

A corrente aplicada deve ser proporcional aos seguintes requisitos: tamanho e peso das aves e a extensão a ser percorrida sob imersão. A tensão é definida pelo fabricante (SARCINELLI et al., 2018).

Figura 3 - Insensibilização por eletronarcose.



Fonte: <http://www.unesp.br/prope/projtecn/Agropecuaria/Agropec04b.htm>

2.1.3 Sangria

A etapa de sangria, é onde ocorre a remoção do sangue do frango, ela é realizada em instalação exclusiva, denominada “área de sangria”. O sangue representa de 3 a 4% do peso vivo (ROÇA, 2018, p. 2).

O tempo da sangria deve ser no máximo 180 segundos, sendo que, nos primeiros 40% do tempo de processo as aves devem ter perdido um total de 80% do volume de sangue, se passar do tempo de 180 segundos a depenagem será prejudicada, por conta do *rigor mortis*, que faz com que as penas fiquem presas aos folículos (SARCINELLI et al., 2018).

A temperatura corporal de frangos de corte adultos após a sangria varia entre 41 e 42°C (OLIVEIRA et al., 2006, p. 1404). Na Figura 4, é possível ver uma ilustração de como é o local utilizado para fazer a sangria dos frangos, a estrutura de aço inoxidável comumente é conhecida como cabine de sangria.

Figura 4 - Sangria.



Fonte: <http://zootecniadeaves.blogspot.com/p/abate-e-comercializacao-de-aves.html>

2.1.4 Escaldagem

Segundo a Portaria nº210 (1998) a etapa de escaldagem deve, obrigatoriamente, ser executada logo após o término da sangria, e deve possuir condições definidas de temperatura e tempo, que serão ajustadas de acordo com as características da ave a ser escaldada (frango, galinha, galo, entre outros) e em nenhuma hipótese pode haver a introdução de aves ainda vivas no tanque, para que não haja a ingestão de água por parte das aves o que evita contaminações.

De acordo com Schilling (2014), a escaldagem é destinada à remoção da microbiota existente na carcaça do frango, o sangue da superfície e ainda, facilitar a remoção das penas no processo de depenagem.

O equipamento faz a remoção dos microrganismos, através do aquecimento úmido da carcaça, que faz com que ocorra também um aumento na densidade das penas e ainda, a abertura dos poros da epiderme o que facilita a remoção das penas (SOARES, 2009, p. 17).

A escaldagem pode ser feita em diversas faixas de temperatura e tempo de exposição da carcaça, assim é definido o binômio temperatura x tempo. Estas faixas são definidas de acordo com a espécie, o aspecto higiênico e as características do produto final (ROÇA, 2018, p. 2).

Segundo Soares (2009), existem 3 processos definidos para cada tipo de escaldagem, estes são: escaldagem branda (low scald), escaldagem alta (sub scald) e escaldagem rigorosa (hard scald). Estas relações estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Binômio temperatura x tempo.

Tipo de escaldagem	Temperatura (°C)	Tempo (s)	
		Tanque de escaldagem	Aspersores de vapor
Branda	52 a 55	30 a 150	200 a 240
Alta	58 a 60	30 a 90	140 a 180
Rigorosa	80 a 90	5 a 10	80 a 100

Fonte: Soares (2009).

De acordo com Gomide et al. (2006, apud SOARES, 2009, p. 20) a escaldagem branda é caracterizada por conseguir uma coloração mais amarelada da pele e também evitar seu rompimento no processo de depenagem, embora a escaldagem branda por ser feita em baixa temperatura tem a desvantagem de dificultar a remoção das penas.

Barker et al. (2004) e Barbut (2002) dizem que a escaldagem alta confere uma maior facilidade para remoção das penas. As desvantagens são que por causa da temperatura acontece por um leve cozimento da pele externa da ave, e também há uma desidratação da carcaça, o que reduz sua vida útil. Este método é aconselhado para uso em aves mais velhas (apud SOARES, 2009, p. 20).

A escaldagem rigorosa deve ser usada por um tempo muito curto, quando ficam expostas por tempo prolongado a temperaturas maiores que 70°C, há rápida descoloração da pele (fazendo a cocção da carne), causando uma maior sensibilidade ao rompimento da pele no processo de depenagem. Seu uso é recomendado para aves aquáticas como patos ou gansos (GOMIDE et al., 2006, apud SOARES, 2009, p. 20).

Roça (2018) diz que o método de escaldagem mais utilizado no Brasil é a escaldagem branda, com faixa de temperatura de 52 a 54°C, e com tempo de aproximadamente 90 segundos para o corpo do frango. Deve-se salientar que a *Salmonella* sobrevive a 55°C e é destruída a 60°C.

No grupo de bactérias chamadas de *Salmonella* estão inseridos diferentes tipos de bactérias que são adquiridos de alimentos crus, da água ou até a falta de higiene na manipulação dos alimentos. Tais bactérias podem causar infecções alimentares e outras doenças como: gastroenterite (inflamação gastrointestinal que afeta o estômago e o intestino delgado, causada por um vírus), septicemia (infecção generalizada potencialmente fatal, pode ser causada por infecções mais simples) e febre tifoide (doença infectocontagiosa que ataca humanos) (OLIVEIRA, 2018).

O que se observa na escaldagem, é que, quanto maior a temperatura da água, mais fácil fica a remoção das penas no processo de depenagem, ficando limitada a certas temperaturas devida a idade das aves e também as características finais do produto, como cor do peito (SOARES, 2009, p. 18).

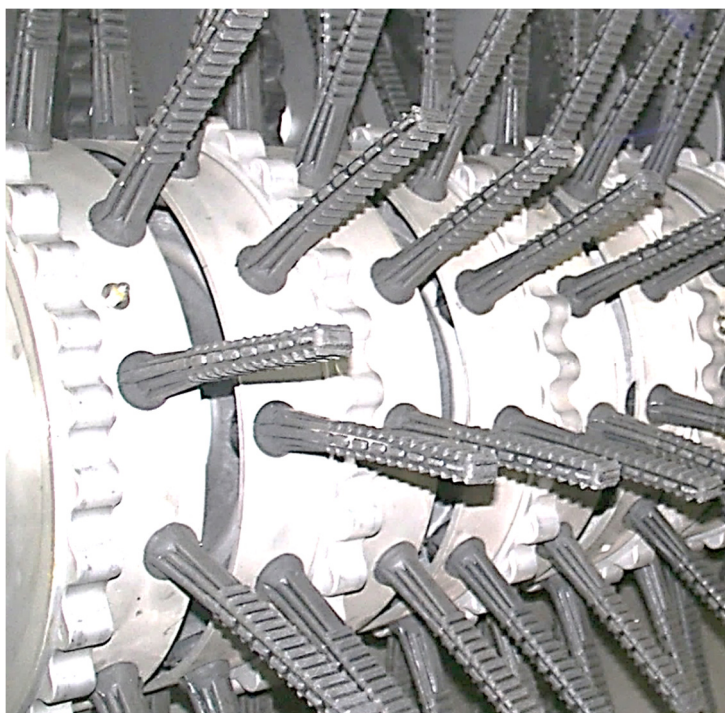
2.1.5 Depenagem

Segundo Roça (2018), o processo de depenagem deve consistir na retirada da maior quantidade possível de penas sem lesionar o tecido cutâneo. Isto é feito utilizando um equipamento chamado depenadeira, que possui rolos com dedos de borracha fixados (Figura 5) para evitar as lesões na carcaça, mas ainda assim a lesão mais frequente é a fratura das asas (SARCINELLI et al., 2018).

Conforme Portaria nº210 (1998) a depenagem deve ocorrer logo após a escaldagem, sendo proibido retardamento para evitar que os folículos não se fechem novamente, deve ser mecanizada e a operação deve ocorrer com as aves suspensas pelos pés. E durante a jornada não é permitido acúmulo de penas no piso, para evitar contaminação ou até propagação de microrganismos.

A Figura 6, é uma imagem representativa do equipamento utilizado para depenagem dos frangos, que é conhecido como depenadeira, a rotação deve ser definida pelo fabricante e o comprimento do equipamento depende do volume de produção (SCHILLING, 2014, p. 21).

Figura 5 – Rolos com dedos de borracha.



Fonte: <https://www.primeequipmentgroup.com/wp-content/uploads/2017/12/SideBankView.jpg>

Figura 6 - Depenadeira.



Fonte: <https://marel.com/images/products/poultry-processing/poultry-plucker-picker-finisher-large.jpg>

2.1.6 Evisceração

Antes do processo de evisceração, as aves devem ser lavadas com chuveiros de aspersão para remover resíduos dos outros processos. A evisceração consiste na exposição das vísceras para que sejam examinadas e separadas. O início desse processo se dá pelo corte da cloaca (abertura comum entre os sistemas digestivo, urinário e reprodutivo) e após isso é feita a abertura do abdome (ROÇA, 2018, p. 3).

A retirada das vísceras segue a seguinte ordem: primeiro se retira a glândula uropigiana (que produz uma substância oleosa para impermeabilização das penas), depois a traqueia, cloaca, vísceras não comestíveis, vísceras comestíveis e pulmões (SARCINELLI et al., 2018). Gishtomi et al. (2017) diz que se for bem executada incrementa a qualidade e durabilidade da carcaça. Uma ilustração do processo de evisceração pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Evisceração.



Fonte: <https://www.montarumnegocio.com/como-montar-um-abatedouro-de-frangos/>

2.1.7 Pré-resfriamento e Resfriamento

No pré-resfriamento, as carcaças passam por um pré-chiller, onde ocorre o início do processo de resfriamento e convenientemente faz limpeza e reidratação da carcaça (GISHTOMI et al. 2017). Roça (2018) descreve que o processo no pré-chiller

ocorre a uma temperatura de aproximadamente 17 °C, em um tempo estimado de 12 minutos. A renovação de água deve ser constante e em equipamentos do tipo rosca sem fim (chiller) deve ser feita no sentido contrário da movimentação das carcaças, sendo a proporção mínima de 1,5 litros de água por carcaça (PORTARIA Nº 210, 1998).

O resfriamento ocorre no chiller, que é um tanque de grandes dimensões com formato de um semicírculo aberto para o ambiente, que possui em seu interior um eixo em formato de helicóide, que faz a condução das carcaças e da água gelada de uma extremidade do equipamento a outra (TEIXEIRA, 2017, p.21). Roça (2018) e Sarcinelli et al. (2018) dizem que o processo no chiller, ocorre a uma temperatura de 2 °C, por um período de tempo de 17 minutos. A temperatura final medida no peito da carcaça deve ser menor que 8 °C, com o ideal para esse processo sendo 4 °C. A Figura 8 exibe um chiller, sendo que o pré-chiller é igual com dimensões menores.

Figura 8 - Chiller.



Fonte: http://agais.com/telomc/b00607_abate_frandedecorte.pdf

2.1.8 Gotejamento

Após removidas do chiller, as carcaças, são penduradas pelo pescoço ou pela canela, para que seja removido o excesso de água (GISHTOMI et al. 2017). Segundo Roça (2018) o tempo mínimo de gotejamento é de 3 minutos, mas pode chegar até

11 minutos, e o máximo de água absorvida pela carcaça é de 8%, com o ideal sendo 5%. Segundo a Portaria nº210 (1998) o gotejamento deve ser realizado imediatamente após o resfriamento da carcaça, e a região onde é feita deve dispor de calha para coletar água.

2.1.9 Classificação, cortes e embalagem

A partir do processo de gotejamento as carcaças podem ser classificadas em frangos inteiros e frangos em cortes (SARCINELLI et al., 2018). Após passar pela classificação as carcaças seguem até as linhas de corte (Figura 9), onde recebem o processo de corte e desossa, que pode ser feito de forma automática ou totalmente manual (TEIXEIRA, 2017, p.22). As aves com lesão não são totalmente descartadas, elas são aproveitadas para cortes parciais (ROÇA, 2018, p. 4).

Figura 9 - Linha de cortes.



Fonte: <http://s02.video.glbimg.com/x720/4342905.jpg>

Teixeira (2017) afirma que os produtos depois dos processos de cortes, seguem para serem embalados, onde são carimbados e acertados em pallets, para facilitar a estocagem nas câmaras frias. Roça (2018) diz que as carnes normalmente são embaladas em polietileno com grampo, ou com atmosfera modificada.

2.1.10 Armazenamento

Após os pallets serem montados, estes são transportados para as câmaras frias (Figura 10), onde são resfriados ou congelados, e permanecem estocados até a data que foi estabelecida para expedição e carregamento (TEIXEIRA, 2017, p.22).

Roça (2018) e Sarcinelli et al. (2018) concordam que a temperatura para armazenagem fica entre -1 a 1°C com UR (Umidade relativa) de 80 a 85%, o que permite aumentar a durabilidade do produto, podendo ser armazenado entre 6 e 8 dias, antes do resfriamento o produto iria durar algumas horas. A temperatura para processo de congelamento, utilizando túnel, deve ser -35°C a -40°C por um período de 4 horas, permitindo armazenamento a -18°C (RESOLUÇÃO Nº 267, 2003, p. 7), podendo ser armazenado por um período de 8 a 18 meses.

Figura 10 - Armazenagem em racks.



Fonte: <https://www.mecalux.fr/cas-clients/3-chambres-frigorifiques-frio-valencia>

2.2 EQUIPAMENTO DE ESCALDAGEM

De acordo com Gomide et al. (2006), existem dois tipos de equipamentos para escaldagem, o primeiro e mais usual é por tanque de imersão, comumente chamado de tanque de escaldagem, e o outro tipo é o escaldador por aspersão de vapor ou água quente. Estes equipamentos normalmente são aquecidos com a utilização de vapor saturado injetado diretamente na água (apud SOARES, 2009, p. 17).

O equipamento de escaldagem deve ser desenvolvido de acordo com as especificações de cada processo, esse desenvolvimento deve levar em consideração o tamanho das carcaças, a cor da pele desejada, a produção por hora, o tempo de permanência da carcaça chamado de tempo de escaldagem (depende do tipo de ave) e a temperatura da água ou do vapor (NUNES, 2008).

O tempo de permanência (tempo de escaldagem) da carcaça a exposição do aumento de temperatura gerado pela imersão ou aspensão, quando configurado de forma errada, pode gerar queimaduras, endurecimento da carne e ainda retirar a cutícula natural que há sobre a pele. Esses problemas na escaldagem podem gerar uma redução da vida útil da carcaça (SCHILLING, 2014, p. 21).

Os tempos de escaldagem para as carcaças estão apresentados na Tabela 1, os menores tempos podem ser utilizados para definir as produções máximas, e os maiores tempos as produções mínimas. Esse tempo de escaldagem deve ser definido pelo processo, já que influencia diretamente na qualidade final da carcaça (SOARES, 2009, p. 19).

