

CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA  
PROFESSOR MIGUEL REALE

OTÁVIO LEITE PEREIRA

**DIMENSIONAMENTO DE UM TÚNEL DE CONGELAMENTO PARA  
EXPORTAÇÃO DE CARNE BOVINA**

São Paulo

2023

CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA  
PROFESSOR MIGUEL REALE

OTÁVIO LEITE PEREIRA

**Dimensionamento de um túnel de congelamento para exportação de  
carne bovina**

Projeto tecnológico elaborado como requisito parcial para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Refrigeração, Ventilação e Ar-Condicionado.

Orientador(a): Prof. Me. Lincoln Nascimento Ribeiro.

São Paulo  
2023

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Otávio Leite Pereira

### Dimensionamento de um túnel de congelamento para exportação de carne bovina

Projeto tecnológico elaborado como requisito parcial para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Refrigeração, Ventilação e Ar-Condicionado.

Orientador(a): Prof. Me. Lincoln Nascimento Ribeiro.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

#### BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Cleber Correa Vieira

Assinatura: \_\_\_\_\_

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data 29/11/2023

Prof. Dr. Sérgio Turano de Souza

Assinatura: \_\_\_\_\_

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data 29/11/2023

Prof. Me. Lincoln Nascimento Ribeiro

Assinatura: \_\_\_\_\_

Instituição: FATEC ITAQUERA

Data 29/11/2023

## DEDICATÓRIA

“Aos ratos que roeram meu espírito sugiro que me procurem na Crackolândia de São Paulo – SP. Mas é só sugerido. E aos Narcóticos Anônimos mundial desde aquele dia lá em 24/12/2015.”



<https://www.na.org.br/grupos/>

## RESUMO

Congelamento Rápido de Carne Bovina para Atender o Mercado chinês com um Frigorífico de Anápolis – GO. A exportação de carne bovina à China justifica-se pela atuação da Comissão Sino-Brasileira de Alto Nível de Concertação e Cooperação para manter a China, desde 2009, principal parceiro comercial do Brasil. A exportação de carne bovina para a China é mais lucrativa do que o comércio interno aqui no Brasil. O lucro é em média de R\$ 30,00/arroba comparado ao preço para consumo dos brasileiros. A arroba do boi gordo hoje varia entre o menor preço R\$ 224,00 em Rondônia e o maior preço R\$ 273,00 em São Paulo. Desde novembro 2022, as exportações brasileiras aumentaram em dobro (US\$ 778,04 milhões) e o acumulado de 1 ano foi de 2,087 milhões de toneladas (t) com US\$ 12,027 bilhões. O negócio da carne bovina é mais vantajoso do que o das outras carnes. Na cidade de Anápolis, localizada em Goiás, além de ser a cidade de naturalidade do autor deste projeto, justifica-se a instalação de um sistema de congelamento mais eficiente para equilibrar sua balança comercial negativa em US\$ 643,87 milhões. Este projeto espera então atender a demanda frigorífica para exportação de carne bovina de Anápolis à China. A pesquisa de mercado realizada apresenta um excelente negócio ao município anapolino que hoje conta apenas com um único frigorífico de pequeno porte, em Goiás, o 3º no ranking nacional de exportação de carne bovina. E o maior comprador de carne bovina congelada de Goiás é a China. Os materiais usados neste projeto tecnológico são equipamentos de sistemas de refrigeração dimensionados, inicialmente, para resolver o problema de pesquisa que é congelar 50 toneladas de carne bovina em 1 hora de processo frigorífico em um tipo de túnel de congelamento. São três hipóteses levantadas para resolver este problema através de um túnel estático, com entrada e saída de funcionários, um túnel “prédio, automatizado com a operação de elevadores de carga e o túnel helicoidal, mais conhecido como girofreezer. O objetivo geral é comparar a eficiência energética entre os três tipos túneis de congelamento para concluir o projeto apresentando ao mercado o túnel mais eficiente, ou seja, que congela mais rápido a carga de produto e consome a menor quantidade de energia elétrica. Os procedimentos para alcançar as etapas do projeto são metodológicos e práticos através de estudo de caso para levantamento de dados que possibilitem a execução do projeto comparativo. Partindo de premissa cultural que é possível e relevante comparar a eficiência energética entre um Fusca 1986 e uma Ferrari 2023, ou seja, túneis de congelamento primitivos e super automatizados, as disciplinas de Termodinâmica, a Transferência de Calor e Conceito de Carga Térmica fundamentam os cálculos deste projeto.

**Palavras-chave:** eficiência energética; carne bovina; exportação sino – brasileira; túneis de congelamento em Anápolis – GO; projeto comparativo.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Justificativa .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Objetivos Geral e Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 Delimitações .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA TÉCNICA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Congelamento e Resfriamento de Carne Bovina.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.1 Processo de Resfriamento .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2. Processo de Congelamento.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Os Ciclos Frigoríficos.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.1 Termodinâmica.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2 Carga Térmica.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.3 Rendimento Frigorífico.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.4 Equipamentos.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.5 Eficiência Energética.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3 Túneis de Congelamento.....</b>	<b>35</b>
<b>2.3.1 Túnel de Congelamento Estático.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.2 Túnel de Congelamento Automático.....</b>	<b>38</b>
<b>2.3.3 Túnel de Congelamento Helicoidal.....</b>	<b>40</b>
<b>3 PESQUISA DE MERCADO.....</b>	<b>45</b>
<b>4 MATERIAIS, PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS PRELIMINARES.....</b>	<b>48</b>
<b>5 CRONOGRAMA.....</b>	<b>104</b>
<b>6 RESULTADOS ESPERADOS.....</b>	<b>104</b>
<b>7 RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO A – FOTOS DOS TÚNEL "PRÉDIO".....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO B - FOTOS DO TÚNEL HELICOIDAL.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO C – DADOS DE ENTRADA CÁLCULO CARGA TÉRMICA.....</b>	<b>127</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como problema de estudo o congelamento de 50 toneladas por hora de carne bovina in natura para atender a demanda de um possível frigorífico de Anápolis – GO. As caixas de carne têm em média de 20 a 25 kg e o frigorífico atende todas as regras sanitárias necessárias para importação por clientes chineses. (BARRA MANSA, 2023), (MODESTO, 2021), (UNIÃO, 2020).

A primeira hipótese analisada é resolver esse problema com um túnel de congelamento estático. A segunda hipótese é resolver com um túnel de congelamento contínuo e a terceira hipótese é analisar a solução com um túnel do congelamento helicoidal. (LAKATOS, 2021, p. 149).

Precisa-se entender todos os processos envolvidos nesse congelamento rápido de carne bovina. São processos técnicos, econômicos e financeiros que precisam ser dominados para resolver o problema. Os processos técnicos estão relacionados aos conceitos termodinâmicos e aos equipamentos para geração e manutenção das condições físicas de congelamento. (FILHO, 2020, p. 40 – 41). O processo econômico é o mercado de carne bovina para exportar à China, a importação de equipamentos frigoríficos e a inovação do município anapolino, que embora ainda seja a maior economia de importação da indústria de Goiás, espera-se que seja destaque goiano como exportador desta carne e destes equipamentos. (AGRO, 2021), (GOIÁS, 2022), (FRIGOIÁS, 2021), (COMEXVIS, 2023).

Anápolis tem rebanho e tem força industrial para atender às exigências deste trabalho que vai ajudar a desenvolver economicamente o município, podendo atingir até o estado todo. (PORTAL 6, 2021), (CANAL CHAMPION, 2011). O processo financeiro é provar para o cliente fictício, análogo ao frigorífico anapolino FRIGOIÁS, que existe grande motivação para investimento de capital neste projeto lucrativo. (SOUZA, 2012, p. 21).

O motivo técnico do congelamento rápido é que a carne para exportação precisa ser congelada, o mais rápido possível, para manter padrões de qualidade e pelas exigências sanitárias de Brasil e China. (BARBOSA, 2018, p. 16 – 18). A temperatura para transporte de carne bovina para exportação deve ser mantida mais fria ou igual a  $-18^{\circ}\text{C}$ . (BATISTA, 2020), (INSPEÇÃO ANIMAL, 2013).

O congelamento é um processo termodinâmico controlado por um sistema de refrigeração cujo objetivo é manter uma região fria a uma temperatura inferior à de sua vizinhança. (MORAN *et. al*, 2018, p. 493). O ambiente mais frio e isolado é um

Túnel de Congelamento onde existem ventiladores muito potentes forçando a circulação de ar congelante para congelamento rápido da carne. (FRIGOCENTER, 2023), (CSV REFRIGERACAO, 2014).

Existem três tipos de túneis de congelamento: estático, contínuo e helicoidal. O estático precisa de operadores humanos dentro do túnel carregando as caixas de carne. O contínuo não precisa de operadores humanos dentro do túnel. (INOVADOOR, 2022), (CN COUD, 2023). O helicoidal, além de ser contínuo, sua arquitetura interna tem geometria espiral. (BARBOSA, 2018, p. V e 23)

Os projetos de sistemas frigoríficos, seus equipamentos e suas instalações para os túneis de congelamento, operando nessa escala de 50 toneladas de carne bovina em qualidade de exportação, são vendidos por várias empresas especializadas, de pequeno, médio e grande porte como por exemplo, a Elgin, a Jhonson Controls e a Multi Frio Refrigeração. Essas empresas foram citadas aqui com o único intuito de exemplificar estes equipamentos, a importância de seu conjunto e a necessidade de projetos individuais para estes túneis. (ELGIN, 2023), (JOHNSON CONTROLS, 2021), (MULTI FRIO, 2023).