2.2.1 Tanque de escaldagem

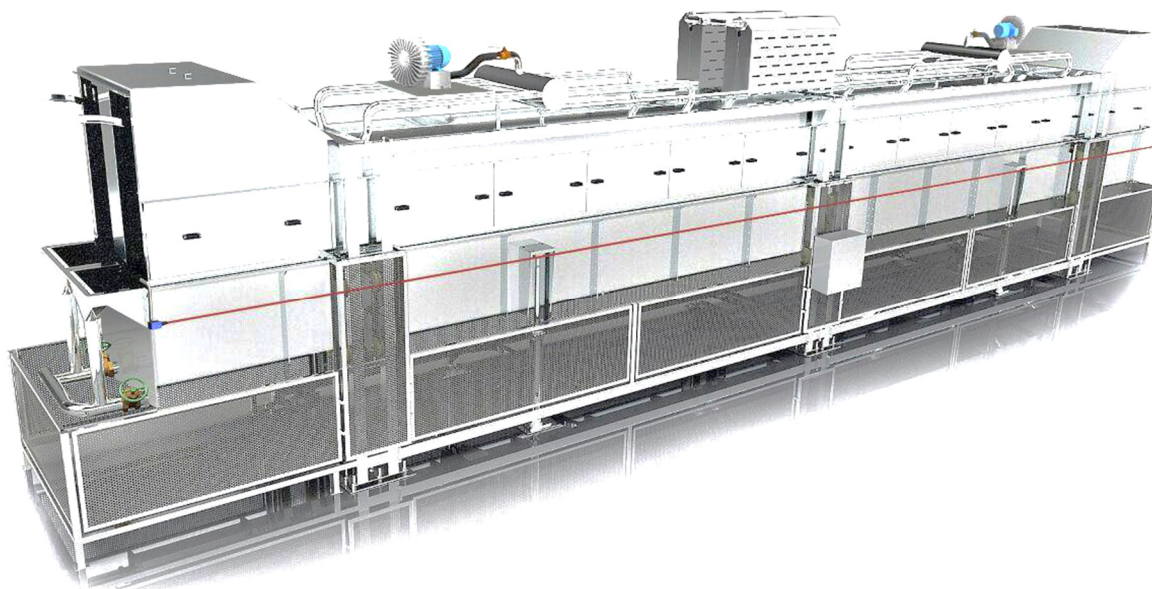
De acordo com a Portaria nº210 (1998) sempre que a escaldagem for executada em tanque de imersão, o mesmo deve ser construído de material inoxidável e o uso de qualquer outro material impermeabilizante nas superfícies internas é proibido. O equipamento deverá apresentar sistema de controle de temperatura, e renovação contínua de água, fazendo com que a cada turno de trabalho (8 horas) seja renovado o correspondente ao seu volume total.

O volume total do tanque de escaldagem deve ser renovado para que não haja inalação da água de escaldadura por parte da ave, pois isto pode conduzir a contaminação cruzada dos sistemas respiratório e sanguíneo, gerando perdas. Também por este motivo, que antes da escaldagem do frango deve-se estar certificado que as aves que serão imersas estão mortas (SCHILLING, 2014, p. 21).

Para os tanques de escaldagem existem dois métodos para agitação da água, pode ser feito por injeção de ar no fundo do corpo, para fazer a movimentação da água, usualmente chamado de “borbulho” (FRINOX, 2018) (esse modelo de tanque de escaldagem pode ser visto na Figura 11), que é o processo mais eficiente para agitação. E também existe a agitação por meios mecânicos, bombeando água do

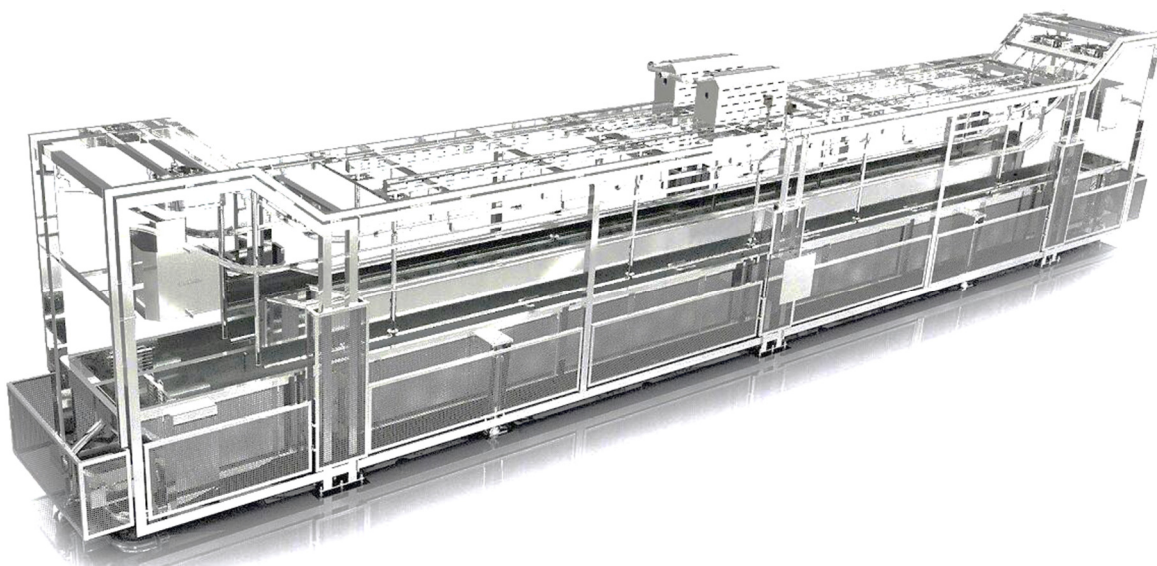
fundo para a superfície fazendo com que a água flua através de bocais (Figura 12) (NUNES, 2008).

Figura 11 - Tanque de escaldagem com agitação por borbulho.



Fonte: <https://www.inomaq.com.br/produtos/tanque-de-escaldagem-hidraulico>

Figura 12 - Tanque de escaldagem com agitação mecânica.



Fonte: <https://www.inomaq.com.br/produtos/tanque-de-escaldagem-hidraulico>

2.2.2 Escaldador por aspersão de vapor

Os escaldadores que empregam aspersão de vapor no frango (Figura 13), não são muito utilizados no Brasil, pois sua maior desvantagem, é o comprimento do

equipamento, que dependendo da produção, podem precisar de até 40m, para atender as especificações de temperatura no frango (SOARES, 2009, p. 18).

Sua forma construtiva consiste basicamente de uma cabine, uma calha e um encanamento por onde a água quente ou vapor flui e chega até os bicos aspersores. O frango passa por dentro da cabine e recebe jatos de água quente ou vapor, o excesso de água escorre pela calha junto com os resíduos que saem da carcaça, o que reduz a contaminação cruzada. Pode haver redução no consumo de água e energia, e ainda é um processo visualmente muito limpo, pois todas as impurezas retiradas do frango, são levadas pela água em escoamento na calha (MAREL, 2018).

Figura 13 - AeroScald



Fonte: <https://marel.com/images/products/poultry-processing/aeroscalder-large-1.jpg>

2.3 TERMODINÂMICA E TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A termodinâmica é a ciência que trata das quantidades de energia que podem ser armazenadas, transformadas ou transferidas, na forma de calor, trabalho, energia interna ou entalpia, em um dado sistema analisado. Quando um sistema está passando por uma mudança no seu estado de equilíbrio, ele pode absorver ou rejeitar energia para um ambiente ou outros sistemas, não necessariamente mudando suas temperaturas. Quando se pensa em termodinâmica não deve-se pensar em

mudanças na temperatura, mas sim, em mudanças de energia no sistema (KROOS; POTTER, 2015, p. 5).

A primeira lei da termodinâmica ou equação da energia, aplicada para um volume de controle (Equação 1) (BORGNAKKE; SONNTAG, 2016, p. 91) está focada em definir a quantidade de energia transferida, não havendo menção a duração do processo. Pois, na análise termodinâmica são informadas as quantidades de energia necessárias para que ocorra uma determinada mudança no estado termodinâmico, satisfazendo o princípio da conservação de energia (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 2).

$$\frac{Q - W}{\Delta t} = \frac{m}{\Delta t} \cdot (e_2 - e_1) \quad (1)$$

Onde:

Q = Calor recebido ou cedido [J];

W = Trabalho recebido ou realizado [J];

m = Massa do sistema [kg];

Δt = Variação de tempo do processo [s];

e_1 = Energia específica inicial do sistema [J/kg];

e_2 = Energia específica final do sistema [J/kg].

Os sistemas termodinâmicos podem ser denominados como: abertos, fechados e isolados. Sistemas fechados podem transferir energia para outros corpos, mas suas massas são fixadas. Sistemas abertos, podem transferir energia para outros corpos, e tem fluxos de massa. Os sistemas isolados não permitem nenhum tipo de interação com outros corpos (BORGNAKKE; SONNTAG, 2016, p. 24).

Segundo Borgnakke & Sonntag (2016) os sistemas termodinâmicos que consomem energia possuem uma eficiência. Essa eficiência pode ser em relação a consumo de energia elétrica, energia térmica ou energia mecânica. Esse valor é determinado pela relação entre a energia consumida e a energia útil (Equação 2), esse percentual representa a quantidade de energia que realmente foi utilizada para algum fim.

$$\eta_{ee} = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{consumido}}} \quad (2)$$

η_{ee} = Eficiência do equipamento [adimensional];

$Q_{\text{útil}}$ = Energia útil do equipamento [kW];

$Q_{\text{consumido}}$ = Energia total fornecida para o equipamento [kW].

Calor, é resultado da transferência de energia espontânea e impulsionada pela diferença de temperatura entre dois corpos. A termodinâmica irá quantificar a quantidade de calor que será trocado mas as taxas de transferência de calor são determinadas por outras análises. O calor pode ser transferido por três mecanismos distintos, que são: condução, radiação e convecção (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 17).

Dentre esses mecanismos, somente condução e radiação, devem ser classificados diretamente como mecanismos de transferência de calor, pois, eles dependem apenas da diferença de temperatura para acontecer. Já a convecção, não obedece apenas essa regra, ou seja, ela não é impulsionada apenas pela diferença de temperatura, pois além da diferença de temperatura depende do transporte mecânico de massa. Mas como a convecção também trabalha com a transmissão de energia de regiões com altas temperaturas, para regiões de baixas temperaturas, o termo “transferência de calor por convecção” é aceito (KREITH; BOHN, 2003, p. 3).

2.3.1 Condução

Segundo Kreith e Bohn (2003) sempre que houver gradientes de temperatura entre um meio sólido, o calor irá fluir da região de maior temperatura para a região de menor temperatura. A condução pode ocorrer em meios sólidos, líquidos ou gasosos.

Em gases ou líquidos, esse mecanismo acontece por causa das colisões e difusões das moléculas em movimentos aleatórios. Já nos sólidos, as vibrações das moléculas em rede são a fonte da transmissão de energia, e esta energia é transportada por elétrons livres (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 19).

A condução de calor é proporcional ao gradiente de temperatura pela espessura do material e a área da face onde ocorre a transferência de calor. A igualdade se dá acrescentando a condutividade térmica do material. A condutividade

térmica é uma propriedade exclusivamente definida pelo tipo de material que estará sujeito a transferência de calor, e indica a quantidade de energia por unidade de tempo, que fluirá através de uma unidade de área quando o gradiente de temperatura for unitário (KREITH; BOHN, 2003, p. 4), a Tabela 2 fornece alguns valores de condutividade térmica.

Tabela 2 - Condutividade térmica de alguns materiais a temperatura ambiente.

Material	k , W/m.K
Diamante	2.300
Prata	429
Cobre	401
Ouro	317
Alumínio	237
Ferro	80,2
Mercúrio (l)	8,54
Vidro	0,78
Tijolo	0,72
Água (l)	0,607
Pele humana	0,37

Fonte: Çengel e Ghajar (2012).

A equação de transferência de calor por condução, está descrita na Equação 3, essa equação é conhecida também como a lei de condução de Fourier ou lei de Fourier de condução (BORGNAKKE; SONNTAG, 2016, p. 103).

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \frac{A \cdot k \cdot (T_{\text{alta}} - T_{\text{baixa}})}{e} \quad (3)$$

Onde:

$\dot{Q}_{\text{cond}}$ = Calor de condução [kW];

A = Área da face onde ocorre a transferência de calor [m²];

k = Condutividade térmica do material [kW/m.K];

e = Espessura do material perpendicular à área [m];

T_{alta} = Temperatura mais alta entre as faces do material [K];

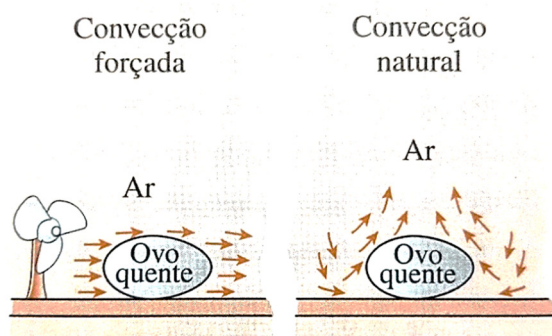
T_{baixa} = Temperatura mais baixa entre as faces do material [K].

2.3.2 Convecção

A convecção é a transferência de energia entre uma superfície sólida e um líquido ou gás em contato, é constituída por dois mecanismos que operam simultaneamente. O primeiro mecanismo é a transferência de energia que se deve ao movimento molecular que é o modo condutivo, uma molécula irá conduzir energia para outra. O segundo mecanismo está associado ao movimento macroscópico das parcelas de fluido. O movimento das parcelas de fluido, que são formadas por um grande número de moléculas, irão se mover devido a uma força externa (KREITH; BOHN, 2003, p. 14).

Segundo Kroos e Potter (2015) a força externa, pode ser provocada de duas maneiras. Uma delas é devido um gradiente de densidade, como acontece na convecção natural. O outro é ar sendo soprado por um ventilador ou por um mecanismo que transfere energia cinética para o ar, o que acontece na convecção forçada. Uma ilustração pode ser vista na Figura 14, representando os dois tipos de convecção.

Figura 14 - Resfriamento de um ovo quente por convecção forçada e natural.



Fonte: Çengel e Ghajar (2012).

Quanto maior for o movimento do fluido, maior será a transferência de energia associada a convecção. E na ausência de movimento de massa fluida, a transferência de calor irá ocorrer apenas por condução (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 25).

A transferência de calor por convecção, é um modo diferente de transferência de energia, ela ocorre quando o meio está escoando. Nesse tipo de transferência o escoamento da matéria, que está próximo a uma superfície com uma temperatura diferente daquela do meio que escoar, apresentará níveis de energia diferentes (BORGNAKKE; SONNTAG, 2016, p. 103).

Apesar de parecer bastante complexo esse tipo de transferência de energia, a lei de Newton do resfriamento, fornece uma expressão para a transferência de calor por convecção, que está exibida na Equação 4. Onde a taxa de transferência é diretamente proporcional a diferença de temperatura, a área da superfície sólida e ainda a um coeficiente de transferência de calor (KROOS; POTTER, 2015, p. 87).

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad (4)$$

Onde:

$\dot{Q}_{\text{conv}}$ = Calor de convecção [kW];

h = Coeficiente de transferência de calor por convecção [kW/m².K];

A = Área da face onde ocorre a transferência de calor [m²];

T_s = Temperatura superficial do componente analisado [°C];

T_{∞} = Temperatura do fluido suficientemente longe da superfície [°C].

Ambas as convecções forçada e natural, possuem um conjunto de equações que tratam do coeficiente de transferência de calor por convecção, que não é uma propriedade do fluido, mas sim, uma medida experimental, que leva em conta todas as variáveis que influenciam na convecção, como: geometria da superfície, tipo de movimento, velocidade e propriedades do fluido. Valores típicos do coeficiente podem ser encontrados na Tabela 3 (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 26).

Tabela 3 - Valores típicos do coeficiente de transferência de calor por convecção

Tipo de convecção	h , W/m ² .K
Convecção livre de gases	2-25
Convecção livre de líquidos	10-1.000
Convecção forçada de gases	25-250
Convecção forçada de líquidos	50-20.000
Ebulição e condensação	2.500-100.000

Fonte: Çengel e Ghajar (2012).

2.3.2.1 Convecção natural

O coeficiente de transferência de calor por convecção é fortemente influenciado pela velocidade do escoamento, na convecção natural, são encontradas velocidades baixas, normalmente menos de 1 m/s. Por este motivo, os coeficiente de convecção natural são normalmente muito menores que os encontrados na convecção forçada (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 519).

Segundo Kreith e Bohn (2003) essa troca de calor sempre irá ocorrer quando um corpo é inserido em um ambiente com um fluido, e este fluido possui uma temperatura mais alta ou mais baixa que a do corpo. O que causa uma mudança na densidade do fluido em contato com a superfície do corpo. Criando assim um fluxo descendente do fluido mais pesado e o ascendente do fluido mais leve.

Segundo Incropera & DeWitt (2014) a primeira equação que rege a convecção natural é o número de Rayleigh, que é o produto do número de Grashof pelo número de Prandtl. O número de Grashof, descreve a relação entre a variação da viscosidade dentro do fluido. O número de Prandtl é a relação que indica a quantidade de movimento de um fluido e a quantidade de calor que se dissipa dentro do fluido. Para gases é cerca de 1, o que significa que tanto o movimento quanto a dissipação de calor acontecem mais ou menos na mesma taxa. O número de Rayleigh está definido na Equação 5 (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 384).

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L_c^3}{\vartheta \cdot \alpha} = \frac{g \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L_c^3}{T_{film} \cdot \vartheta \cdot \alpha} \quad (5)$$

Onde:

Ra_L = Número de Rayleigh [adimensional];

$g = 9,80665$ = Aceleração da gravidade [m/s^2];

β = Coeficiente de expansão volumétrica (para gás ideal $\beta = 1/T_{film}$) [K^{-1}];

T_s = Temperatura superficial do componente analisado [$^{\circ}C$];

T_∞ = Temperatura do fluido suficientemente longe da superfície [$^{\circ}C$];

L_c = Comprimento característico da geometria [m];

ϑ = Viscosidade cinemática do fluido [m^2/s];

α = Difusividade térmica do fluido [m^2/s].

Nessa equação nos deparamos com novas variáveis, a primeira representa uma temperatura de filme e a segunda um comprimento para a superfície, que depende se a superfície está inclinada, virada para cima ou para baixo.

Se uma superfície quente está envolta por um fluido frio, a força resultante estará voltada para cima. Um fluido que está sendo aquecido em contato com a superfície voltada para cima sobe livremente, mas se está virada para baixo, a placa aquecida acaba bloqueando o fluido que tenta subir (exceto nas bordas). O caso oposto também é verdadeiro se uma placa fria está envolta por um fluido quente, a superfície superior bloqueia a descida do fluido (KROOS; POTTER, 2015, p. 280). O comprimento característico está descrito na Equação 6.

A equação do comprimento característico é utilizada em casos ainda não definidos dessa dimensão. Çengel e Ghajar (2012) definem comprimentos característicos para diversas geometrias, por exemplo, para placas verticais é a altura dessa placa assim como para cilindros verticais. Já para cilindros horizontais é o diâmetro que define o comprimento característico. Cada caso deve ser analisado de forma exclusiva, para que não haja equívocos na determinação dessa relação.

$$L_c = \frac{A}{p} \quad (6)$$

Onde:

L_c = Comprimento característico da geometria [m];

A = Área da face onde ocorre a transferência de calor [m²];

p = Perímetro da superfície onde ocorre a transferência de calor [m].

A convecção natural necessita de informações do ar em uma temperatura média, chamada de temperatura de filme. A temperatura de filme, é a média aritmética entre a temperatura superficial e a temperatura do fluido no qual a superfície está inserida. Essa temperatura de filme é determinada pela Equação 7 (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 527).

$$T_{\text{film}} = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \quad (7)$$

Onde:

T_{filme} = Temperatura de filme [$^{\circ}\text{C}$];

T_s = Temperatura superficial do componente analisado [$^{\circ}\text{C}$];

T_{∞} = Temperatura do fluido suficientemente longe da superfície [$^{\circ}\text{C}$].

Para determinação do coeficiente de convecção natural, precisa-se definir um parâmetro adimensional que pode ser considerado igual ao gradiente de temperatura na superfície, a partir dessa definição e utilizando um fluido particular para os experimentos, é definido o parâmetro, que é chamado de número de Nusselt (KREITH; BOHN, 2003, p. 219).

Segundo Incropera & DeWitt (2014) o número de Nusselt pode ser visto como uma analogia do coeficiente de atrito, ou seja, o Nusselt é para a camada limite térmica o que o coeficiente de atrito é para a camada limite de velocidade.

O número de Nusselt para placas verticais está definido na Equação 8 que serve para faixas do número de Rayleigh de $10^4 < Ra_L < 10^{13}$ (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 528). Para placas horizontais com superfície quente virada para baixo, a Equação 9 serve para faixa do número de Rayleigh de $10^5 < Ra_L < 10^{10}$ (KREITH; BOHN, 2003, p. 281).

$$N_{\square} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot (Ra_L)^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (8)$$

$$N_{\square} = 0,27 \cdot Ra_L^{1/4} \quad (9)$$

Onde:

$N_{\square}$ = Número de Nusselt [adimensional];

Ra_L = Número de Rayleigh [adimensional];

Pr = Número de Prandtl do fluido [adimensional].

Após ser determinado o número de Nusselt, pode-se calcular o coeficiente de transferência de calor por convecção, que tem uma relação direta com o número de

Nusselt e está definido na Equação 10 (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 376). Depois de determinado o coeficiente utilizando a Equação 4 pode-se determinar a taxa de transferência de calor por convecção.

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L_c} \quad (10)$$

Onde:

h = Coeficiente de transferência de calor por convecção [kW/m².K];

Nu = Número de Nusselt [adimensional];

k = Condutividade térmica do fluido [kW/m.K];

L_c = Comprimento característico da geometria [m].

2.3.3 Radiação

A transferência de calor por radiação, é a transferência de energia que ocorre por ondas eletromagnéticas. Qualquer substância emite radiação, quando sua temperatura está acima do zero absoluto (KROOS; POTTER, 2015, p. 87).

Diferente da condução e da convecção, a radiação não exige um meio material para que exista, e não sofre diminuição no vácuo. Nos estudos que envolvem transferência de calor por radiação, o interesse é na radiação térmica, que é a forma na qual a energia é emitida dos corpos devido a suas temperaturas (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 27).

Corpos reais não funcionam como radiadores ideais, eles emitem a radiação a uma taxa menor. Se eles fizerem a emissão a uma mesma temperatura de um corpo negro, mas só emitirem uma fração em cada comprimento de onda, esse corpo é chamado de corpo cinzento. A equação de transferência de calor por radiação para um corpo cinzento, é proporcional a área, a temperatura superficial e a emissividade (Tabela 4) do corpo cinzento e a temperatura dos meios que o circundam (KREITH; BOHN, 2003, p. 18).

Tabela 4 - Emissividades de alguns materiais a 300K.

Material	Emissividade
Alumínio em folhas	0,07
Alumínio anodizado	0,82
Cobre polido	0,03
Ouro polido	0,03
Prata polida	0,02
Pintura preta	0,98
Pintura branca	0,90

Fonte: Çengel e Ghajar (2012).

A equação da radiação torna-se uma igualdade acrescentando-se a constante de Stefan-Boltzmann da radiação térmica, e está expressa na Equação 11 (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 28).

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_{\text{sradiação}} \cdot (T_s^4 - T_{\text{cir}}^4) \quad (11)$$

Onde:

$\dot{Q}_{\text{rad}}$ = Calor de radiação [kW];

$\varepsilon = 0 < \varepsilon < 1$ = Emissividade [adimensional];

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-11}$ = Constante de Stefan-Boltzmann [kW/m² K⁴];

$A_{\text{sradiação}}$ = Área superficial de radiação [m²];

T_s = Temperatura superficial do componente analisado [°C];

T_{cir} = Temperatura dos arredores [K].

2.4 PROPRIEDADES DA ÁGUA PURA

Uma substância pode ser considerada pura, quando possuir uma composição química invariável e homogênea, podendo existir em mais de uma fase simultaneamente, mas sua composição química deve ser a mesma em todas as fases (BORGNAKKE; SONNTAG, 2016, p. 54). Segundo Moran e Shapiro (2009) “O termo “fase” refere-se a uma quantidade de matéria que é homogênea como um todo, tanto em composição química como em estrutura física”.

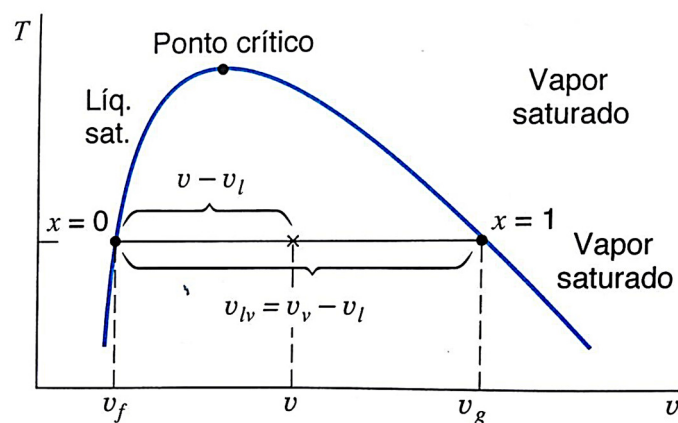
As fases de uma substância são: sólida, líquida e gasosa. Utilizando como exemplo a água que pode ser facilmente encontrada nas três fases, quando se tem água na fase sólida comumente é chamada de gelo, na sua fase líquida é chamada apenas de água e na fase gasosa é chamada de vapor d'água ou apenas vapor (MORAN; SHAPIRO, 2009, p. 71).

Todas as substâncias possuem propriedades que podem ser medidas ou calculadas a partir de medições. As propriedades mais comuns são: pressão, temperatura e volume específico, estas são relativamente fáceis de determinar. Existem outras propriedades que não são fáceis de se medir, como por exemplo a energia que uma determinada massa possui. As propriedades estão associadas ao estado de determinada substância (BORGNAKKE; SONNTAG, 2016, p. 25).

Existem propriedades que dependem do tamanho do sistema, e aquelas que não dependem. As chamadas “propriedades extensivas” são aquelas que dependem da massa do sistema, como volume e energia interna. As “propriedades intensivas” não dependem da massa do sistema, a temperatura não depende do tamanho do sistema (KROOS; POTTER, 2015, p. 12).

Os estados termodinâmicos definidos pelas propriedades, podem estar em uma ou mais de uma fases simultaneamente. A fase líquida tem dois estados conhecidos: líquido saturado e líquido comprimido. A fase gasosa também possui dois estados, conhecidos como: vapor saturado e vapor superaquecido. Também pode existir uma mistura de fases, como por exemplo a mistura bifásica líquido-vapor (MORAN; SHAPIRO, 2009, p. 74-5).

Figura 15 - Diagrama T-v para a região bifásica líquido-vapor.



Fonte: Borgnakke & Sonntag (2016)

Quando tem-se a mistura bifásica líquido-vapor, entende-se que a substância está a uma temperatura e pressão de saturação, que ficam constantes durante a mudança de fase. Aqui, existe uma nova propriedade para determinar o estado, chamada “título” representado pela letra “x”. O título pode ser interpretado como sendo a fração da distância entre os estados de líquido e vapor saturado (Figura 15) (BORGNAKKE; SONNTAG, 2016, p. 61-2).

Na Tabela 5 e na Tabela 6 os índices “l” indicam propriedades de líquido saturado e “v” indicam propriedades de vapor saturado. O índice “lv” indica o valor compreendido entre a linha de saturação de líquido e a de vapor (BORGNAKKE; SONNTAG, 2016, p. 61-2).

Tabela 5 - Tabela de água saturada em função da temperatura.

Temp. °C	Pressão kPa	Volume específico (m ³ /kg)		Energia interna (kJ/kg)			Entalpia (kJ/kg)			Entropia (kJ/kg K)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
T	P	v_l	v_v	u_l	u_{lv}	u_v	h_l	h_{lv}	h_v	s_l	s_{lv}	s_v
20	2,339	0,001002	57,7897	83,94	2318,98	2402,91	83,94	2454,12	2538,06	0,2966	8,3706	8,6671
25	3,169	0,001003	43,3593	104,86	2304,90	2409,76	104,87	2442,30	2547,17	0,3673	8,1905	8,5579
30	4,246	0,001004	32,8922	125,77	2290,81	2416,58	125,77	2430,48	2556,25	0,4369	8,0164	8,4533
35	5,628	0,001006	25,2158	146,65	2276,71	2423,36	146,66	2418,62	2565,28	0,5052	7,8478	8,3530
40	7,384	0,001008	19,5229	167,53	2262,57	2430,11	167,54	2406,72	2574,26	0,5724	7,6845	8,2569
45	9,593	0,001010	15,2581	188,41	2248,40	2436,81	188,42	2394,77	2583,19	0,6386	7,5261	8,1647
50	12,350	0,001012	12,0318	209,30	2234,17	2443,47	209,31	2382,75	2592,06	0,7037	7,3725	8,0762
55	15,758	0,001015	9,56835	230,19	2219,89	2450,08	230,20	2370,66	2600,86	0,7679	7,2234	7,9912
60	19,941	0,001017	7,67071	251,09	2205,54	2456,63	251,11	2358,48	2609,59	0,8311	7,0784	7,9095

Fonte: Borgnakke & Sonntag (2016)

Tabela 6 - Tabela de água saturada em função da pressão.