Ao limitar o complexo termodinâmico envolvendo o congelamento de carne bovina, qualidade exportação para a China, é necessário vincular as empresas que processam a carne desde o abatimento do animal até a passagem dos pedaços em caixas pelos túneis congelamento. O Brasil tem inúmeros abatedouros em diversas escalas de produção e investimentos tecnológicos para congelamento rápido. Esses abatedouros têm nome de Frigoríficos de carne e quando trabalham para exportação eles operam túneis de congelamento ao fim da linha de produção. (ED TUBE, 2021). Mas é um nome popular porque tecnicamente frigorífico significa geração e manutenção, mecânicas e elétricas, de frio para refrigeração e congelação aos alimentos perecíveis como no caso da carne bovina. (COSTA, 1982, p. 273).

Os três maiores Frigoríficos brasileiros operam esses túneis de congelamento estáticos, automatizados e helicoidais na linha de produção de carne bovina para exportação a China. A JBS, a Marfrig e a Minerva somam hoje R\$ 60 bilhões em valor de mercado. (TRADEMAP, 2023). São diversas unidades destes Frigoríficos, incluindo os menores, pelo Brasil e pelo mundo variando em escala de produção, capacidade frigorífica e tecnologia empregada para congelamento rápido da carne bovina.



## 1.1 Justificativa

A exportação de carne bovina à China justifica-se pela atuação da Comissão Sino-Brasileira de Alto Nível de Concertação e Cooperação (COSBAN) para manter a China, desde 2009, principal parceiro comercial do Brasil (G1, 2023). A intensão financeira de empreendedorismo justifica-se pelo volume de capital e lucros envolvidos nesse mercado. A exportação de carne bovina para a China é mais lucrativa do que o comércio interno aqui no Brasil. O lucro é em média de R\$ 30,00/arroba comparado ao preço para consumo dos brasileiros. (ABRAFRIGO, 2022). A arroba do boi gordo hoje varia entre o menor preço R\$ 224,00 em Rondônia e o maior preço R\$ 273,00 em São Paulo. (RURAL, 2023).

De acordo com AGRO (2022), para a carne bovina fresca, refrigerada ou congelada, comparando novembro 2021 com novembro 2022, as exportações brasileiras aumentaram em dobro (US\$ 778,04 milhões) e o acumulado de 1 ano foi de 2,087 milhões de toneladas (t) com US\$ 12,027 bilhões. Para a carne suína, nas mesmas condições térmicas e período, o aumento mensal foi de 37% (US\$ 217,090 milhões) com 997,6 mil t (US\$ 2,301 bilhões) acumuladas no ano. Para a carne de frango o acumulado anual foi de 4,374 milhões t (US\$ 8,842 bilhões).

De acordo com LAKATOS (2021, p. 102 e 252), segue a enumeração das maiores, mais fortes e mais representativas amostras deste projeto: a cidade de Anápolis, localizada em Goiás, além de ser a cidade de naturalidade do autor deste projeto, justifica-se pela demanda frigorífica para exportação de carne bovina à China. De acordo com AGROTOOLS (2022), o Ibovespa negocia com quatro multinacionais frigoríficas: BRF, JBS, Marfrig e Minerva presentes no estado de Goiás para exportação aos chineses que compram 50% das exportações brasileiras (O POPULAR, 2022). A “Cadeia do Frio”, para carne bovina por exemplo, conta com os 10% do PIB Brasil do agronegócio (R\$ 747 bilhões em 2020) representando 45% do rebanho abatido (41,5 milhões de cabeças de bovinos).

O aumento das exportações resulta no aumento da quantidade de clientes estrangeiros, como por exemplo, a China que dobrou a compra de carne congelada e resfriada. De acordo com OESTE (2022), a pecuária é 10,5% do PIB em 2021 (R\$ 900,00 bilhões) e 25% deste faturamento é dos frigoríficos com o abate (R\$ 220 bilhões). O abastecimento interno foi de 65% da produção frigorífica nacional e o restante para exportação. De acordo com ABIEC (2021, p.14), COSTA (2021, p. 22), DIÁRIO (2019), o Brasil é um dos maiores exportadores de alimentos perecíveis,

maior exportador de carne desde 2004 e a China quer ampliar a capacidade frigorífica brasileira.

A principal justificativa do processo tecnológico é a eficiência energética porque em túneis de congelamento 75% está comprometido com eletricidade e seu consumo é diretamente proporcional ao aquecimento global e seus desastres climáticos (ABRAVA & PROCEL, 2023, p. 7 e 13).

Como aponta LAKATOS (2021, p. 147), justifica-se o problema a ser resolvido pelas hipóteses apresentadas de acordo com as limitações de uma hipotética capacidade congelamento de 50 toneladas por hora de carne bovina, as caixas de carne têm em média de 20 a 25 kg, comparação entre três tipos de túneis de congelamento, congelamento rápido, conceitos termodinâmicos ao ciclo frigorífico, exportação à China, intensão financeira de empreendedorismo, cidade de Anápolis – GO operacional e econômica.

Ainda segundo LAKATOS (2021, p. 122), o método comparativo contribui para uma melhor compreensão do comportamento dos processos analisados entre as hipóteses apresentadas e seus resultados.

O congelamento rápido é a justificativa de equipamentos, ciclo termodinâmico frigorífico para 50 toneladas por hora e caixas de 20 a 25 kg, controle de temperatura e condições sanitárias para exportação à China (SDA, 2022, itens 4.3.2, 4.7.3.2.8) (CODEX ALIMENTARIUS, 2020, p. 8 e 10).

LAKATOS (2021, p. 271) ordena a importância da contribuição original, pessoal deste projeto à ciência e suas futuras contribuições. Há um grande mercado para se explorar, desenvolver outros trabalhos, usando os conceitos da otimização de energia. Se atingido melhores índices de eficiência energética, em mínima quantidade que seja, implica na economia de milhões R\$ em gastos com energia estendendo ao mercado nacional.

## 1.2 Objetivos

Seguem o Objetivo Geral à Conclusão e suas etapas operacionais.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Comparar a eficiência energética entre túneis de congelamento: processo estático com os processos dinâmicos destinados ao mercado de carne bovina in natura.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os requisitos necessários para se congelar cinquenta toneladas de carne por hora;
- Aplicar os conceitos Termodinâmicos usados no processo de congelamento rápido para carne bovina;
- Identificar os componentes dos sistemas de congelamento;
- Identificar as empresas que atuam no setor de túneis de congelamento;
- Propor a adequação da certificação série ISO 50.000 (Gestão de Energia) como indicador de eficiência de energética (estudos futuros).

## 1.3 Delimitações

O estudo parte de um pressuposto teórico, como dito – congelar 50 T/h de congelamento de carne bovina, restrito ao produto muscular (não miúdo, não visceral, sem osso) para exportação de Anápolis – GO à China.

A busca pelo entendimento sobre a eficiência energética destes processos adota seus parâmetros fundamentais, principais variáveis, para estudar seus ciclos termodinâmicos e apresenta empresas que atuam no setor. Os processos termodinâmicos apresentam qualificações e cálculos da carga térmica (kcal/h) do produto congelado ou a congelar.

O problema proposto analisa, por modelo de engenharia mecânica, um conjunto de equipamentos congelando 50 toneladas de carne bovina por hora de processo em túneis estáticos, automáticos e helicoidais. (FRIGOCENTER, 2022); (FRIGO 10, 2021).

## 2 REVISÃO DA LITERATURA TÉCNICA

Nesta seção serão abordados os conceitos físicos, referências de equipamentos e demais conceitos necessários para o entendimento da problemática do projeto. Primeiramente será feita uma explanação sobre tópicos de congelamento de carne bovina, um estudo sobre o ciclo frigorífico e sua eficiência energética e a apresentação construtiva dos túneis.

### 2.1 Congelamento e Resfriamento de Carne Bovina

A partir de 1860 o congelamento de alimentos iniciou sua escala industrial aumentando o tempo de estoque. (COSTA, 1982; pg. 255). Em 1982 recomendava-se uma pré-refrigeração logo após o abate do animal, para evitar a putrefação, feita em túneis de congelamento nas seguintes condições psicrométricas: ar a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , humidade relativa entre 85 e 90%, 5 m/s para congelamento da carne e 18 horas de estocagem (COSTA, 1982; p. 262).

As organizações onde acontecem esses processos, congelamento e resfriamento, são chamados de Abatedouro Frigoríficos. Abatedouro é a operação de abate dos animais produtores de carne para manipular, acondicionar, rotular, armazenar, expedir para alimentação. Necessário a instalação, operação e manutenção de equipamentos de frio industrial e controle de temperatura. (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2023, p. 5, 11). As câmaras frigoríficas, antecâmaras, túneis de congelamento, equipamentos devem manter a higienização. (PRESIDENCIA DA REPÚBLICA, 2023, p.14).

Os microrganismos que invalidam a comercialização da carne fresca, não se reproduzem a baixas temperaturas, mas voltam sua proliferação com a elevação da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) da carne descongelada. A maior parte dos germes são eliminados a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mas alguns resistem até  $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O estoque precisa ser mantido congelado ou resfriado para viabilizar o consumo saudável. O congelamento acontece com a solidificação dos líquidos componentes das carnes. A carne é considerada totalmente congelada a  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ : temperatura de uma solução de NaCl (sal de cozinha) a 2% de concentração, análoga ao líquido da carne, totalmente congelada. (COSTA, 1982; pg. 258 - 262).

Os principais agentes microbiológicos causadores de doenças e combatidos nestes processos frigoríficos são: *Salmonella* spp, *Listeria* spp, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus* spp, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus* spp, Coliformes, Bolores

e leveduras. (terranova, 2023). Para alimentação, durante o armazenamento, os produtos cárneos devem ser mantidos mais frios de  $-10^{\circ}\text{C}$  por dez dias. (PRESIDENCIA DA REPÚBLICA, 2023, p.26). As carnes são esterilizadas e embaladas hermeticamente. (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2023, p. 43).