Pressão kPa	Temp. °C	Volume específico (m ³ /kg)		Energia interna (kJ/kg)			Entalpia (kJ/kg)			Entropia (kJ/kg K)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
P	T	v_l	v_v	u_l	u_{lv}	u_v	h_l	h_{lv}	h_v	s_l	s_{lv}	s_v
500	151,86	0,001093	0,37489	639,66	1921,57	2561,23	640,21	2108,47	2748,67	1,8606	4,9606	6,8212
600	158,85	0,001101	0,31567	669,88	1897,52	2567,40	670,54	2086,26	2756,80	1,9311	4,8289	6,7600
700	164,97	0,001108	0,27286	696,43	1876,07	2572,49	697,20	2066,30	2763,50	1,9922	4,7158	6,7080
800	170,43	0,001115	0,24043	720,20	1856,58	2576,79	721,10	2048,04	2769,13	2,0461	4,6166	6,6627
900	175,38	0,001121	0,21497	741,81	1838,65	2580,46	742,82	2031,12	2773,94	2,0946	4,5280	6,6225
1000	179,91	0,001127	0,19444	761,67	1821,97	2583,64	762,79	2015,29	2778,08	2,1386	4,4478	6,5864
1100	184,09	0,001133	0,17753	780,08	1806,32	2586,40	781,32	2000,36	2781,68	2,1791	4,3744	6,5535
1200	187,99	0,001139	0,16333	797,27	1791,55	2588,82	798,64	1986,19	2784,82	2,2165	4,3067	6,5233

Fonte: Borgnakke & Sonntag (2016)

Algumas propriedades podem mudar durante os processos termodinâmicos, variando com mudanças de: temperatura e pressão. A densidade (Equação 12) de um corpo é a relação entre sua massa e seu volume. As mudanças na densidade para os gases são acentuadas quando ocorrem mudanças na pressão pelo fato de serem fluídos compressíveis. O volume específico (Equação 13) pode ser determinado pelo inverso da densidade. Na termodinâmica a palavra “específico” tem um significado diferente e muito particular, sempre que a palavra específico aparecer significa que a grandeza está por unidades de massa (KROOS; POTTER, 2015, p.14).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (12)$$

$$v = \frac{V}{m} \quad (13)$$

Onde:

ρ = Massa específica [kg/m³];

v = Volume específico [m³/kg];

m = Massa do corpo [kg];

V = Volume do corpo [m³].

A energia interna (representada pela letra “u”) e a entalpia (representada pela letra “h”) são quantidades de energia de uma determinada substância, a energia interna descreve o total de energia que um fluido precisa receber, ou que ele pode ceder para realizar determinado processo. A entalpia descreve o total de energia de um sistema que é a soma da energia interna com o trabalho realizado para a substância ocupar um determinado volume (BORGNAKKE; SONNTAG, 2016, p. 105-11).

Os calores específicos a volume constante e a pressão constante são relações definidas para descrever como é o comportamento da energia interna e entalpia com a variação da temperatura. São descritos pelas equações 14 e 15 (MORAN; SHAPIRO, 2009, p. 90-1).

$$C_v = \frac{\Delta U}{\Delta T} \quad (14)$$

$$C_p = \frac{\Delta H}{\Delta T} \quad (15)$$

Onde:

C_v = Calor específico a volume constante [J/kg·K];

C_p = Calor específico a pressão constante [J/kg·K];

ΔU = Variação da energia interna de uma substância [J/kg];

ΔH = Variação das entalpia de uma substância [J/kg];

ΔT = Variação de temperatura da substância [K].

3 METODOLOGIA

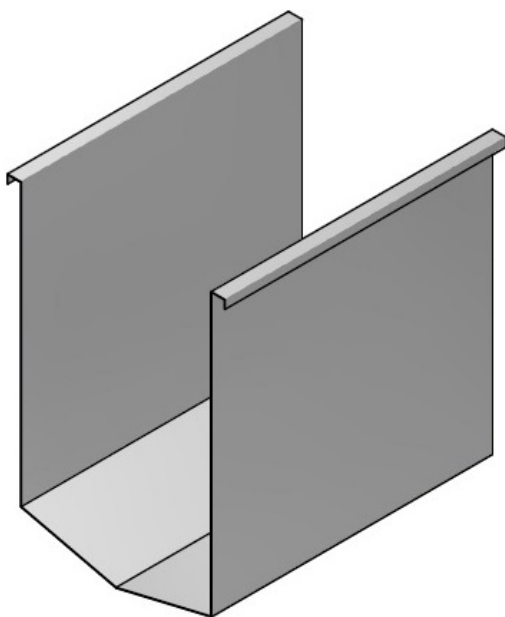
3.1 MATERIAIS

3.1.1 Características construtivas do tanque de escaldagem

Para executar o cálculo da carga térmica de um tanque de escaldagem, será necessário determinar um equipamento qualquer, para que seja feita a análise em cima de suas características dimensionais e técnicas. O tipo de tanque de escaldagem que será utilizado nesse estudo, funciona com agitação mecânica (Figura 12) para movimentação da água. Ambos os tanques de escaldagem, tem seu corpo construído em módulos, para facilitar a sua montagem, pois normalmente são equipamentos de grandes dimensões.

Na Figura 16, está exibido um módulo do corpo do tanque de escaldagem, esse módulo, pode possuir comprimento variável, por conveniência usa-se as larguras padrões das chapas de aço inoxidável que são de 1000, 1200 e 1500mm (FEITAL, 2018).

Figura 16 - Módulo do corpo do tanque de escaldagem.



Fonte: Autor.

O aço inoxidável polido ou escovado segundo Çengel e Ghajar (2012) possui uma emissividade de 0,17 à 0,30, se estiver operando em uma faixa de temperatura

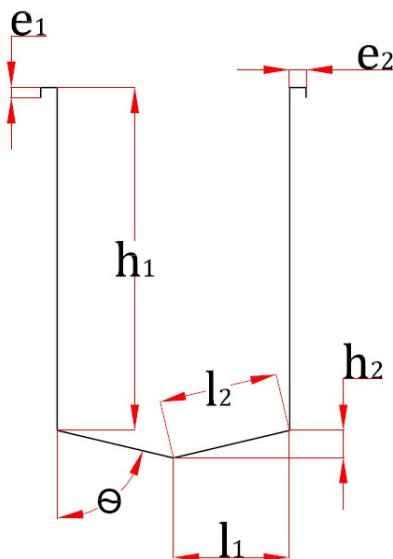
de 300K até 1000K. Devendo-se sempre determinar a emissividade real do aço inoxidável que será utilizado. Será utilizado para esse dimensionamento um aço inoxidável com uma emissividade de 0,30.

Esse corpo não possui dimensões fixas, o comprimento depende do tamanho das chapas, as características do perfil dos módulos mudam conforme o animal a ser escaldado. Se forem frangos as dimensões mudam com as raças, para esse projeto serão escaldados frangos de corte.

Na Figura 17 está exibida uma vista frontal desse tipo de módulo e também estão cotadas as principais dimensões do mesmo. Normalmente para espaçamento entre os frangos e as laterais do corpo do tanque, é utilizado pelos fabricantes uma distância de 168,75mm, para que o frango não toque nas laterais.

Um tanque de escaldagem que possui um espaçamento de 168,75mm e largura de 675mm, tem duas passagens do frango por dentro da água. Então um tanque de escaldagem que possui mais de uma passagem do frango na água, será denominado de tanque de escaldagem com “ $n_{\text{passagens}}$ ” na água.

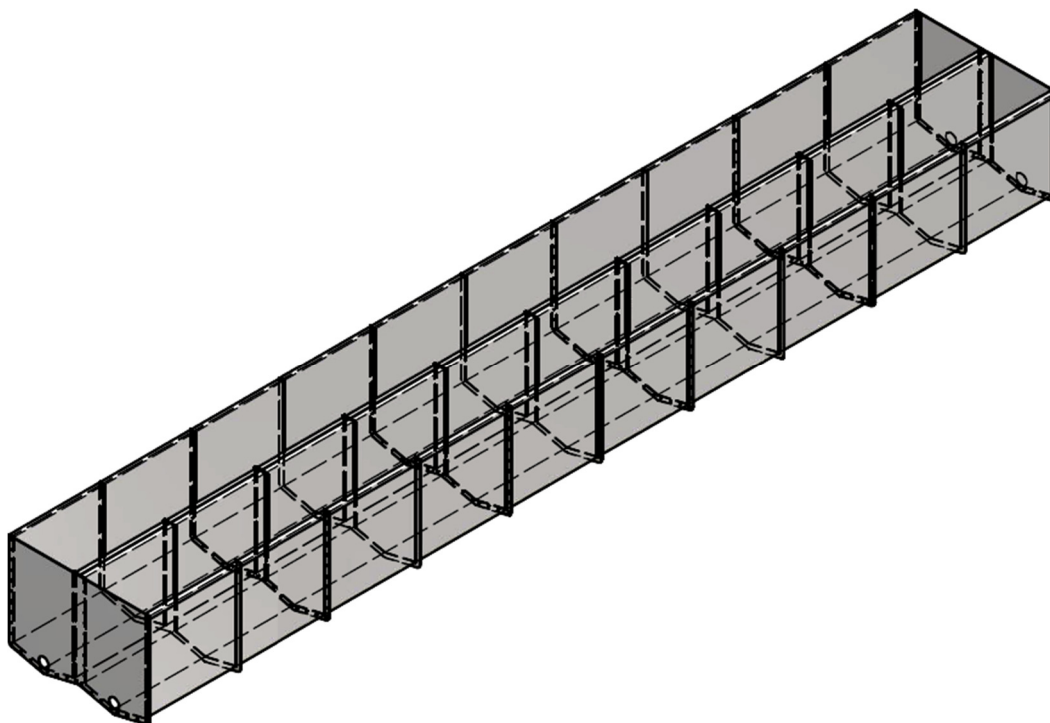
Figura 17 - Vista frontal do módulo do corpo do tanque de escaldagem.



Fonte: Autor.

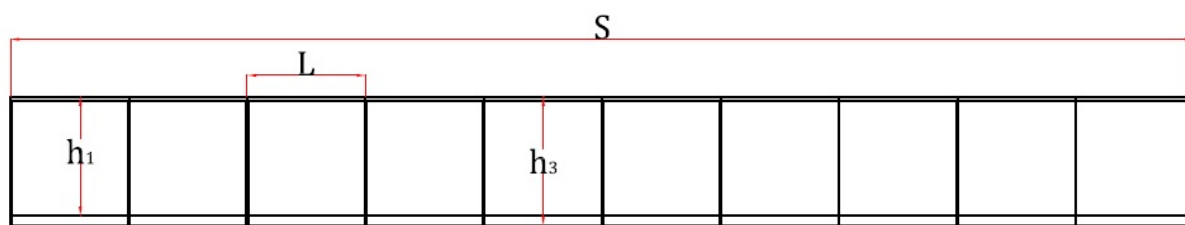
Na Figura 18 está exibido um tipo de corpo usado em tanques de escaldagem com 10 módulos e dois canais. Os módulos são emendados por juntas de flanges parafusadas, de modo a fazer a vedação de um flange com o outro. A Figura 19 representa uma vista lateral de um corpo de tanque de escaldagem, onde estão cotadas suas principais dimensões.

Figura 18 - Corpo do tanque de escaldagem com 10 módulos.



Fonte: Autor.

Figura 19 - Vista lateral corpo do tanque de escaldagem.



Fonte: Autor.

Na Tabela 7 consta a descrição de todas as dimensões do corpo do tanque de escaldagem (Figuras 17 e 19), para que possam ser entendidas as marcações de cotas dos mesmos, também estão definidos os valores das dimensões que o tanque de escaldagem do estudo irá possuir.

O tanque de escaldagem projetado irá possuir 2 passagens e 10,5 metros de comprimento total. Para a distância que o frango irá percorrer imerso na água deve-se ainda considerar que não há possibilidade do trilho ir até o comprimento total. Precisam existir folgas para que não fiquem com o mesmo comprimento evitando a colisão do frango com as tampas. As folgas para retorno dos trilhos no tanque de escaldagem, tem a medida de 500mm e isso é deixado em cada retorno do trilho.

A analogia para determinação do número de retornos pode ser vista da seguinte forma: duas passagens consecutivas considera-se um retorno, caso tenha três passagens há dois retornos, e assim sucessivamente.

Tabela 7 - Descrição das dimensões do corpo do tanque de escaldagem.

Dimensão	Descrição	Módulo
e_1	Dobra para reforçar o módulo vertical.	30mm
e_2	Dobra para reforçar o módulo horizontal.	50mm
h_1	Altura interna do módulo.	1000mm
h_2	Altura do fundo do módulo.	80mm
h_3	Soma das alturas interna e do fundo.	1080mm
L	Comprimento do módulo.	1500mm
l_1	Distância até o centro do módulo.	337,50mm
l_2	Largura do fundo do módulo.	346,85mm
θ	Ângulo de fundo do módulo.	77°
S	Comprimento total do tanque.	10500mm
S_{trilho}	Comprimento total do trilho.	10000mm
n_{laterais}	Número de laterais do corpo.	2
n_{fundos}	Número de dobras no fundo do corpo.	2
n_{tampas}	Número de tampas.	2
$n_{\text{passagens}}$	Número de passagens do frango na água.	2
n_{retorno}	Número de retornos de 500mm.	1
ϵ	Emissividade do material.	0,3

Fonte: Autor.

Através de análise dimensional é possível determinar a velocidade de passagem dos frangos por dentro dos tanques, utilizando alguns parâmetros definidos como: tempo de escaldagem e distância dos retornos. Para o tanque de escaldagem a velocidade do frango é definida pela Equação 16, utilizando-se um tempo pré-determinado para a maior eficiência na escaldagem.

$$V_{\text{frango}} = \frac{(S - 0,5m \cdot n_{\text{retorno}}) \cdot n_{\text{passagens}}}{t_{\text{escaldagem}}} \quad (16)$$

Onde:

v_{frango} = Velocidade do frango durante a escaldagem [m/s];

S = Comprimento do tanque de escaldagem [m];

n_{retorno} = Número de retornos [adimensional];

$n_{\text{passagens}}$ = Número de passagens [adimensional];

$t_{\text{escaldagem}}$ = Tempo de escaldagem [s].

Com a velocidade do frango durante a escaldagem e a distância padrão entre os frangos, pode ser calculada a produção de frangos para esse equipamento, que é determinada pela Equação 17, tratando de unidades usualmente utilizadas nas indústrias frigoríficas, é expressa em frangos por hora.

A distância entre os ganchos onde os frangos são enroscados é usualmente de 6" de um ao outro, então a cada 1066,8mm temos 7 frangos pendurados, ou a cada metro temos 6,562 frangos, essa informação é importante para determinação da produção de frangos.

$$p_{\text{frango}} = v_{\text{frango}} \cdot d_{\text{padrão}} \cdot 3600 \frac{s}{h} \quad (17)$$

Onde:

p_{frango} = Produção de frangos [frango/h];

v_{frango} = Velocidade do frango durante a escaldagem [m/s];

$d_{\text{padrão}} = 6,562$ = Distância padrão entre os frangos [frango/m].