A carne bovina, sem osso, passa por um processo de maturação, resfriada ou congelada. A maturação mantém a temperatura de  $-1^{\circ}\text{C}$  à  $4^{\circ}\text{C}$  para melhorar as qualidades comerciais da carne. (MAPA, 2022). A carne, sem ossos, não visceral, deverá, em caso de exportação à China, ser congelada em blocos de espessura máxima de 15 cm mais frio de  $-18^{\circ}\text{C}$ . (MAPA, 2020).

Exemplo alternativo é o pescado. Deve ser congelado à  $-20^{\circ}\text{C}$  por 24 horas ou a  $-35^{\circ}\text{C}$  por 15 horas. (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2023, p. 34). Para exportação à China, semelhantemente ao pescado, a temperatura da carne bovina é mantida abaixo de  $-18^{\circ}\text{C}$ . (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2023, p. 47). A carne congelada deve estar mais fria de  $-12^{\circ}\text{C}$  para circulação nacional e tem validade de até dois anos (EXPOMEAT, 2023). A carne bovina congelada deve ser estocada, até doze meses, de  $-18$  a  $-24^{\circ}\text{C}$  e 85 a 95% de humidade relativa (COSTA, 1982, p 268).

As vantagens do congelamento rápido para a carne são: mínima perda de peso (cerca de 0,5%), cor mais clara, mínima perda de sumo (paladar); melhor consistência e maciez após o descongelamento e economia de espaço, por exemplo, devido os túneis em tendal (varal de carnes análogo a varal de roupas). (COSTA, 1982, p. 257 – 259).

A temperatura de armazenamento, pelos processos de congelados ou resfriados, afeta a textura da carne. A congelação torna a carne mais tenra, facilitando o corte quando descongelada. (Barbosa, 2018, p. 9).

A carne resfriada tem processo mais rápido até o consumo: abate, resfriamento (maturação), quarteio (cortes de carcaça), desossa, embalagem e expedição. A validade média da carne resfriada no mercado interno é de 60 dias e depende do controle de temperatura ente  $2^{\circ}\text{C}$  e  $7^{\circ}\text{C}$ . (EXPOMEAT, 2023).

O aumento da temperatura é proporcional ao crescimento dos micro-organismos e à taxa de deterioração das carnes. Por isso é necessário controlar e manter a temperatura de acordo com as leis já citadas. (OPAS, 2019, p. 34). No corte e embalagem, os processos devem acontecer o mais rápido possível, mantendo as condições higiênico-sanitárias. (OPAS, 2019, p. 34). As carnes esterilizadas passam

por processo térmico em no máximo duas horas após o fechamento das embalagens. (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2023, p. 44).

Congelamento e resfriamento têm suas vantagens e desvantagens. Embaladas e congeladas a carne perde qualidade do produto durante o processo de congelamento. É a perda de água (exsudação) comprometendo a maciez da carne, sendo a maciez, um dos parâmetros comerciais de qualidade. A carne resfriada tem melhor qualidade, mas prazo de validade reduzido que inviabiliza logísticas mundiais. (BEEFPOINT 2003). E o congelamento rápido mantém as características organolépticas (Cor, brilho, transparência, brilho, textura, odor e sabor) naturais da carne. (EXPOMEAT, 2023).

Os veículos e seus compartimentos utilizados para o transporte de carnes congeladas têm isolamento térmico e equipamento frigorífico com controle de temperatura. (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2023, p. 64). A cadeia do frio para indústria da carne tem uma logística complexa. Do pasto e granja até a mesa de alimentação as carnes passam por abatedouros, desossa, corte e embalagem, armazéns refrigerados, túneis de congelamento, transporte refrigerado ou congelado e açougues em geral. (AUTOR, 2023).

### **2.1.1 Processo de Resfriamento**

O primeiro processo frigorífico após o abate é o resfriamento dos maiores pedaços. O boi gordo vivo no pasto pesa em média 468 kg. Na entrada do abatedouro pesa 440 kg. Após o abate pesa 255 kg de carcaça quente, ou seja, a parte comercial para alimentação é em média 50% do animal vivo. Há o desconto de miúdos e glândulas, sangue, ossos, gorduras, couro, mocotós, intestinos, bucho, unhas etc. (ROÇA 2020).

Os maiores pedaços, em relação a carcaça, são nomeados em traseiro (120 kg - 50%), dianteiro (95 kg – 38%), ponta de agulha (35 kg – 14%). (ROÇA 2020). A Figura 1 apresenta os primeiros pedaços após o abate dos bovinos:

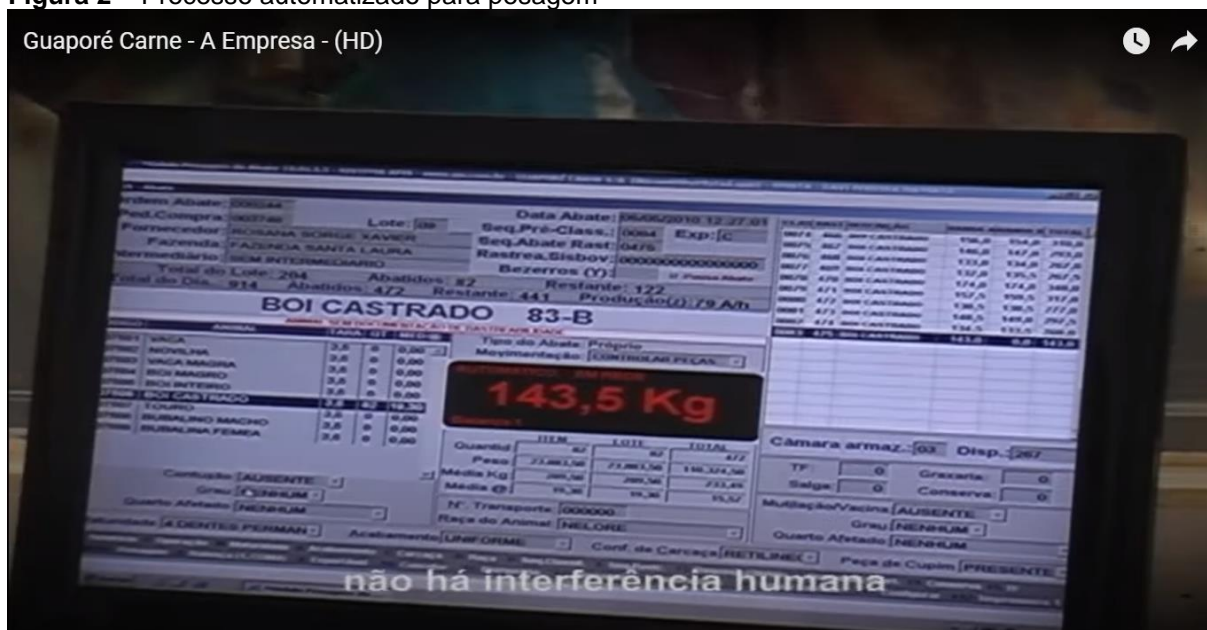
**Figura 1** – Primeiros pedaços



Fonte: Cabra Quente (2011)

Os processos são todos automatizados. Alguns são eletromecânicos e outros eletrônicos. Uma visão de um software de monitoramento do processo pode ser vista na Figura 2 a seguir:

**Figura 2** – Processo automatizado para pesagem



Fonte: Thop Midia (2011)

A embalagem da carne resfriada é específica e feita com filme plástico composto por várias camadas, o que garante as chamadas “altas barreiras” contra a entrada de oxigênio. A embalagem a vácuo diminui a oxidação da carne e aumenta sua vida de prateleira. (EXPOMEAT, 2023).

### 2.1.2. Processo de Congelamento

É necessário o congelamento, independentemente do tipo de carne, para exportação à China. São dados vários exemplos práticos como no caso do Frigorífico Rio Maria, no estado do Pará, exportando pelo porto de Santos. O processo de congelamento exige a construção e operação de túneis para maximizar a velocidade de congelamento. (Gente Vip, 2022). Uma visão da construção do túnel pode ser vista na Figura 3:



**Figura 3 – Construção de Túnel de Congelamento**

Fonte: Gente Vip (2022)

A velocidade de congelamento é inversamente proporcional ao desenvolvimento destes micróbios de putrefação da carne. Considerando 1/4 de boi igual uma placa plana de 20 cm de espessura, a velocidade de congelamento, é de 0,79 cm/h (centímetros por hora), considerando 40°C a temperatura do ar na câmara ou túnel frigorífico. As variáveis do congelamento são: o gradiente de temperatura entre as partes sólida e líquida das carnes, a espessura do bife e sua condutividade térmica interagindo com a transferência de calor do túnel. A espessura do bife é inversamente proporcional à velocidade de congelamento. Considerando a condutividade térmica do ar de 10 a 100 kcal/m<sup>2</sup> h °C (quilo Calorias por metro quadrado hora Celsius) os bifés de mais de 10 cm invalidam a velocidade de congelamento no processo de estocagem, após a saída do túnel, nas câmaras de armazenamento para expedição. A velocidade de congelamento deve ser superior a 5 cm/h para que a carne, ao ser descongelada para consumo, preserve seu estado gastronômico, mais próximo, do momento de abate frigorífico. (COSTA, 1982, p. 261).