Com o fluxo de frangos que serão introduzidos no equipamento de escaldagem que é definido pela produção do frigorífico (Equação 17), e a massa média dos frangos (que deve ser feita uma análise de acordo com o tamanho das aves abatidas no frigorífico), pode-se determinar a taxa de massa de frangos que passam pelo interior do equipamento de escaldagem que é calculada pela Equação 18.

$$\dot{m}_{\text{frango}} = p_{\text{frango}} \cdot \bar{m}_{\text{frango}} \cdot \frac{1h}{3600s} \quad (18)$$

Onde:

$\dot{m}_{\text{frango}}$ = Vazão mássica de frango [kg/s];

p_{frango} = Produção de frangos [frango/h];

$\bar{m}_{\text{frango}}$ = Massa média dos frangos [kg/frango].

O corpo do tanque de escaldagem possui várias áreas superficiais, e para o cálculo das taxas de transferência de calor, essas áreas influenciam diretamente nos resultados, porque todos os tipos de transferência de calor são diretamente proporcionais a área superficial do corpo que está transferindo a energia.

As áreas são calculadas por retângulos. O modelo de corpo da Figura 16 possui duas áreas laterais, mas pode possuir duas fileiras de módulos (Figura 18) o que ocasionaria um aumento na área das laterais, devendo-se analisar se o ar entre os módulos duplos está estagnado. Dessa forma a área total das laterais pode ser calculada pela Equação 19.

$$A_{\text{laterais}} = n_{\text{laterais}} \cdot h_1 \cdot S \quad (19)$$

Onde:

A_{laterais} = Área total das laterais do corpo [m²];

n_{laterais} = Número de laterais externas [adimensional];

h_1 = Altura da lateral do módulo [m];

S = Comprimento do tanque de escaldagem [m].

A transferência de calor ocorre também pelo fundo do corpo. Se o fundo for em forma de “V”, o número de fundos sempre será igual ao número de laterais externas, caso não seja em “V” é necessário analisar a quantidade. O ângulo do fundo do tanque influencia na saída dos resíduos de dentro do corpo do tanque de escaldagem. Assim a área total de fundo pode ser determinada na Equação 20.

$$A_{\text{fundos}} = n_{\text{fundos}} \cdot l_2 \cdot S \quad (20)$$

Onde:

A_{fundos} = Área total do fundo do corpo [m²];

n_{fundos} = Número de áreas de fundo externas [adimensional];

l_2 = Largura do fundo do módulo [m];

S = Comprimento do tanque de escaldagem [m].

A área frontal do corpo do tanque de escaldagem também deve ser considerada, é chamada de área das tampas. É determinada pela Equação 21, considerando-se, por margem de segurança, que não há desconto por furações. Como essa área é calculada para uma tampa, então se o corpo for duplo, serão quatro tampas, devendo-se cuidar com os números determinados.

$$A_{\text{tampas}} = n_{\text{tampas}} \cdot l_1 \cdot [(2 \cdot h_1) + h_2] \quad (21)$$

Onde:

A_{tampas} = Área total das tampas do corpo [m²];

n_{tampas} = Número de tampas [adimensional];

l_1 = Distância até o centro do módulo [m];

h_1 = Altura da lateral do módulo [m];

h_2 = Altura do fundo do módulo [m].

O volume total de água contida no tanque, também deve ser calculado, o nível de água dentro do corpo deve ficar pelo menos 100mm abaixo das dobras de reforço horizontais, então o volume total de água pode ser determinado pela Equação 22.

O nível de água do tanque de escaldagem deve ser controlado a partir monitoramento por sensores, pois, quando o tanque está em funcionamento, há resíduos que se desprendem dos frangos como penas, que criam um lodo e espuma na superfície da água o que atrapalha a visão do operador do nível da água.

$$V_{\text{água corpo}} = S \cdot l_1 \cdot [(2 \cdot (h_1 - 0,1\text{m})) + h_2] \quad (22)$$

Onde:

$V_{\text{água corpo}}$ = Volume disponível para água dentro do corpo [m^3];

S = Comprimento do tanque de escaldagem [m];

l_1 = Distância até o centro do módulo [m];

h_1 = Altura interna do módulo [m];

h_2 = Altura do fundo do módulo [m].

Com o volume que a água irá ocupar dentro do corpo do tanque, determina-se a massa de líquido que estará disponível para a escaldagem, e ficará a temperatura pré-determinada antes do início do processo. A massa de líquido pode ser determinada pela Equação 12 ou 13, utilizando a densidade ou o volume específico do fluido já aquecido.

3.1.2 Características térmicas do tanque de escaldagem

Antes da determinação das variáveis térmicas do processo, é necessário determinar as especificações da sala de escaldagem onde o equipamento estará inserido. A sala sempre irá possuir uma temperatura maior que a temperatura ambiente, mas, para efeitos de cálculo, a sala terá ar atmosférico a uma temperatura de 20°C e pressão de $101,325\text{kPa}$, com massa específica e umidade absoluta respectivamente iguais a $1,2\text{ kg/m}^3$ e $0,0\text{ kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$. (NBR 16401/1 2008).

Como o ar da sala vai estar a uma temperatura de 20°C , os arredores da sala, serão considerados a mesma temperatura, sendo assim o teto, paredes, janelas, portas, entre outros, estarão a temperatura de 20°C .

As propriedades do ar para os cálculos devem ser adquiridas em tabelas específicas, as informações para várias temperaturas do ar a pressão atmosférica estão contidas na Tabela 8.

A análise térmica do tanque de escaldagem deve levar em conta as temperaturas padrões e tempos de escaldagem aproximados. Segundo Roça (2018) no Brasil utiliza-se de 52 a 54°C , que na Tabela 1, é denominada de escaldagem Branda.

Tabela 8 - Propriedades do ar a pressão de 101,325kPa.

Temp. T, °C	Densidade ρ , kg/m ³	Calor específico c_p , J/kg · K	Condutividade térmica k, W/m · K	Difusividade térmica α , m ² /s ²	Viscosidade dinâmica μ , kg/m · s	Viscosidade cinemática ν , m ² /s	Número de Prandtl Pr
0	1,292	1.006	0,02364	$1,818 \times 10^{-5}$	$1,729 \times 10^{-5}$	$1,338 \times 10^{-5}$	0,7362
5	1,269	1.006	0,02401	$1,880 \times 10^{-5}$	$1,754 \times 10^{-5}$	$1,382 \times 10^{-5}$	0,7350
10	1,246	1.006	0,02439	$1,944 \times 10^{-5}$	$1,778 \times 10^{-5}$	$1,426 \times 10^{-5}$	0,7336
15	1,225	1.007	0,02476	$2,009 \times 10^{-5}$	$1,802 \times 10^{-5}$	$1,470 \times 10^{-5}$	0,7323
20	1,204	1.007	0,02514	$2,074 \times 10^{-5}$	$1,825 \times 10^{-5}$	$1,516 \times 10^{-5}$	0,7309
25	1,184	1.007	0,02551	$2,141 \times 10^{-5}$	$1,849 \times 10^{-5}$	$1,562 \times 10^{-5}$	0,7296
30	1,164	1.007	0,02588	$2,208 \times 10^{-5}$	$1,872 \times 10^{-5}$	$1,608 \times 10^{-5}$	0,7282
35	1,145	1.007	0,02625	$2,277 \times 10^{-5}$	$1,895 \times 10^{-5}$	$1,655 \times 10^{-5}$	0,7268
40	1,127	1.007	0,02662	$2,346 \times 10^{-5}$	$1,918 \times 10^{-5}$	$1,702 \times 10^{-5}$	0,7255
45	1,109	1.007	0,02699	$2,416 \times 10^{-5}$	$1,941 \times 10^{-5}$	$1,750 \times 10^{-5}$	0,7241
50	1,092	1.007	0,02735	$2,487 \times 10^{-5}$	$1,963 \times 10^{-5}$	$1,798 \times 10^{-5}$	0,7228
60	1,059	1.007	0,02808	$2,632 \times 10^{-5}$	$2,008 \times 10^{-5}$	$1,896 \times 10^{-5}$	0,7202
70	1,028	1.007	0,02881	$2,780 \times 10^{-5}$	$2,052 \times 10^{-5}$	$1,995 \times 10^{-5}$	0,7177
80	0,9994	1.008	0,02953	$2,931 \times 10^{-5}$	$2,096 \times 10^{-5}$	$2,097 \times 10^{-5}$	0,7154

Fonte: Çengel e Ghajar (2012).

O tanque de escaldagem do projeto irá operar com uma temperatura de 54 °C, então a água para escaldagem será aquecida por vapor saturado até essa temperatura. A água de entrada para renovação e para enchimento do tanque estará a temperatura ambiente, que assim como a sala de escaldagem (paredes, piso, teto e ar), estarão a 20 °C, as propriedades da água adquiridas na Tabela 5 para ambas as temperaturas, estão contidas na Tabela 9.

Tabela 9 - Propriedades da água líquida nas duas temperaturas.

Temperatura	20°C	54°C
Volume específico	0,0010020m ³ /kg	0,0010144m ³ /kg
Densidade	998kg/m ³	985,8kg/m ³
Entalpia	83,940kJ/kg	226,022kJ/kg

Fonte: Autor.

Para as mesmas dimensões do corpo do tanque de escaldagem, o tempo de escaldagem Branda pode ser de 30 a 150 segundos, um valor determinando a produção máxima e o outro a mínima. O tempo de escaldagem que será utilizado para determinar a carga térmica do tanque de escaldagem é o valor que Roça (2018) diz que é usual no Brasil, 90 segundos.

O ar para a convecção natural deve ser analisado a temperatura de filme, que é determinado pela Equação 7, e que tem valor de 37 °C. As propriedades do ar a essa temperatura média estão na Tabela 10, foram obtidos a partir da Tabela 8.

$$T_{\text{film}} = \frac{54^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C}}{2} = 37^{\circ}\text{C}$$

Tabela 10 - Propriedades a temperatura de 37°C.

Propriedades	Módulo
P	101,325kPa
β	$0,003224\text{K}^{-1}$
ρ	$1,1383\text{kg/m}^3$
C_p	$1,007\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
k	$2,6398 \cdot 10^{-5}\text{kW/m} \cdot \text{K}$
α	$2,3460 \cdot 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$
μ	$1,9180 \cdot 10^{-5}\text{kg/m} \cdot \text{s}$
ϑ	$1,6738 \cdot 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$
Pr	0,72628

Fonte: Autor.

Para determinar a carga térmica absorvida pelo frango é necessário conhecer seu calor específico, Çengel e Ghajar (2012) definem um calor específico que tem uma boa aproximação e depende do teor de água contido no elemento. O peito de frango possui um teor de água com aproximadamente 75%. Com esse teor de água o calor específico do peito de frango é $C_{pf} = 3,5625\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$. Esse calor específico será utilizado para todas as partes do frango, pois o peito é sua parte mais sensível.

A temperatura do frango logo após a sangria foi definida por Oliveira et al. (2006) como sendo de 41 a 42°C, para os cálculos será utilizada a temperatura de 41°C. A massa média dos frangos é definida por Carneiro et al. (2004) como sendo 2,50kg que também será utilizada nos cálculos. O frango irá passar da temperatura de 41°C para 54°C durante o processo de escaldagem.

Serão definidos dois tempos de processo, um para o início da operação, que precisa ocorrer em um intervalo de tempo menor (não há frangos sendo escaldados), e outro intervalo de tempo que é definido pelo funcionamento do tanque de escaldagem (há frangos sendo escaldados).

A energia para aquecimento da água contida no corpo do tanque, é feito para aquecer a água antes do início da passagem de frangos. Esse aquecimento pode ser

feito em várias faixas de tempo, o tempo que será utilizado para determinar a carga térmica de aquecimento será de uma hora, levando todo o volume de água contido no interior do corpo do tanque da temperatura ambiente, até a temperatura de trabalho.

Já para o funcionamento, é feita a manutenção do calor para manter a temperatura próxima da temperatura de trabalho. Agora havendo a passagem de frangos pela água, e nesse caso o tempo de processo é o mesmo que a jornada de trabalho aproximadamente oito horas, existindo um fluxo de água limpa para o tanque, de modo que a cada turno ocorra a renovação de todo o volume de água.

3.2 MÉTODOS

Os cálculos iniciais que serão feitos, são para determinar as variáveis necessárias para os cálculos de transferência de calor. As variáveis que podem ser definidas e que não dependem de outros fatores são as áreas superficiais. Estas áreas devem ser calculadas através das Equações 19, 20 e 21, utilizando as dimensões que estão na Tabela 7. Um caso à parte é o cálculo da área superficial de radiação, que é a soma das áreas superficiais do corpo do tanque de escaldagem, e pode ser determinada pela Equação 23.

$$A_{s_{\text{radiação}}} = A_{\text{laterais}} + A_{\text{fundos}} + A_{\text{tampas}} \quad (23)$$

Onde:

$A_{s_{\text{radiação}}} = \text{Área total de radiação do corpo [m}^2\text{];}$

$A_{\text{laterais}} = \text{Área total das laterais do corpo [m}^2\text{];}$

$A_{\text{fundos}} = \text{Área total do fundo do corpo [m}^2\text{];}$

$A_{\text{tampas}} = \text{Área total das tampas do corpo [m}^2\text{].}$

O próximo passo dos cálculos é determinar o volume que a água pode ocupar no corpo do tanque de escaldagem, fazendo as considerações de projeto, com nível 100mm abaixo da dobra de reforço horizontal. Utilizando a Equação 22, com as informações da Tabela 7. Com o volume determinado, a massa pode ser calculada

utilizando a Equação 12, pegando na Tabela 9 o valor da densidade da água já aquecida.

Entrando nas variáveis que definem o volume de produção no processo de escaldagem, a primeira a ser calculada é a velocidade do frango durante a escaldagem, com o tempo médio já especificado. A Equação 16 deve ser aplicada para este cálculo. A determinação da produção de frangos (Equação 17), será feita utilizando a velocidade do frango e uma distância padrão entre frangos, como esta distância pode mudar de acordo com a planta frigorífica será adotado o valor 6" entre ganchos. Com a produção é possível determinar a vazão mássica de frangos que irá passar por dentro do corpo do tanque de escaldagem utilizando a Equação 18.

Agora deve-se determinar as taxas de transferência de calor por convecção natural, para determinar as taxas que ocorrem nas laterais, tampas e fundos é necessário primeiro determinar os coeficientes de transferência de calor por convecção.

O primeiro passo para determinação dos coeficientes de transferência de calor por convecção é determinar o comprimento característico da superfície, para as laterais e as tampas que estão na vertical este valor é definido como sendo a própria altura. Já para o caso dos fundos é necessário utilizar a Equação 6, e deve ser calculado o perímetro da geometria pela Equação 24.

$$p_{\text{fundos}} = n_{\text{fundos}} \cdot 2 \cdot (l_2 + S) \quad (24)$$

Onde:

p_{fundos} = Perímetro dos fundos do módulo [m];

n_{fundos} = Número de áreas de fundo externas [adimensional];

l_2 = Largura do fundo do módulo [m];

S = Comprimento do tanque de escaldagem [m].