De acordo com SANTOS (2005, p. 14), é necessário o controle sistemático da operação de congelamento porque influencia na qualidade e segurança alimentar. A embalagem é um dos tipos de controle. O papel, papelão e materiais plásticos são embalagens eficientes para congelamento (SANTOS, 2005, p. 14). Um exemplo de empacotamento realizado para ser exportado para a China pode ser visto nas Figuras

4 e 5 a seguir. (Brasil Rural, 2019). Na Figura 4 o empacotamento com a embalagem plástica à vácuo:

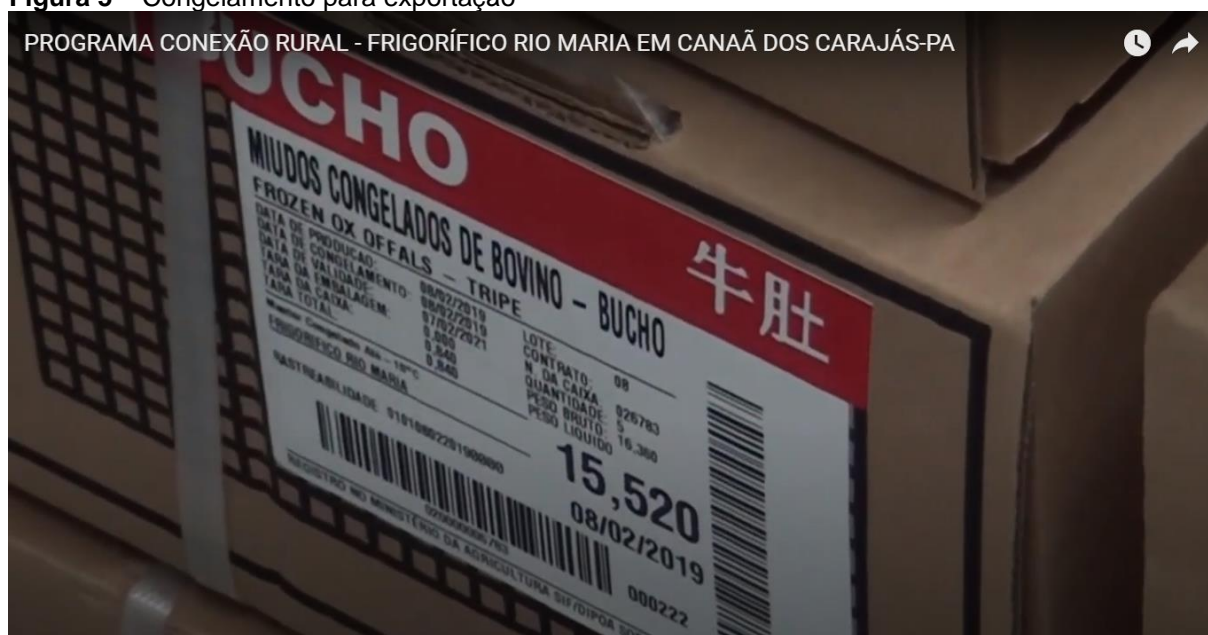
**Figura 4** – Processo embalagem à vácuo



**Fonte:** Antônio Marchi (2020)

Na Figura 5 vemos o costume antigo desta indústria em congelar, todo tido de carne, em caixas de papelão. Nesse caso são miúdos tipo bucho exportados para Hong Kong. (Brasil Rural, 2019). O papelão influencia na velocidade de congelamento, como será calculado nas próximas seções, para os túneis de congelamento. (SANTOS, 2005, p. 14 e 16).

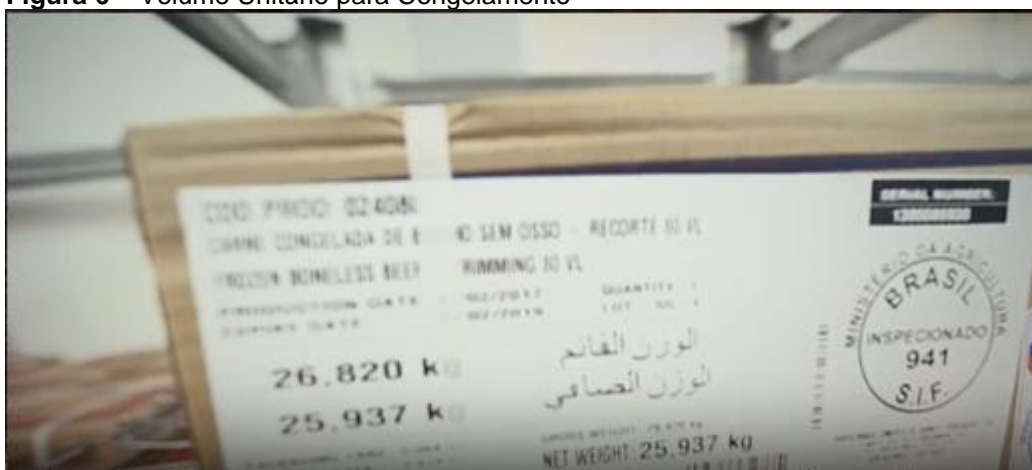
**Figura 5** – Congelamento para exportação



Fonte: Brasil Rural (2019)

Na Figura 6, de acordo com a seção 1.3, vemos o padrão comercial médias 25 kg para carne e peso da caixa mais embalagem 1 kg. Exportação à China de acordo com as normas do MAPA e seu selo padrão S.I.F (Serviço de Inspeção Federal). O Selo S.I.F 941 representa a normalização do Frigorífico Barra Mansa em Sertãozinho – SP.

**Figura 6** – Volume Unitário para Congelamento



Fonte: BARRA MANSA (2023)

Após a câmara de maturação, nestas caixas de 25 kg, o produto cárneo delimitado no subcapítulo 1.3, segue para congelamento acelerado, em sistemas hiperventilados, nomeados de túneis de congelamento. Os túneis de congelamento serão detalhados e calculados nas próximas seções. Na sequência estes pacotes são armazenados sob condições de temperatura ideal conforme pode ser observado na Figura 7. (AUTOR, 2023).

**Figura 7** – Controle de temperatura de congelamento para exportação à China



Fonte: BATISTA (2020)

A desidratação e perda de paladar é reduzida por embalagens apropriadas (não pode ter ar dentro), como já mostrado na Figura 4, durante os processos de congelamento e armazenagem. O tempo de estoque é proporcional a intensidade da

temperatura negativa. (OPAS, 2019, p. 34). A Figura 8 apresenta a câmara de estocagem do Frigorífico Barra Mansa. A capacidade de armazenagem e controle de temperatura, entre  $-18^{\circ}\text{C}$  e  $-24^{\circ}\text{C}$ , é de mil e trezentas toneladas de carne bovina congelada, divididas nestas caixas de 25 kg, prontas para expedição à China. (BATISTA, 2020).

**Figura 8** – Câmaras de estocagem para carnes congeladas



Fonte: BATISTA (2020)

## 2.2 O Ciclo Frigorífico

Neste tópico introduzir-se-á o conceito de ciclo termodinâmico, ciclo frigorífico e equacionamentos das variáveis necessárias em 1.3 - Delimitação. Destaque à potência frigorífica (W). Apresentar e relacionar o ciclo de Carnot. Apresentar conceitos, equações e diagramas. Sem cálculos nesta seção. Explicar esses conceitos para fazer o cálculo da carga térmica e dimensionar os processos.

Charles Tellier (compressão mecânica) e Ferdinand Carré (absorção), entre 1858 e 1865 na França, construíram a primeira instalação frigorífica com a tecnologia do frio. O sistema de refrigeração mais adotado em túneis de congelamento é a compressão mecânica de vapores. (LONCAN, 2019, p. 19). É um ciclo termodinâmico especificamente nomeado de Ciclo Frigorífico. (AUTOR, 2023).

### 2.2.1 Termodinâmica

A mudança de estações climáticas, como por exemplo do inverno para o verão, é um ciclo termodinâmico natural. Estamos tratando de um ciclo termodinâmico industrializado porque depende da atuação do equipamento frigorífico com suas máquinas trabalhando em conjunto, ou seja, um sistema frigorífico. (AUTOR, 2023).

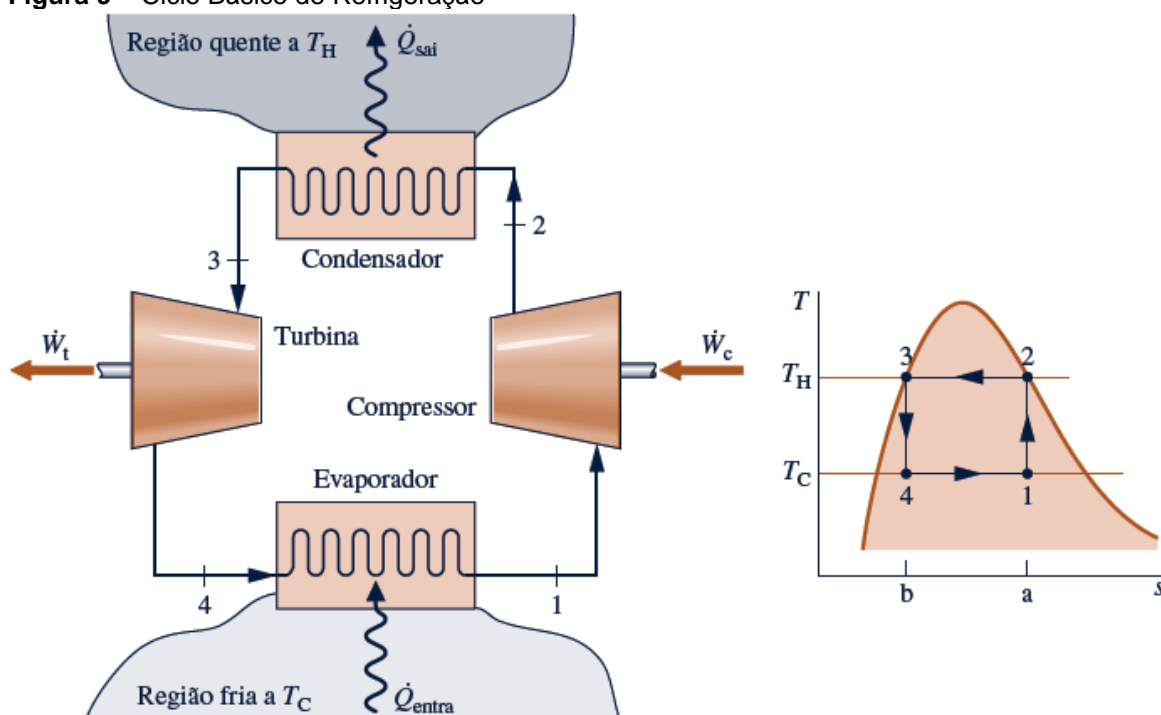
Refrigeração, nesse caso, é a retirada de calor (Joules) da carne bovina passando pelo sistema de refrigeração do túnel de congelamento. Suas partes operacionais mais importantes, independentemente do tipo de túnel, são os recursos de controle térmico e trocas de calor: paletização interna com reposição das caixas de carne, isolamento sólido interno e externo, ar atmosférico interno e externo, ventilação forçada interna, portas de isolamento, iluminação artificial interna, radiação solar, automatização, equipamento frigorífico na sala de máquinas, manutenção industrial, funcionários trabalhando e o consumo de eletricidade para manter o sistema funcionando por turnos de trabalho.

Em si tratando de conceitos termodinâmicos básicos para este projeto tecnológico é importante citar diretamente MORAN et al. (2018, p. 45):

Métodos baseados em experimentos estão disponíveis para avaliar a transferência de energia sob a forma de calor. Esses métodos identificam dois mecanismos básicos de transferência: condução e radiação térmica. Além disso, relações empíricas estão disponíveis para avaliar a transferência de energia que envolve um modo combinado chamado convecção.

O fluido refrigerante é o principal trocador de calor. O sistema muda o estado físico do refrigerante, ao longo da tubulação pressurizada (Pascal), para aumentar a eficiência destas trocas entre o túnel de congelamento e seu ambiente externo. (AUTOR, 2023).

A retirada de calor é possível pelo recurso de vaporização do refrigerante no ponto de expansão e para continuidade do ciclo este vapor é condensado no ponto de condensação. (LONCAN, 2019, p. 20). A Figura 9 apresenta o arranjo mecânico principal; Compressor (1–2), Condensador (2–3), Válvula de Expansão ou Turbina (3–4); Evaporador (4–1); do Ciclo Frigorífico Básico:

**Figura 9** – Ciclo Básico de Refrigeração

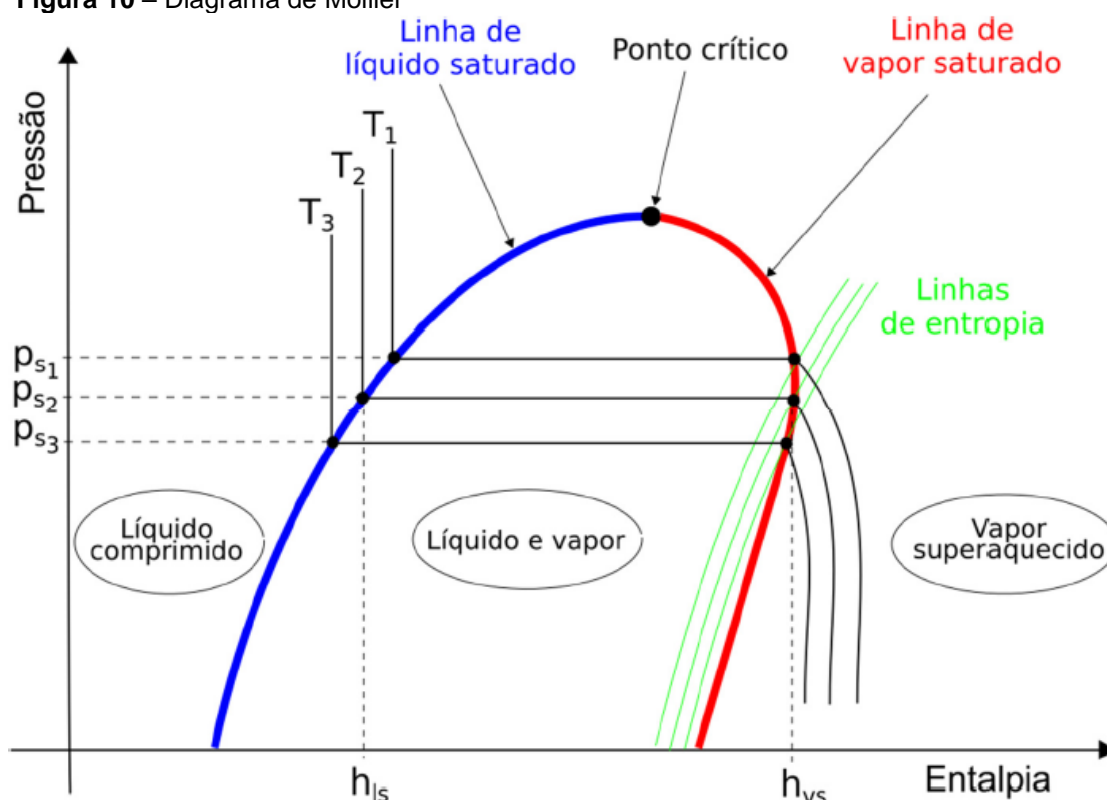
Fonte: MORAN *et al.* (2018, p. 494)

Explicando a Figura 9 acima: os pontos 1, 2, 3 e 4 são pontos de estado do fluido refrigerante. O ponto 1 é uma mistura líquido–vapor ou vapor saturado de líquido. O ponto 2 é vapor saturado ou vapor superaquecido. O ponto 3 é líquido saturado de vapor. O ponto 4 é uma mistura de líquido–vapor saturado, ou seja, voltando ao estado do ponto para completar o ciclo. (VASCONCELOS, 2023, p. 2); (MORAN *et al.*, 2018, p. 494).

Ainda na Figura 9 o Evaporador troca calor com o ar do túnel para congelar a carne. O Compressor suga e pressuriza o vapor. O Condensador troca calor com o ambiente externo eliminando o calor de pressurização. A Válvula de Expansão, mais presente por questões econômicas, devolve o estado de vapor para eficiência do Evaporador. A Tubulação, uma parte de serpentinas e outra retilínea, interliga respectivamente a sucção e descarga do Compressor, a rejeição de calor do Condensador, a inversão de pressão da Válvula de Expansão e o Efeito Frigorífico do Evaporador. (LONCAN, 2019, p. 20–21).

O Efeito Frigorífico é objetivo geral do Projeto de um Túnel de Congelamento. As principais variáveis, até mesmo de acordo com o diagrama de Mollier apresentado adiante na Figura 10, são Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Pressão (kPa) e Entalpia (kJ/kg). A temperatura do vapor é diretamente proporcional à sua pressão, ou seja, quanto menor a pressão mais “congelada” será a carne. (LONCAN, 2019, p. 20).

**Figura 10** – Diagrama de Mollier



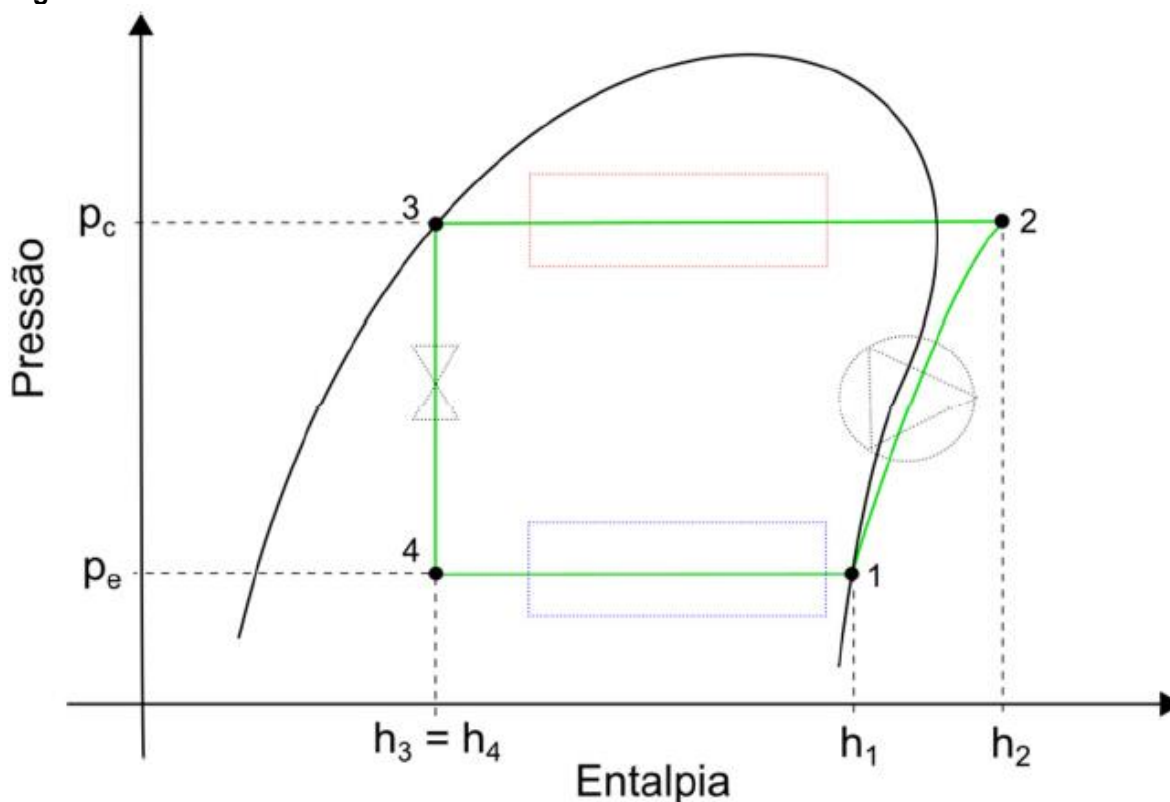
Fonte: VASCONCELOS (2023, p. 2)

Ainda na Figura 10:  $T_1 > T_2 > T_3$ ,  $p_s$  é pressão de saturação,  $h_{ls}$  é entalpia de líquido saturado e  $h_{vs}$  é a entalpia de vapor saturado.