A próxima parte para determinar os coeficientes de transferência de calor por convecção é determinar os números de Rayleigh utilizando as informações do ar que estão na Tabela 10 e a Equação 5. Após determinados os números de Rayleigh para as três situações, é necessário calcular o número de Nusselt, que leva em consideração o comprimento característico da superfície.

Para superfícies com comprimento característico vertical o número de Nusselt é calculado pela Equação 8, os casos em que essa equação se encaixa são para cálculo das laterais e tampas. Para cálculo do número de Nusselt dos fundos do corpo a Equação 9 que deve ser utilizada, ela serve para superfícies horizontais, com a parte aquecida virada para baixo, o que dificulta o escoamento do ar aquecido. O número de Nusselt precisa do valor do número de Prandtl que deve ser obtido a partir da Tabela 10.

Com os números de Nusselt definidos, pode-se calcular o coeficiente de transferência de calor a partir da Equação 10, utilizando os respectivos valores de comprimento característico, e deve-se obter a condutividade térmica do ar a partir da Tabela 10. Após definidos os coeficientes de transferência de calor o cálculo das taxas de transferência de calor para as superfícies pode ser feito utilizando a Equação 4, com seus respectivos valores de área e temperatura.

Após determinadas as taxas de transferência de calor por convecção natural o próximo passo é calcular a taxa de transferência de calor por radiação. Esse cálculo é feito utilizando-se a Equação 11, com a área determinada na Equação 23, com a emissividade do material da Tabela 7 e com as temperaturas de ambiente e trabalho.

A taxa de transferência de calor para os frangos, deve ser determinada pela primeira lei da termodinâmica (Equação 1) descrita de maneira a utilizar o calor específico do frango (Equação 15), assim a equação a ser empregada neste cálculo é a Equação 25. Essa transferência de calor é a energia útil do equipamento na Equação 2, e será utilizada para determinar a eficiência térmica do tanque de escaldagem.

$$\dot{Q}_{\text{frango}} = \dot{m}_{\text{frango}} \cdot C_{p_f} \cdot (T_2 - T_1) \quad (25)$$

Onde:

$\dot{Q}_{\text{frango}}$ = Taxa de transferência de calor para os frangos [kW];

$\dot{m}_{\text{frango}}$ = Vazão mássica de frango [kg/s];

C_{p_f} = Calor específico do frango [kJ/kg·K];

T_1 = Temperatura corporal do frango após a sangria [°C];

T_2 = Temperatura após o processo de escaldagem [°C].

Para determinar a carga térmica da água contida no tanque de escaldagem é necessário fazer uma análise da primeira lei da termodinâmica, sabendo que esse processo pode ocorrer em duas variações de tempo diferentes. O índice “a” será utilizado para determinar a carga térmica de aquecimento que é o início do processo (“start” do equipamento). O outro índice é o “f” que será utilizado para o funcionamento do tanque de escaldagem, que é a variação de tempo onde está ocorrendo a imersão de frangos.

$$\dot{Q}_{\text{"a" ou "f"}} = \frac{m}{\Delta t_{\text{"a" ou "f"}}} \cdot (h_f - h_i) \quad (26)$$

Onde:

$\dot{Q}_{\text{"a" ou "f"}}$ = Taxa de transferência de calor para aquecimento ou funcionamento [kW];

$m_{\text{água}}$ = Massa de água líquida [kg];

$\Delta t_{\text{"a" ou "f"}}$ = Tempo de processo [s];

h_i = Entalpia da água a temperatura ambiente [kJ/kg];

h_f = Entalpia da água aquecida [kJ/kg].

O último passo para determinar a taxa de transferência de calor total do tanque de escaldagem é saber quais processos ocorrem ao mesmo tempo, para o aquecimento a Equação 27, diz que os processos que ocorrem juntos são: taxa de transferência de calor para aquecimento somada com taxa de transferência de calor por radiação, taxa de transferência de calor por convecção natural pelas laterais, tampas e fundos. Durante esse processo não ocorre imersão de frangos na água de escaldagem.

$$\dot{Q}_{ta} = \dot{Q}_a + \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{conv1} + \dot{Q}_{conv2} + \dot{Q}_{conv3} \quad (27)$$

Onde:

$\dot{Q}_{ta}$ = Taxa de transferência de calor total para aquecimento do tanque [kW];

$\dot{Q}_a$ = Taxa de transferência de calor para aquecimento [kW];

$\dot{Q}_{rad}$ = Taxa de transferência de calor por radiação [kW];

$\dot{Q}_{\text{conv}_1}$ = Taxa de transferência de calor por convecção natural pelas laterais [kW];

$\dot{Q}_{\text{conv}_2}$ = Taxa de transferência de calor por convecção natural pelas tampas [kW];

$\dot{Q}_{\text{conv}_3}$ = Taxa de transferência de calor por convecção natural pelo fundo [kW].

Para o funcionamento é necessário somar a taxa de transferência de calor para funcionamento com a taxa de transferência de calor por radiação, taxa de transferência de calor por convecção natural pelas laterais, tampas e fundos e ainda a taxa de transferência de calor para o frango, pois agora é um turno de abate. É definido pela Equação 28.

$$\dot{Q}_{\text{tf}} = Q_f + \dot{Q}_{\text{rad}} + \dot{Q}_{\text{conv}_1} + \dot{Q}_{\text{conv}_2} + \dot{Q}_{\text{conv}_3} + \dot{Q}_{\text{frango}} \quad (28)$$

Onde:

$\dot{Q}_{\text{tf}}$ = Taxa de transferência de calor total para funcionamento do tanque [kW];

Q_f = Taxa de transferência de calor para funcionamento [kW];

$\dot{Q}_{\text{rad}}$ = Taxa de transferência de calor por radiação [kW];

$\dot{Q}_{\text{conv}_1}$ = Taxa de transferência de calor por convecção natural pelas laterais [kW];

$\dot{Q}_{\text{conv}_2}$ = Taxa de transferência de calor por convecção natural pelas tampas [kW];

$\dot{Q}_{\text{conv}_3}$ = Taxa de transferência de calor por convecção natural pelo fundo [kW];

$\dot{Q}_{\text{frango}}$ = Taxa de transferência de calor para o frango [kW].

Um dos fatores interessantes para saber sobre o tanque de escaldagem é a eficiência térmica do equipamento que pode variar de 70 a 90%. O cálculo da eficiência é feito utilizando-se a Equação 2, com calor útil sendo a carga térmica absorvida pelo frango e a taxa de transferência de calor total para funcionamento como sendo a energia consumida para esse trabalho.

Outro ponto que é necessário calcular é o consumo de vapor para aquecimento e funcionamento, como um caso específico não está sendo analisado é necessário cobrir uma possível faixa de pressão de operação das redes de vapor de plantas frigoríficas. Segundo Breda (2017) normalmente em processos na indústria frigorífica, os limites de pressão de trabalho da caldeira ficam na faixa de 500 a 1200kPa. Então

utilizando a Equação 29, pode-se determinar o consumo de vapor do equipamento de escaldagem, adquirindo-se os valores para entalpia do vapor na Tabela 6.

$$\dot{m}_v \text{ "a" ou "f"} = \frac{\dot{Q}_t \text{ "a" ou "f"}}{h_v} \cdot 3600 \frac{s}{h} \quad (29)$$

Onde:

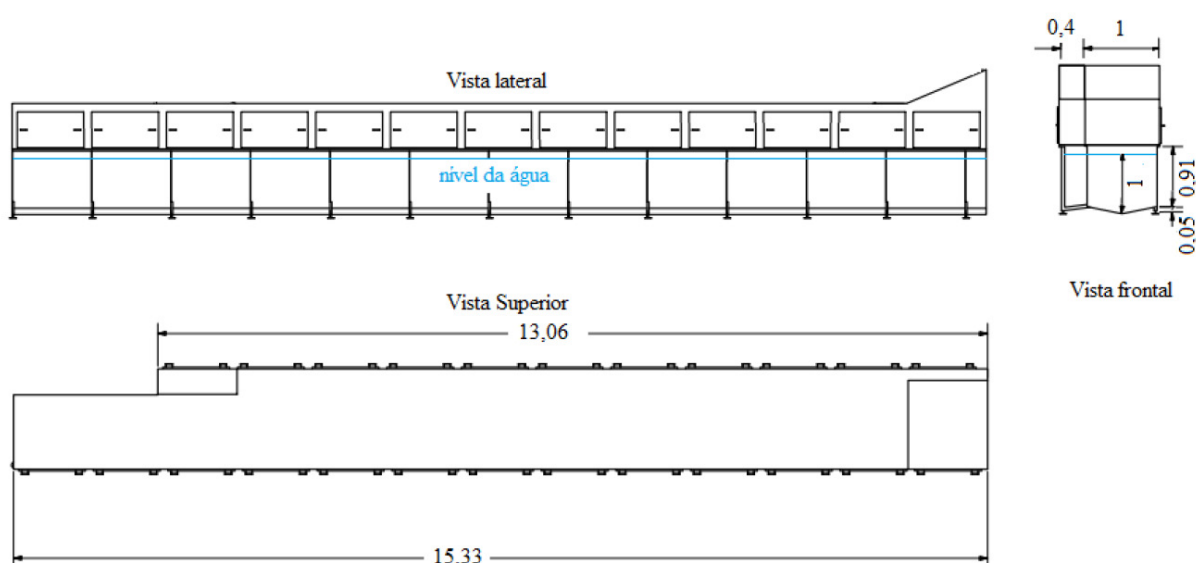
$\dot{m}_v \text{ "a" ou "f"}$ = Massa de vapor consumido para aquecimento ou funcionamento [kg/h];

$\dot{Q}_t \text{ "a" ou "f"}$ = Taxa de transferência de calor total para aquecimento ou funcionamento do tanque [kW];

h_v = Entalpia do vapor saturado a pressão de saturação [kJ/kg].

O último ponto abordado neste trabalho é para aferição desse equacionamento, Teixeira (2017) fez medições e cálculos em um tanque de escaldagem real, e chegou aos seguintes dados: consumo de vapor para aquecimento igual a 1194kg/h, trabalhando com uma faixa de temperatura de 16 °C para água de alimentação e 58 °C para escaldagem. As dimensões do tanque de escaldagem são as exibidas na Tabela 11 (Figura 20), o Tanque de escaldagem possui um volume de 18,8m³. A diferença é que as tampas deste são 1,5 vezes maior que as calculadas pela Equação 21.

Figura 20- Tanque de escaldagem real.



Fonte: Teixeira (2017).

Tabela 11 - Dimensões tanque de escaldagem real.

Dimensão	Descrição	Módulo
h_1	Altura interna do módulo.	1000mm
h_2	Altura do fundo do módulo.	50mm
h_3	Soma das alturas interna e do fundo.	1050mm
l_1	Distância até o centro do módulo.	500mm
l_2	Largura do fundo do módulo.	502,49mm
S	Comprimento total do tanque.	15330mm
n_{laterais}	Número de laterais do corpo.	2
n_{fundos}	Número de dobras no fundo do corpo.	3
n_{tampas}	Número de tampas.	3

Fonte: Teixeira (2017).

A água a 16 °C tem uma entalpia de 67,172kJ/kg e a 58 °C tem uma entalpia de 242,746kJ/kg. O volume específico da água aquecida é 0,0010162m³/kg (Tabela 5). A pressão de saturação do vapor para este caso específico é de 800kPa, então na Tabela 6 a entalpia de vapor é igual a 2769,13kJ/kg. O tempo de processo de aquecimento é de uma hora. Deve-se seguir todos os passos do dimensionamento do tanque de escaldagem definido anteriormente.

Como algumas informações que são utilizadas para os cálculos não foram fornecidas como: temperatura do ambiente de escaldagem e emissividade do material, serão adotados os mesmo do cálculo anterior.

O índice de erro pode ser calculado pela Equação 30, para qualquer tipo de relação, representa quantas vezes um valor é menor que o outro.

$$\text{erro} = \left(\frac{\text{maior valor} - \text{menor valor}}{\text{maior valor}} \right) \cdot 100 \quad (30)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

4.1.1 Áreas superficiais

O cálculo das áreas superficiais será iniciado com a determinação da área total das laterais do corpo pela Equação 19. As informações necessárias da Tabela 7 para este cálculo: número de laterais externas ($n_{\text{laterais}} = 2$), altura da lateral do módulo ($h_1 = 1,0\text{m}$) e comprimento do tanque de escaldagem ($S = 10,5\text{m}$).

$$A_{\text{laterais}} = 2 \cdot 1,0\text{m} \cdot 10,5\text{m}$$

$$A_{\text{laterais}} = 21,0\text{m}^2$$

O próximo cálculo é para a área total do fundo do corpo, para esse cálculo são necessárias as informações compatíveis com a Equação 20. Na Tabela 7 as informações são: número de áreas de fundo externas ($n_{\text{fundos}} = 2$), largura do fundo do módulo ($l_2 = 0,34685\text{m}$) e comprimento do tanque de escaldagem ($S = 10,5\text{m}$).

$$A_{\text{fundos}} = 2 \cdot 0,34685\text{m} \cdot 10,5\text{m}$$

$$A_{\text{fundos}} = 7,2839\text{m}^2$$

Calculando a área total das tampas do corpo através da Equação 21, as informações da Tabela 7 que serão utilizadas no cálculo são: número de tampas ($n_{\text{tampas}} = 2$), distância até o centro do módulo ($l_1 = 0,3375\text{m}$), altura da lateral do módulo ($h_1 = 1,0\text{m}$) e altura do fundo do módulo ($h_2 = 0,08\text{m}$).

$$A_{\text{tampas}} = 2 \cdot 0,3375\text{m} \cdot [(2 \cdot 1,0\text{m}) + 0,08\text{m}]$$

$$A_{\text{tampas}} = 1,404\text{m}^2$$

Como foi definido na Equação 23, a área superficial de radiação do corpo é a soma das áreas que são: área total das laterais do corpo ($A_{\text{laterais}} = 21,0\text{m}^2$), área

total do fundo do corpo ($A_{\text{fundos}} = 7,2839\text{m}^2$) e a área total das tampas do corpo ($A_{\text{tampas}} = 1,404\text{m}^2$).

$$A_{s\text{radiação}} = 21,0\text{m}^2 + 7,2839\text{m}^2 + 1,404\text{m}^2$$

$$A_{s\text{radiação}} = 29,6879\text{m}^2$$

4.1.2 Volume e massa de água

É necessário determinar o volume disponível para água dentro do corpo (Equação 22) para assim determinar a massa de água. Essa massa será utilizada nos cálculos de carga térmica. As informações necessárias da Tabela 7 para determinar o volume são: comprimento do tanque de escaldagem ($S = 10,5\text{m}$), distância até o centro do módulo ($l_1 = 0,3375\text{m}$), altura da lateral do módulo ($h_1 = 1,0\text{m}$) e altura do fundo do módulo ($h_2 = 0,08\text{m}$).