É importante detalhar os processos termodinâmicos envolvidos no Ciclo de Mollier. Compressão Adiabática Reversível e Isoentrópica (1–2). Rejeição de Calor Isotérmica e Isobárica (2–3). Expansão Isoentálpica (3–4). Efeito Frigorífico Isobárico e Isotérmico (4–1). (LONCAN, 2019, p. 22). A Figura 11 ilustra esses processos:



**Figura 11** – Processos Termodinâmicos do Ciclo de Mollier



Fonte: VASCONCELLOS (2023, p. 8)

De acordo com LONCAN (2019, p. 22 – 24):

O Calor de Efeito Refrigerífico é

$$Q_e = H_1 - H_4 \quad (1)$$

Onde:

$Q_e$  – Calor de Efeito Refrigerífico (kJ/kg).

$H_1$  – Entalpia ponto 1 (kJ/kg).

$H_4$  – Entalpia ponto 4 (kJ/kg).

O Trabalho de Compressão é

$$W_c = H_2 - H_1 \quad (2)$$

Onde:

$W_c$  - Trabalho de Compressão (kcal/h).

$H_2$  – Entalpia do Ponto 2 (kJ/kg).

$H_1$  – Entalpia do Ponto 1 (kJ/kg).

O Calor de Efeito Condensador é

$$Q_c = H_2 - H_3 \quad (3)$$

Onde:

$Q_c$  – Calor de Efeito Condensador (kcal/h)

$H_3$  = Entalpia do ponto 3 (kJ/kg)

O Coeficiente de Performance é

$$\text{COP} = \frac{H_1 - H_4}{H_2 - H_1} \quad (4)$$

Onde:

COP – Coeficiente de Performance (Adimensional)

A Vazão Mássica é

$$Mh = \frac{Pf}{Qe} \quad (5)$$

Onde:

Mh – Vazão Mássica (kg/s);

Pf - Potência Frigorífica do Túnel (kW)

O Volume de fluido circulante é

$$V = Mh \times V1 \quad (6)$$

Onde:

V1 - Volume específico (m<sup>3</sup>/kg)

A Potência Calorífica do Condensador é

$$Pc = Mh \times Qc \quad (7)$$

Onde:

Pc - Potência Calorífica do Condensador (kW).

### 2.2.2 Carga Térmica

O estudo de carga térmica é, além de uma aplicação do Ciclo Frigorífico, necessário em um projeto de refrigeração para dimensionar os equipamentos de retirada de calor. Considerando que a carga térmica de produto (carne bovina) é sempre a maior carga térmica a ser retirada pelos equipamentos para congelar a carne, ou seja, aproximadamente 80% de toda a carga térmica é devido ao produto a ser congelado. Os principais pontos de calor, para cálculo de carga térmica (kW/dia), são seis (MARINHO 2023, p. 3 - 11):

- Fator 1 - Calor transmitido por parede, tetos e piso;
- Fator 2 – Calor devido a infiltrações;
- Fator 3 – Calor devido ao produto;
- Fator 4 – Calor devido à pessoas;
- Fator 5 – Calor devido à iluminação;
- Fator 6 – Calor devido à equipamento.

Considerando que o conceito de carga térmica é a soma do Calor (KW/dia de operação de congelamento) de todos os fatores acima, outro fator de destaque aqui é a velocidade do ar determinada pela potência (W) dos ventiladores dos Evaporadores, ou seja, a interface entre a carga térmica total de um túnel de congelamento e o circuito frigorífico do diagrama P x h. A velocidade do ar é, dentro dos limites de convecção de calor e geometria do túnel, proporcional à potência de troca de calor entre o Evaporador e o Túnel de Congelamento. (STOECKER; JABARDO, 2018; p. 150 e 158).

### 2.2.3 Rendimento Frigorífico

De acordo com JR, REIS (2016, p. 194 – 196), a potência térmica do equipamento frigorífico é o calor que este é capaz de absorver em Quilocalorias por hora (kcal/h), British Thermal Unit por hora (BTU/h), Quilowatt (kW) ou Tonelada de Refrigeração (TR).

A relação da refrigeração com a eficiência energética é gerar o frio necessário, carga térmica frigorífica (kW), com a menor quantidade de energia elétrica (kW). O nome desta relação é Rendimento Frigorífico matematicamente representado por COP, ou seja, o coeficiente de performance ou valor comercial para o rendimento. VASCONCELOS (2023, p. 12).

Para aumentar o rendimento é necessário fluido refrigerante de qualidade, equipamentos adequados e atualizados, controle preciso das pressões e temperaturas, bom uso da automação e modulação de capacidade. (ABRAVA OFICIAL, 2023).

É necessário estudar os problemas de rendimento nos ciclos frigoríficos e seus túneis de congelamento de carne, sistemas operando de 10 °C até – 50 °C, para compararmos a eficiência entre os tipos de túneis. A Tabela 2 apresenta os pontos críticos de rendimento e algumas soluções por equipamento do diagrama P x h. (Autor 2023).

**Tabela 2 – Problemas de Rendimento e Soluções por Equipamento do Diagrama P x h**

<b>Equipamento</b>	<b>Ponto crítico</b>	<b>Solução</b>
Compressor	alteração entrópica	manter o processo isoentrópico, aumentar o rendimento volumétrico
Evaporador	temperatura de saída do evaporador	controle do recurso de superaquecimento
Válvula De Expansão	vazamentos na válvula	controle de vazamentos e automação
Condensador	reduzir a perda de carga de pressão	uso de condensadores a água, temperatura de condensação menor de 43°C
Refrigerante	seleção	reduzir o trabalho (kw) do compressor

**Fonte:** SALDANHA (2019, p. 13, 15 – 18, 69); SILVA, (2004, p. 107)

Para congelar a carne em túneis, de forma geral para temperatura interna – 50°C e externa 10°C, aproximadamente a temperatura da carne maturada para entrada no túnel, os problemas de rendimento frigorífico e soluções por pontos de calor são apresentados na Tabela 3:

**Tabela 3** – Problemas de Rendimento e Soluções por Pontos de Calor

Ponto de Calor	Ponto Crítico de Rendimento	Solução
Paredes e esteiras	Formação de gelo e estalactites	Equipamento Desumificador. Isolante com menor fluxo de calor (kW/m <sup>2</sup> )
Portas	Acúmulo de água e gelo na entrada do túnel, infiltração	Controlar a entrada de ar do ambiente natural e o tempo de abertura, uso da Carta Psicrométrica da cidade de Anápolis – GO. Reduzir a área de abertura. Diminuir a TBS (Temperatura de Bulbo Seco) do ar de infiltração e manter a TBS interior. Diminuir a UR (Umidade Relativa) do ar de infiltração e manter a UR interior.
Embalagens	danificadas pelo acúmulo de gelo, calor específico da embalagem composta por papelão mais plástico	Controlar a entrada de ar do ambiente natural, escolher embalagens com menor calor específico
Esteiras e Elevadores	Formação de neva e travamento	Controlar a entrada de ar do ambiente natural e manutenção eletromecânica
Piso	Deformação devido gelo de água condensada na face inferior	Aquecimento ou ventilação sob os painéis. Aplicação de fina camada de asfalto, emulsão betuminosa, resinas polímeras, filmes de metal, painéis pré-fabricados em forma de sanduíche ou folhas de plástico. Garantir a eficiência da barreira de vapor.
Orifícios construtivos e não construtivos	Vazamentos em geral	Manutenção eficiente e garantir o isolamento
Fontes Internas de Calor (Pessoas e Iluminação)	Potência da troca de calor	Automatização, uso do LED e Controlar a entrada de ar do ambiente natural
Calor latente e de Respiração da Carne	Hiperdimensionamento da Carga Térmica	Embalagem para reduzir o calor latente, reduzir o tempo de congelamento e aumentar a qualidade do produto congelado
Temperatura de entrada da carne	Perda total do produto e maior consumo de energia para iniciar o congelamento.	Manter a temperatura entre 0°C e 7°C para entrada no túnel
Tempo de permanência da carne	Tempo de funcionamento do Compressor frigorífico. A redução de tempo de funcionamento é inversamente proporcional ao rendimento dos equipamentos de frio	Garantir a segurança alimentar e qualidade do produto. Evitar a formação de gelo no processo do Evaporador. Aumentar a troca de calor para reduzir o tempo de funcionamento e consumo de energia. Manutenção eficiente.
Controle de Expedição e Reposição	Aumento da temperatura na Antecâmara de carregamento aos caminhões. Períodos de expedição. Empilhamento e Paletização	garantir a temperatura da carne entre – 18°C e – 24°C e o controle logístico para exportação à China
Posicionamento Cardeal construtivo	Posicionamento solar pode aumentar a carga térmica	Maior tempo de sombra no verão
Potência total dos motores no ambiente externo	Perdas por ineficiência e atrito de funcionamento	Manutenção eficiente
Tempo médio de operação dos motores no ambiente	Quanto menor o rendimento maior é a carga frigorífica perdida	Manutenção eficiente
Calor específico do produto acima do congelamento	Maior parte do hiper dimensionamento da carga térmica pela carne a congelar (DOBROVOLSKI, 2004, p. 99)	Confiar nas Tabelas (OLIVEIRA, 2023, p. 7)
Calor específico do produto abaixo do congelamento	Menor Hiperdimensionamento da carga térmica	Confiar nas Tabelas (OLIVEIRA, 2023, p. 7)
Velocidade de Congelamento	Afeta a qualidade do produto congelado	Manter a velocidade de “congelamento do ar” maior de 0,5°C/minuto

**Fonte:** BRY-AIR (2021); DOBROVOLSKI (2004 p. 89, 97, 99 – 105); CHAGAS (2023, p. 8), PERESTRELO (2017, p. 17, 23, 29, 36); SILVA, (2004, p. 215, 228, 230, 252), SANTOS (2005, p. 30); COSTA (2018, p. 28); PEREIRA, OLIVEIRA (2020, p. 3); BUENO (2008, p. 3, 27, 92); (OLIVEIRA, 2023, p. 7)

A Tabela 3 acima identifica os vários pontos de perda energia elétrica proporcional às perdas de rendimento frigorífico. A Figura 12 mostra uma das principais perdas de rendimento frigorífico em túneis de congelamento, ou seja, o problema do acúmulo de gelo pelas paredes e pisos dos túneis:

**Figura 12** – O Problema do Acúmulo de Gelo pelas Paredes e Pisos dos Túneis



Fonte: BUENO (2008; p. 94)

## 2.2.4 Equipamentos

Os principais equipamentos de refrigeração são a Unidade evaporadora, a Unidade condensadora, a Válvula de expansão, o Controlador, as Válvulas solenoides, o Visor de líquido, o Filtro secador e as Tubulações. (VILAIN, 2018, p. 52).

De acordo com VILAIN (2018, p. 48), os principais componentes do ambiente de um túnel de congelamento são: Módulo frigorífico (Painel frigorífico ou Alvenaria), Porta frigorífica, Equipamento de refrigeração (Split system ou Plug-in) e Acessórios (Cortina, Pallet, Estantes, Estrado etc.). A Figura 13 apresenta o exemplo de uma sala de máquinas:

**Figura 13:** Sala de máquinas de alta potência (W) frigorífica



Fonte: FRIGO 10 (2021)

Os compressores comandam o fluxo do fluido refrigerante pelo sistema de refrigeração: recebe o fluido refrigerante em estado de vapor superaquecido, baixa temperatura e pressão. Completando este ciclo termodinâmico, após o compressor, o refrigerante comprimido eleva sua pressão e temperatura dando sequência ao modelo de cálculo proposto pelo diagrama P x h. Junto com os condensadores, evaporadores, dispositivos de expansão e ventiladores o compressor executa o processo frigorífico da carne bovina em túneis de congelamento. (Elgin, 2023).

É importante destacar o acréscimo do custo de energia pela ação do Compressor e de acordo com a Figura 14, compressores de grande potência, consomem kW a mais além da carga frigorífica:



**Figura 14** – Compressores de grande consumo de Energia Elétrica



Fonte: LIMA (2016, p. 30)

### 2.2.5 Eficiência Energética

As mínimas perdas de humidade ocorrem quando o ar do túnel está próximo de saturado e ventiladores desligados, ou seja, com o ar parado. Mas é uma condição psicrométrica ideal para putrefação e é preciso encontrar as condições de equilíbrio entre a manutenção da humidade (sumo, paladar) da carne e sua conservação ideal para consumo. (DOSSAT 2004, p. 253, 258, 264 – 266)

De acordo com INOVADOOR (2022) é a troca de ar entre os ambientes externo e interno que resulta, dentro do túnel, em problemas de humidade, formação de gelo com piso escorregadio, danificando o equipamento frigorífico e as embalagens de carne, aumenta os custos (R\$) operacionais para manter a temperatura de projeto, diminui o tempo de vida do sistema de refrigeração e aumenta a quantidade de manutenções e substituições.

De acordo com BARROS, et.al (2020, p. 11 – 13), a refrigeração industrial consome 2% da energia industrial no Brasil.

De acordo com ARCANJO (2022, p. 41), é necessário profissionais de engenharia, projetistas e gestores operacionais, para garantir a segurança e eficiência dos sistemas de congelamento.

De acordo com BARROS, et.al (2020, p. 11 – 13), a indústria consome 37,7% da energia elétrica produzida no Brasil e a refrigeração consome 2% da energia industrial. Em 2018 a capacidade instalada, totalizando todas as Fontes, era de 162.840 MW movimentando bilhões de Reais e vem aumentando.

De acordo com JR, REIS (2016, p. 195 – 196), seguem as características de um projeto de eficiência de um sistema de refrigeração:

- Listar os valores individuais e dos concorrentes para referência de uso da energia elétrica;
- Aumentar a temperatura de evaporação para reduzir de 1 a 4% do custo de energia a cada 1°C de aumento;
- Diminuir a temperatura de condensação para reduzir de 2 a 3% do custo de energia a cada 1 °C de redução;
- Aumentar o sub – resfriamento do refrigerante antes de entrar na válvula de expansão;
- Selecionar o compressor em função da temperatura de projeto;
- Evitar o uso de compressores em carga parcial porque têm eficiência menor comparados aos de plena carga;
- Usar termostato para controle do ventilador da torre de resfriamento;
- Adequar o layout de embalagens de carne para favorecer as trocas de calor, por convecção da ventilação forçada, para congelamento rápido;
- Manter rotinas de manutenção eficientes para reduzir ao máximo as perdas.

Frio eficiente também ajuda o meio ambiente porque parte da matriz energética brasileira é poluente em sua geração (termoelétricas por exemplo). Contratar profissionais (refrigeristas) qualificados. Definir e instalar corretamente os ambientes. Boa manutenção. 75% do custo de operação de um sistema de refrigeração é eletricidade. Cinco vezes mais do que o investimento de compra e instalação. (ABRAVA OFICIAL, 2023).

### 2.3 Túneis de Congelamento

Os túneis de congelamento têm ventiladores para forçar o ar, de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  e 3 a 5 m/s, a trocar calor para congelar a carne. Funcionam em tendal conectados com roldanas e prateleiras participando do controle de congelamento. Existem túneis mais modernos, mais complexos e em outros formatos construtivos de acordo com RIMA (2016), tais como o “Túnel de congelamento em bandejas hd”. (COSTA, 1982, p 268).

De acordo com DOSSAT (2004, 253, 258, 264 – 266), a desidratação e perda de paladar é reduzida por embalagens apropriadas (não pode ter ar dentro) durante os processos de congelamento e armazenagem. As mínimas perdas de humidade ocorrem quando o ar do túnel está próximo de saturado e ventiladores desligados, ou seja, com o ar parado. Mas é uma condição psicrométrica ideal para putrefação e é preciso encontrar as condições de equilíbrio entre a manutenção da humidade (sumo, paladar) da carne e sua conservação ideal para consumo.

Neste estudo de caso é importante diagnosticar, para os processos de congelamento estático e contínuo, os pontos críticos à sua eficiência energética: máxima carga térmica de operação, limite da capacidade de congelamento, arquitetura do ambiente refrigerado, ventilação entre as embalagens de carne, equipamento frigorífico superdimensionado, profissionais refrigeristas despreparados e outras variáveis a definir durante o trabalho. (AUTOR, 2023).

Propor soluções para reduzir o consumo de energia elétrica a do processo de congelamento em um túnel frigorífico para carnes. A refrigeração vem aumentando sua demanda de mercado para o setor. (FRIO, 2021), (FRIO, 2023).

A escolha do tipo de túnel de congelamento mais eficiente; Estático, automático ou Helicoidal; depende da potência frigorífica ( $P_f$ -kW) requerida pelo projeto de refrigeração. (CN COUD, 2023). É necessário o planejamento deste projeto tecnológico.

### 2.3.1 Túnel de Congelamento Estático

Entre o resfriamento e o congelamento a carne passa pela sala de manipulação e desossa, e como já foi visto, a temperatura é controlada entre 10°C e 7°C. A Figura 15 mostra o sistema frigorífico e os processos de uma dessas salas para carne bovina:

**Figura 15** – Sala de Manipulação e Desossa

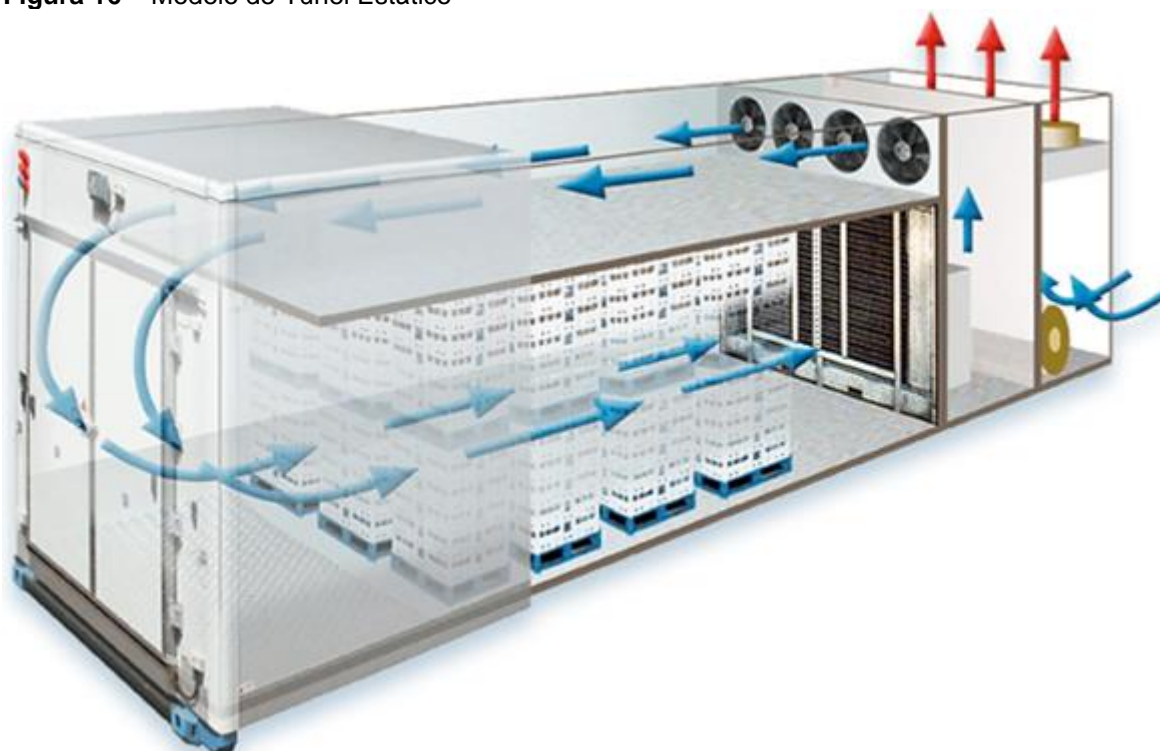


**Fonte:** TOP COOLER (2023)

Necessita de operação humana para montagem em paletes ou pilhas de caixas. O tempo de retenção necessário é obediente ao projeto frigorífico. (CN COUD, 2023).