$$V_{\text{água corpo}} = 10,5\text{m} \cdot 0,3375\text{m} \cdot [(2 \cdot (1,0\text{m} - 0,1\text{m})) + 0,08\text{m}]$$

$$V_{\text{água corpo}} = 6,6623 \text{ m}^3$$

O próximo passo é determinar a massa de água líquida que está a temperatura de 54°C . Utilizando a definição de densidade (Equação 12), é possível determinar a massa pegando na Tabela 9 a densidade da água já aquecida ($\rho = 985,80\text{kg/m}^3$) e o volume disponível para água dentro do corpo ($V_{\text{água corpo}} = 6,6623\text{m}^3$).

$$m_{\text{água}} = 6,6623\text{m}^3 \cdot 985,80 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{água}} = 6567,65 \text{ kg}$$

4.1.3 Velocidade, produção e vazão mássica de frangos

A velocidade do frango durante a escaldagem (Equação 16), é uma relação da distância percorrida pelo frango imerso na água, com o tempo de escaldagem. As variáveis necessárias são: comprimento do tanque de escaldagem ($S = 10,5\text{m}$),

número de retornos ($n_{\text{retorno}} = 1$), número de passagens ($n_{\text{passagens}} = 2$) e tempo de escaldagem ($t_{\text{escaldagem}} = 90\text{s}$).

$$v_{\text{frango}} = \frac{(10,5\text{m} - 0,5\text{m} \cdot 1) \cdot 2}{90\text{s}}$$

$$v_{\text{frango}} = 0,2222 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Após determinada a velocidade do frango durante a escaldagem é necessário determinar a quantidade de frangos que serão escaldados, a Equação 17 traz uma relação para esse cálculo, ele solicita as seguintes informações: velocidade do frango durante a escaldagem ($v_{\text{frango}} = 0,2222\text{m/s}$) e a distância padrão entre os frangos ($d_{\text{padrão}} = 6,562\text{frango/m}$).

$$p_{\text{frango}} = 0,2222 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6,562 \frac{\text{frango}}{\text{m}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}$$

$$p_{\text{frango}} = 5250 \frac{\text{frango}}{\text{h}}$$

A vazão mássica de frangos é determinada pela Equação 18 utilizando a produção máxima de frangos ($p_{\text{frango}} = 5250\text{frango/h}$) e a massa média dos frangos ($\overline{m}_{\text{frango}} = 2,50\text{kg/frango}$).

$$\dot{m}_{\text{frango}} = 5250 \frac{\text{frango}}{\text{h}} \cdot 2,50 \frac{\text{kg}}{\text{frango}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}$$

$$\dot{m}_{\text{frango}} = 3,65 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4.1.4 Taxa de transferência de calor por convecção natural pelas laterais

O primeiro passo para determinar a taxa de transferência de calor pelas laterais, é saber por qual dimensão o ar irá escoar, como no caso é uma linha vertical, o comprimento característico é sua altura, ou seja, é a própria altura da lateral do módulo ($h_1 = 1,0\text{m}$).

$$L_{c_1} = 1,0\text{m}$$

Após determinado o comprimento característico é necessário calcular o número de Rayleigh (Equação 5). Esse valor representa a relação entre a flutuação e a viscosidade do fluido que no caso da sala de escaldagem é o ar, as propriedades do ar estão na Tabela 10. A equação utiliza as seguintes constantes e variáveis: aceleração da gravidade ($g = 9,80665\text{m/s}^2$), temperatura de filme ($T_{\text{film}} = 310,15\text{K}$), temperatura superficial do componente analisado ($T_s = 54^\circ\text{C}$), temperatura do ar suficientemente longe da superfície ($T_\infty = 20^\circ\text{C}$), comprimento característico da geometria ($L_{c_1} = 1,0\text{m}$), viscosidade cinemática do ar ($\nu = 1,6738 \cdot 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$) e a difusividade térmica do ar ($\alpha = 2,3460 \cdot 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$).

$$\text{Ra}_{L_1} = \frac{9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (54 - 20)\text{K} \cdot (1,0\text{m})^3}{310,15\text{K} \cdot 1,6738 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 2,3460 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$\text{Ra}_{L_1} = 2,7378 \cdot 10^9$$

O número de Nusselt para as laterais deve ser determinado pela Equação 8 que é para placas verticais, conferindo se ela pode ser utilizada, pois sua faixa de Rayleigh é $10^4 < \text{Ra}_L < 10^{13}$. O número de Rayleigh calculado ($\text{Ra}_{L_1} = 2,7378 \cdot 10^9$) atende a faixa de utilização da equação. A outra variável necessária para o cálculo é o número de Prandtl do ar (Tabela 10) ($\text{Pr} = 0,72628$).

$$\text{Nu}_{L_1} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot (2,7378 \cdot 10^9)^{1/6}}{[1 + (0,492/0,72628)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$\text{Nu}_{L_1} = 168,4707$$

O coeficiente de transferência de calor por convecção pode ser determinado pela Equação 10, utilizando: número de Nusselt ($\text{Nu}_{L_1} = 168,4707$), condutividade térmica do ar (Tabela 10) ($k = 2,6398 \cdot 10^{-5}\text{kW/m} \cdot \text{K}$) e o comprimento característico da geometria ($L_{c_1} = 1,0\text{m}$).

$$h_1 = \frac{168,4707 \cdot 2,6398 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{1,0 \text{ m}}$$

$$h_1 = 4,4473 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

A taxa de transferência de calor por convecção pelas laterais é determinado pela Equação 4, utilizando as informações requeridas: coeficiente de transferência de calor por convecção ($h_1 = 4,4473 \cdot 10^{-3} \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$), área da superfície exposta ao ar ($A_{\text{laterais}} = 21,0 \text{ m}^2$), temperatura superficial ($T_s = 54^\circ\text{C}$) e temperatura do ar suficientemente longe da superfície ($T_\infty = 20^\circ\text{C}$).

$$\dot{Q}_{\text{conv}_1} = 4,4473 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 21 \text{ m}^2 \cdot (54 - 20) \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{\text{conv}_1} = 3,1754 \text{ kW}$$

4.1.5 Taxa de transferência de calor por convecção natural pelas tampas

Assim como a taxa de transferência de calor pelas laterais, as tampas também perdem calor para o ambiente, e o comprimento característico também é sua altura. Esse comprimento característico é a soma da altura interna do módulo ($h_1 = 1,0 \text{ m}$) e a altura do fundo do módulo ($h_2 = 0,08 \text{ m}$).

$$L_{c_2} = 1,0 \text{ m} + 0,08 \text{ m}$$

$$L_{c_2} = 1,08 \text{ m}$$

O cálculo do número de Rayleigh para as tampas também é feito com a Equação 5, a única variável que muda em relação ao cálculo do número de Rayleigh das laterais é o comprimento característico, que agora deve ser o da tampa ($L_{c_2} = 1,08 \text{ m}$).

$$\text{Ra}_{L_2} = \frac{9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (54 - 20) \text{ K} \cdot (1,08 \text{ m})^3}{310,15 \text{ K} \cdot 1,6738 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 2,3460 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$\text{Ra}_{L_2} = 3,4488 \cdot 10^9$$

O número de Nusselt deve ser calculado pela Equação 8, conferindo se o número de Rayleigh atende aos requisitos da equação. É necessário que esse número esteja na faixa de $10^4 < Ra_L < 10^{13}$, o valor calculado ($Ra_{L_2} = 3,4488 \cdot 10^9$) atende aos requisitos da equação e também precisa do valor do número de Prandtl ($Pr = 0,72628$) da Tabela 10.

$$N_{\square_2} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot (3,4488 \cdot 10^9)^{1/6}}{[1 + (0,492/0,72628)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$N_{\square_2} = 181,0756$$

Calculando o coeficiente de transferência de calor por convecção com a Equação 10, utilizando: número de Nusselt ($N_{\square_2} = 181,0756$), condutividade térmica do ar (Tabela 10) ($k = 2,6398 \cdot 10^{-5} \text{ kW/m} \cdot \text{K}$) e o comprimento característico da geometria ($L_{c_2} = 1,08 \text{ m}$).

$$h_2 = \frac{181,0756 \cdot 2,6398 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{1,08 \text{ m}}$$

$$h_2 = 4,4259 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Assim como nas laterais a taxa de transferência de calor por convecção pelas tampas é determinada pela Equação 4, utilizando as seguintes informações: coeficiente de transferência de calor por convecção ($h_2 = 4,4259 \cdot 10^{-3} \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$), área da superfície exposta ao ar ($A_{\text{tampas}} = 1,404 \text{ m}^2$), temperatura superficial ($T_s = 54^\circ\text{C}$) e temperatura do ar suficientemente longe da superfície ($T_\infty = 20^\circ\text{C}$).

$$\dot{Q}_{\text{conv}_2} = 4,4259 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 1,404 \text{ m}^2 \cdot (54 - 20) \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{\text{conv}_2} = 0,2113 \text{ kW}$$

4.1.6 Taxa de transferência de calor por convecção natural pelo fundo

Para a taxa de transferência de calor pelo fundo é necessário determinar o comprimento característico, para determinar essa variável é necessário saber o

perímetro dos fundos, que precisa ser calculado pela Equação 23. E utiliza: número de áreas de fundo externas ($n_{\text{fundos}} = 2$), largura do fundo do módulo ($l_2 = 0,34685\text{m}$) e comprimento do tanque de escaudagem ($S = 10,5\text{m}$).

$$p_{\text{fundos}} = 2 \cdot 2 \cdot (0,34685\text{m} + 10,5\text{m})$$

$$p_{\text{fundos}} = 43,3874\text{m}$$

Depois de determinado o perímetro deve ser calculado pela Equação 6 o comprimento característico da geometria, utilizando: área total do fundo do corpo ($A_{\text{fundos}} = 7,2839\text{m}^2$) e perímetro dos fundos do módulo ($p_{\text{fundos}} = 43,3874\text{m}$).

$$L_{c_3} = \frac{7,2839\text{m}^2}{43,3874\text{m}}$$

$$L_{c_3} = 0,1679\text{m}$$

O cálculo do número de Rayleigh para os fundos também é feito com a Equação 5, ainda a única variável que muda em relação ao cálculo do número de Rayleigh das laterais e tampas é o comprimento característico, que agora deve ser o dos fundos ($L_{c_2} = 0,1679\text{m}$).

$$Ra_{L_3} = \frac{9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (54 - 20)\text{K} \cdot (0,1679\text{m})^3}{310,15\text{K} \cdot 1,6738 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 2,3460 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Ra_{L_3} = 1,2954 \cdot 10^7$$

O número de Nusselt deve ser calculado pela Equação 9, conferindo se o número de Rayleigh atende as condições da equação. É necessário que esse número esteja na faixa de $10^5 < Ra_L < 10^{10}$, o valor calculado ($Ra_{L_3} = 1,2954 \cdot 10^7$) atende aos requisitos da equação.

$$Nu_3 = 0,27 \cdot (1,2954 \cdot 10^7)^{1/4}$$

$$Nu_3 = 16,1979$$

Calculando o coeficiente de transferência de calor por convecção com a Equação 10, utilizando: número de Nusselt ($Nu_2 = 16,1979$), condutividade térmica do ar, informação obtida na Tabela 10 ($k = 2,6398 \cdot 10^{-5} \text{ kW/m} \cdot \text{K}$) e o comprimento característico da geometria ($L_{c3} = 0,1679 \text{ m}$).

$$h_3 = \frac{16,1979 \cdot 2,6398 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kW}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{0,1679 \text{ m}}$$

$$h_3 = 2,5467 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Assim como nos outros dois casos a taxa de transferência de calor por convecção pelo fundo do corpo é determinado pela Equação 4, utilizando as seguintes informações: coeficiente de transferência de calor por convecção ($h_3 = 2,5467 \cdot 10^{-3} \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$), área da superfície exposta ao ar ($A_{\text{fundos}} = 7,2839 \text{ m}^2$), temperatura superficial ($T_s = 54^\circ\text{C}$) e temperatura do ar suficientemente longe da superfície ($T_\infty = 20^\circ\text{C}$).

$$\dot{Q}_{\text{conv}_3} = 2,5467 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 7,2839 \text{ m}^2 \cdot (54 - 20) \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{\text{conv}_3} = 0,6307 \text{ kW}$$

4.1.7 Taxa de transferência de calor por radiação

A taxa de transferência de calor por radiação é calculada pela Equação 11, e para este cálculo usa-se: emissividade ($\varepsilon = 0,3$), constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-11} \cdot \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}^4$), área superficial de radiação ($A_{\text{sradiação}} = 29,6879 \text{ m}^2$), temperatura superficial ($T_s = (54 + 273,15) \text{ K}$) e temperatura dos arredores ($T_{\text{cir}} = (20 + 273,15) \text{ K}$).

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = 0,3 \cdot 5,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 29,6879 \text{ m}^2 \cdot \{[(327,15) \text{ K}]^4 - [(293,15) \text{ K}]^4\}$$

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = 2,0551 \text{ kW}$$

4.1.8 Taxa de transferência de calor para o frango

A taxa de transferência de calor para os frangos é determinada pela primeira lei da termodinâmica (Equação 25), utilizando: vazão mássica de frango ($\dot{m}_{\text{frango}} = 3,65\text{kg/s}$), calor específico do frango ($C_p = 3,5625\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$), temperatura corporal do frango após a sangria ($T_1 = 41^\circ\text{C}$) e a temperatura após o processo de escaldagem ($T_2 = 54^\circ\text{C}$).

$$\dot{Q}_{\text{frango}} = 3,65 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3,5625 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (54 - 41)\text{K}$$

$$\dot{Q}_{\text{frango}} = 169,0406\text{kW}$$

4.1.9 Taxas de transferência de calor para aquecimento e funcionamento

O cálculo da carga térmica para aquecimento (índice “a”) deve ser feito utilizando a Equação 26, para esse cálculo é necessário os seguintes dados: massa de água líquida ($m_{\text{água}} = 6567,65\text{kg}$) e tempo de processo ($\Delta t_a = 3600\text{s}$). As informações da água são retiradas da Tabela 9: entalpia da água a temperatura ambiente ($h_i = 83,94\text{kJ/kg}$) e entalpia da água aquecida ($h_f = 226,022\text{kJ/kg}$).

$$Q_a = \frac{6567,65\text{kg}}{3600\text{s}} \cdot (226,022 - 83,940) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_a = 259,2069\text{kW}$$

Já o cálculo da carga térmica para funcionamento (índice “f”), deve ser feito de forma análoga ao calor de aquecimento (Equação 26), para esse cálculo a massa de água líquida e as entalpias da água a temperatura ambiente e aquecida são as mesmas do aquecimento, mas agora o tempo de processo é o equivalente a uma jornada de trabalho de oito horas ($\Delta t_f = 8\text{h} \cdot \frac{3600\text{s}}{\text{h}} = 28800\text{s}$).

$$Q_f = \frac{6567,65\text{kg}}{28800\text{s}} \cdot (226,022 - 83,940) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_f = 32,4009\text{kW}$$

A taxa de transferência de calor total para aquecimento deve ser calculada de acordo com a Equação 27, somando as seguintes taxas de transferência de calor: aquecimento ($Q_a = 259,2069\text{kW}$), radiação ($\dot{Q}_{\text{rad}} = 2,0551\text{ kW}$), convecção natural pelas laterais ($\dot{Q}_{\text{conv}_1} = 3,1754\text{kW}$), tampas ($\dot{Q}_{\text{conv}_2} = 0,2113\text{kW}$) e fundos ($\dot{Q}_{\text{conv}_3} = 0,6307\text{kW}$).

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{t a} &= 259,2069\text{kW} + 2,0551\text{ kW} + 3,1754\text{kW} + 0,2113\text{kW} + 0,6307\text{kW} \\ \dot{Q}_{t a} &= 265,2794\text{kW}\end{aligned}$$

A taxa de transferência de calor total para funcionamento é definida pela Equação 28, somando as seguintes taxas de transferência de calor: aquecimento ($Q_f = 32,4009\text{kW}$), radiação ($\dot{Q}_{\text{rad}} = 2,0551\text{ kW}$), convecção natural pelas laterais ($\dot{Q}_{\text{conv}_1} = 3,1754\text{kW}$), tampas ($\dot{Q}_{\text{conv}_2} = 0,2113\text{kW}$) e fundos ($\dot{Q}_{\text{conv}_3} = 0,6307\text{kW}$) e carga absorvida pelo frango ($\dot{Q}_{\text{frango}} = 169,0406\text{kW}$).

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{t f} &= 32,4009\text{kW} + 2,0551\text{kW} + 3,1754\text{kW} + 0,2113\text{kW} + 0,6307\text{kW} + 169,0406\text{kW} \\ \dot{Q}_{t f} &= 207,5140\text{kW}\end{aligned}$$

4.2 EFICIÊNCIA TÉRMICA DO TANQUE DE ESCALDAGEM

A eficiência do tanque de escaldagem é calculada a partir da Equação 2, e para esse tanque de escaldagem as variáveis são: energia útil ($Q_{\text{útil}} = \dot{Q}_{\text{frango}} = 169,0406\text{kW}$) e a energia consumida ($Q_{\text{consumido}} = \dot{Q}_{t f} = 207,5140\text{kW}$).

$$\begin{aligned}\eta_{ee} &= \frac{169,0406\text{kW}}{207,5140\text{kW}} \\ \eta_{ee} &= 0,8146 \\ \eta_{ee} &= 81,46\%\end{aligned}$$

Esse valor de eficiência é importante para definir a economia de vapor. Significa que mais de 80% do vapor consumido realmente está sendo utilizado para a finalidade do equipamento.

4.3 CONSUMO DE VAPOR PARA AQUECIMENTO E FUNCIONAMENTO

Para determinar o consumo de vapor será utilizada a Equação 29, com os dados de entrada e saída da Tabela 12. A entalpia de vapor deve ser obtida a partir da Tabela 6 e são os valores da coluna “h_v” O cálculo para consumo de vapor a pressão de 500kPa durante o aquecimento está exibido para exemplificar o cálculo da massa de vapor.

$$\dot{m}_{v a} = \frac{265,2794 \text{ kW}}{2748,37} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{v a} = 347,48 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Tabela 12 - Tabela de consumo de vapor para aquecimento e funcionamento.

P _{sat} (kPa)	h _v (kJ/kg)	$\dot{m}_{v a}$ (kg/h)	$\dot{m}_{v f}$ (kg/h)
500	2748,37	347,48	271,79
600	2756,80	346,42	270,98
700	2763,50	345,58	270,33
800	2769,13	344,88	269,78
900	2773,94	344,28	226,31
1000	2778,08	343,77	268,91
1100	2781,68	373,32	268,56
1200	2784,82	342,93	268,26

Fonte: Autor.

4.4 TANQUE DE ESCALDAGEM REAL

Assim como no tanque de escaldagem teórico o tanque de escaldagem real terá o cálculo das áreas feito pelas Equações 19,20,21 e 23, Utilizando as informações da Tabela 11. Assim como o volume de água do tanque (Equação 22) e a massa de água (Equação 12). Todos os cálculos de taxas de transferência de calor devem ser feitos de forma idêntica: primeiro determinar o comprimento característico (Equação 6 ou análise da superfície), número de Rayleigh (Equação 5), número de Nusselt (Equações 8 ou 9), coeficiente de transferência de calor por convecção (Equação 10) e por último, cálculo da taxa de transferência de calor por convecção (Equação 4).

Determinar a taxa de transferência de calor por radiação (Equação 11). Cálculo do calor total de aquecimento pela Equação 26, e somatório do calor total de aquecimento pela Equação 27. Todos os valores desses cálculos estão compilados na Tabela 13.

Tabela 13- Cálculo das variáveis do tanque de escaldagem real.

A_{laterais}	$30,66\text{m}^2$
A_{fundos}	$15,4063\text{m}^2$
A_{tampas}	$4,6125\text{m}^2$
$A_{\text{sradiação}}$	$50,6788\text{m}^2$
$V_{\text{água corpo}}$	$18,8\text{m}^3$
$m_{\text{água}}$	$18500,30\text{kg}$
L_{c1}	$1,0\text{m}$
Ra_{L1}	$3,0599 \cdot 10^9$
$N_{\text{Nu}1}$	$174,4254$
h_1	$4,6045 \cdot 10^{-3}\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
$\dot{Q}_{\text{conv}1}$	$5,3646\text{kW}$
L_{c2}	$1,05\text{m}$
Ra_{L2}	$3,5422 \cdot 10^9$
$N_{\text{Nu}2}$	$182,59567$
h_2	$4,5906 \cdot 10^{-3}\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
$\dot{Q}_{\text{conv}2}$	$0,8046\text{kW}$
p_{fundos}	$31,665\text{m}$
L_{c3}	$0,2433\text{m}$
Ra_{L3}	$4,4053 \cdot 10^7$
$N_{\text{Nu}3}$	$21,9967$
h_3	$2,3869 \cdot 10^{-3}\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
$\dot{Q}_{\text{conv}3}$	$1,3974\text{kW}$
$\dot{Q}_{\text{rad}}$	$4,0\text{kW}$
$Q_{p/a}$	$902,2697\text{kW}$
$\dot{Q}_{t a}$	$913,8364\text{kW}$

Fonte: Autor.

Por fim cálculo da vazão mássica de vapor pela Equação 29. O valor da massa de vapor calculada a pressão de 800kPa, deu um resultado de 1188,39kg/h de vapor. Como o valor medido no tanque de escaldagem deu 1194kg/h e o calculado por este equacionamento deu 1188,39kg/h, o erro pode ser calculado pela Equação 30.

$$\text{erro} = \left(\frac{1194 - 1188,39}{1194} \right) \cdot 100$$
$$\text{erro} = 0,47\%$$

O erro calculado pode ser maior ou menor, dependendo da qualidade da instrumentação do equipamento de escaldagem e da qualidade das informações dimensionais e térmicas do tanque de escaldagem.

5 CONCLUSÃO

De acordo com o primeiro objetivo específico que era “determinar as principais variáveis térmicas do processo de escaldagem de frangos”, ficam mais evidentes quais características devem ser analisadas no processo, as principais variáveis são: temperatura da sala de escaldagem, temperatura da água de alimentação do tanque de escaldagem, temperatura do processo de escaldagem, tempo de escaldagem, temperatura e massa do frango a ser escaldado.

O segundo objetivo específico “utilizando um modelo simplificado para o corpo do tanque de escaldagem, construir um passo a passo para determinar as cargas térmicas”, mesmo que o corpo do tanque de escaldagem seja diferente, os cálculos a serem feitos continuam sendo os mesmos do passo a passo. A sequência a ser seguida para esses cálculos pode ser vista nas seções 4.1 a 4.3.

De acordo com o terceiro objetivo específico “a partir das cargas térmicas determinar a eficiência do tanque de escaldagem e calcular os consumos de vapor para os processos de aquecimento e funcionamento”, a eficiência do tanque de escaldagem calculada resultou em um valor de 81,46% com renovação contínua de água, para se ter garantia de não haver contaminação cruzada, caso não haja renovação contínua de água que em uma jornada de trabalho (8 horas) renove o equivalente ao volume total de água do tanque de escaldagem o equipamento está operando de forma irregular, e devem ser adequados ou retirados de operação. Os resultados para os consumos de vapor de aquecimento e funcionamento estão na Tabela 12, para uma ampla faixa de pressão. Devendo-se sempre calcular de acordo com a planta frigorífica onde será instalado o equipamento de escaldagem.

O quarto objetivo específico era “fazer a verificação do erro do equacionamento proposto em um tanque de escaldagem real a partir de dados teóricos retirados de trabalhos acadêmicos”, os dados do tanque de escaldagem real foram retirados do trabalho acadêmico do Teixeira (2017), que fez medições e cálculos para determinar o consumo de vapor do equipamento. Comparando os resultados obtidos no dimensionamento deste trabalho e nos cálculos do trabalho de Teixeira (2017) o erro foi menor que 1%, o que é um erro pequeno para essa aplicação das equações de transferência de calor. Concluindo após essa breve explicação, todos os objetivos específicos formulados foram plenamente atendidos.

Com o passo a passo obtido através desse trabalho é possível perceber que não existem muitas dificuldades para o dimensionamento dos equipamentos de escaldagem. As contribuições deste trabalho podem ser percebidas pelo meio acadêmico e industrial. Para o meio acadêmico ele traz uma nova aplicação das teorias que são apresentadas em termodinâmica e transferência de calor para uma aplicação no projeto de um equipamento. Para o meio industrial traz uma facilidade para pessoas que não possuem o conhecimento técnico entenderem do processo. Para a sociedade em geral, proporciona um maior entendimento sobre um dos processos para geração de alimento, podendo assim melhorar a eficiência dos equipamentos e reduzir custos.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Determinar a penetração do calor na carcaça do frango considerando que o mesmo é uma esfera, através do método do número de Biot.

Calcular a carga térmica de um tanque de escaldagem com agitação por borbulho, demonstrando a diferença que a carenagem protetora causa na transferência de calor.

Aplicar o memorial de cálculo proposto a um tanque de escaldagem existente, a fim de determinar a eficiência, propondo uma solução para melhoria do equipamento.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401/1: Instalações de Ar Condicionado - Sistemas Centrais e Unitários**, Rio de Janeiro, 2008.

ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2018**. Pág. 10. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>. Acesso em: 17/10/2018.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2016. 730 p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 267, de 25 de setembro de 2003**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, f. 30, setembro 2003. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/388704/RDC_N_267.pdf/6bbd5fab-2c85-4b80-9c0b-1ad6ea42d5c0> Acesso em 10 de dezembro de 2018.

BRASIL. Ministério da agricultura e do abastecimento. **Portaria nº 210, de 10 de novembro de 1998**. Diário Oficial da União, poder executivo, Brasília, 26 de novembro de 1998. Seção 1, p.226. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Portaria210_000h19kjan02wx7ha0e2uuw60rmjy11.pdf>. Acesso em 16 de maio de 2018.

BREDA, Carlos Alberto. **Motores de combustão interna e geradores de vapor**. Engenharia Mecânica, Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz. 26 jul. 2017, 15 nov. 2017. Notas de Aula.

CARNEIRO, Sérgio Luiz et al. **FRANGO DE CORTE: Integração Produtor/ Indústria**. 13 f. 2004. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/redereferencia/pp_modnortefrango.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2018.

FEITAL. **Chapas de Aço Inox**. Disponível em: <<https://www.feital.com.br/produtos/chapas-de-aco-inoxidavel/>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

FRINOX. **TANQUE PARA ESCALDAGEM**. 2018. Disponível em: <<http://frinox.ind.br/linhas-pt/aves#tanque-para-escaldagem>>. Acesso em: 01 setembro de 2018

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 200 p.

GISHTOMI, André Peixoto et al. **ABATEDOURO DE AVES**. 9 f. Artigo (Engenharia e Meio Ambiente) - Escola Politécnica da USP, Departamento de engenharia hidráulica e ambiental, São Paulo, 2017.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. **Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 650 p.

KREITH, Frank; BOHN, Mark S. **PRÍNCÍPIOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 623 p.

KROOS, Kenneth A.; POTTER, Merle C. **Termodinâmica para engenheiros**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015. 517 p.

MAREL. **AEROSCALDER**. 2018. Disponível em: <https://marel.com/brazil/produtos/processamento-de-aves/frangos/abate-e-depenagem/escaldagem/produtos/aeroscalder/887?prdct=1&parent=416>. Acesso em: 22 de setembro de 2018.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 800 p.

NUNES, Fabio G. **Escaldagem de Aves: O que é e Para que Serve?** 2008. Disponível em: <<https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/escaldagem-aves-t36735.htm>>. Acesso em: 21 maio 2018.

OLIVEIRA, Eliane. **SALMONELA: SINTOMAS, CAUSAS E POR QUE É PERIGOSA, SOBRETUDO NA GRAVIDEZ?**. 2018. Disponível em: <<https://www.greenme.com.br/viver/saude-e-bem-estar/6429-salmonela-sintomas-causas-perigos-na-gravidez>>. Acesso em: 22 set. 2018.

OLIVEIRA, Gisele Andrade de et al. **Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte dos 22 aos 42 dias**. Revista Brasileira de Zootecnia, [S.l.], 13 fev. 2006. v.35, n.4, p. p.1398-1405.

ROÇA, Roberto de Oliveira. **ABATE DE AVES**. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Gestaoetecnologia/Teses/Roca104.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2018.

SARCINELLI, Miryelle Freire; VENTURINI, Katiani Silva; SILVA, Luís César da. **ABATE DE AVES**. [20--]. 7 f. Artigos (Pró-Reitoria de Extensão) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2007. Disponível em: <http://www.agais.com/telomc/b00607_abate_frangodecorte.pdf>. Acesso em: 16 maio 2018.

SCHILLING, Thaís Uchôa de Assunção. **Aspectos tecnológicos do abate e processamento de frangos de corte**. 2014. 30 f., il. Monografia (Bacharelado em Medicina Veterinária) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SOARES, Giovana Coletto. **Estudo das variáveis relacionadas aos processos de escaldagem e depenagem e suas respectivas influencias na qualidade do produto**. 2009. 61f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

TEIXEIRA, Gessen Souza. **ESTUDO SOBRE OPORTUNIDADES DE RECUPERAÇÃO DE CALOR EM UMA INDÚSTRIA FRIGORÍFICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE UMA CALDEIRA GERADORA DE VAPOR POR UM AQUECEDOR DE ÁGUA**. 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa: Uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. 904 p.