É um sistema de congelamento no menor tempo possível e evitar perda de peso do produto por desidratação em longos períodos dentro do túnel. Paletização para capacidades entre volumes 150 a 1.000 kgs/h. A Figura 16 apresenta um modelo de túnel estático:

**Figura 16** – Modelo de Túnel Estático



**Fonte:** TOP COOLER (2023)

### 2.3.2 Túnel de Congelamento Automático

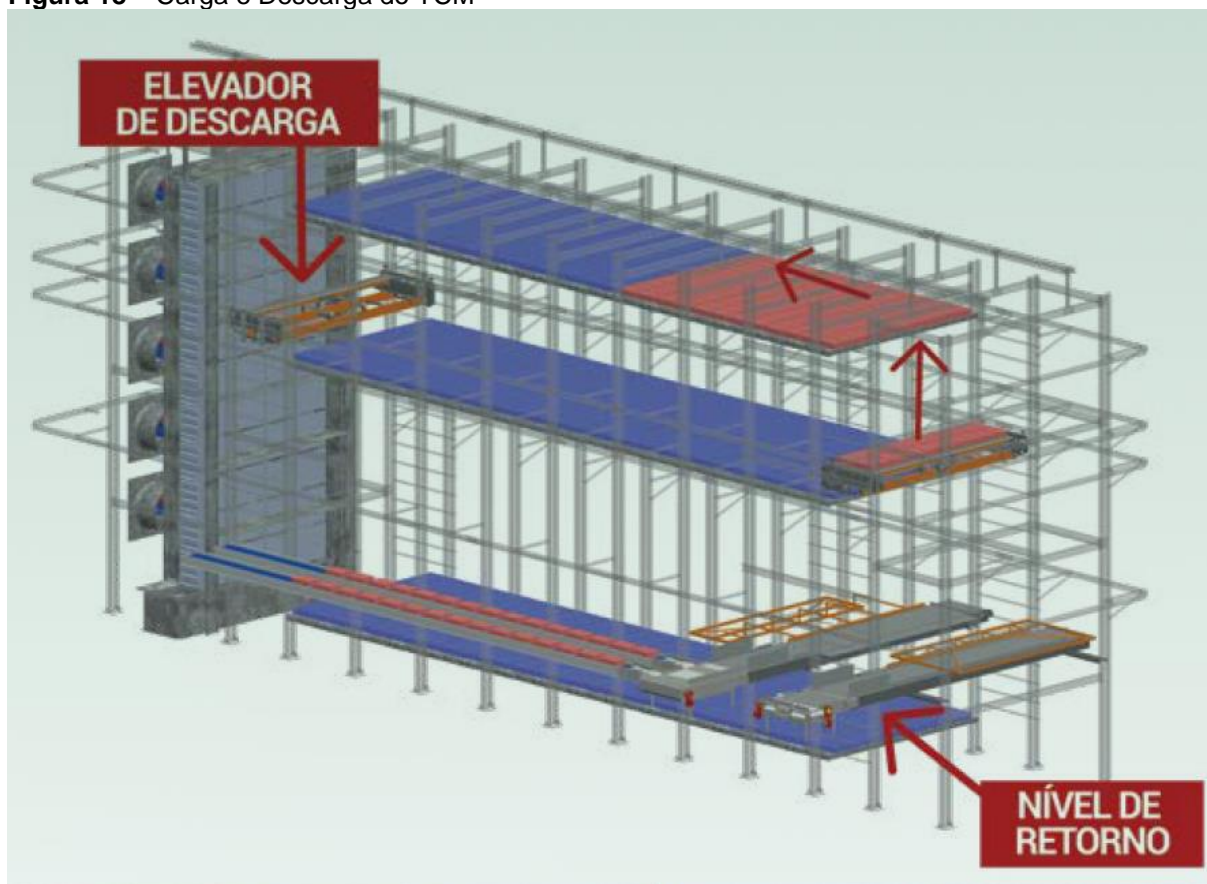
As caixas de carne seguem para o túnel em elevadores e esteiras de linha de produção. Obedecendo o projeto frigorífico para o tempo de retenção com o máximo possível de automação. O processo de expedição também é automatizado. (CN COUD, 2023). A Figura 17 apresenta, em sua ilustração construtiva e comercial, um tipo de Túnel Automático, ou “Túnel Prédio” automatizado:

**Figura 17** – Túneis de Congelamento Contínuo Mebrafe TCM



Fonte: MEBRAFE (2023).

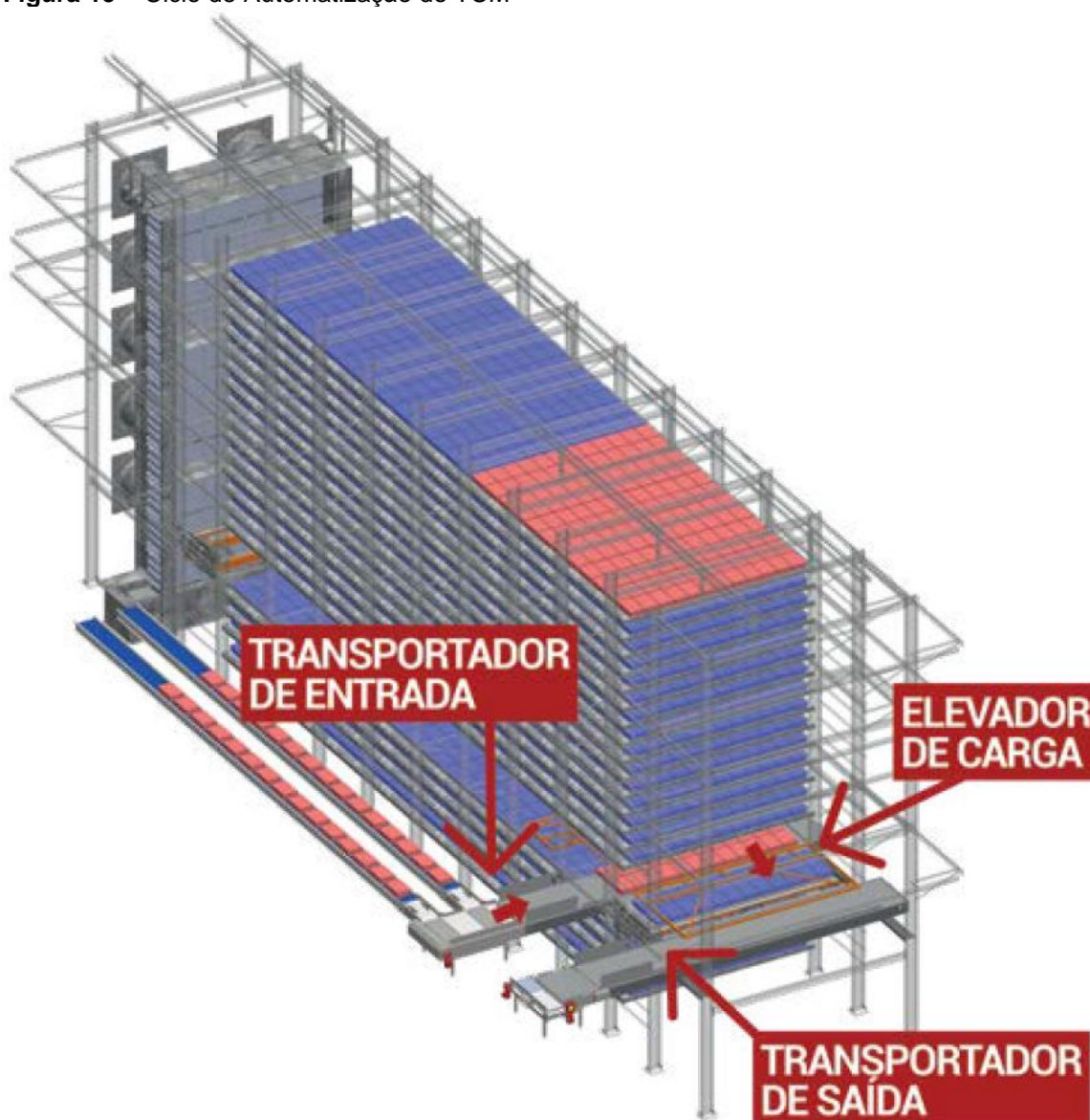
As caixas de carne são conduzidas em esteiras automáticas, do processo de resfriamento ao TCM até o elevador de carga, e após o congelamento, ao elevador de descarga igual mostra a Figura 18:

**Figura 18** – Carga e Descarga do TCM

Fonte: MEBRAFE (2023)

As caixas de carne congeladas com produtos são transferidas, automaticamente, ao transportador de saída. Simultaneamente, de acordo com o tempo determinado para o congelamento da carne, ocorre pelo elevador de carga a reposição de caixas a congelar renovando o ciclo de automatização. Igual mostra a Figura 19:

**Figura 19** – Ciclo de Automação do TCM



Fonte: MEBRAFE (2023)

### 2.3.3 Túnel de Congelamento Helicoidal

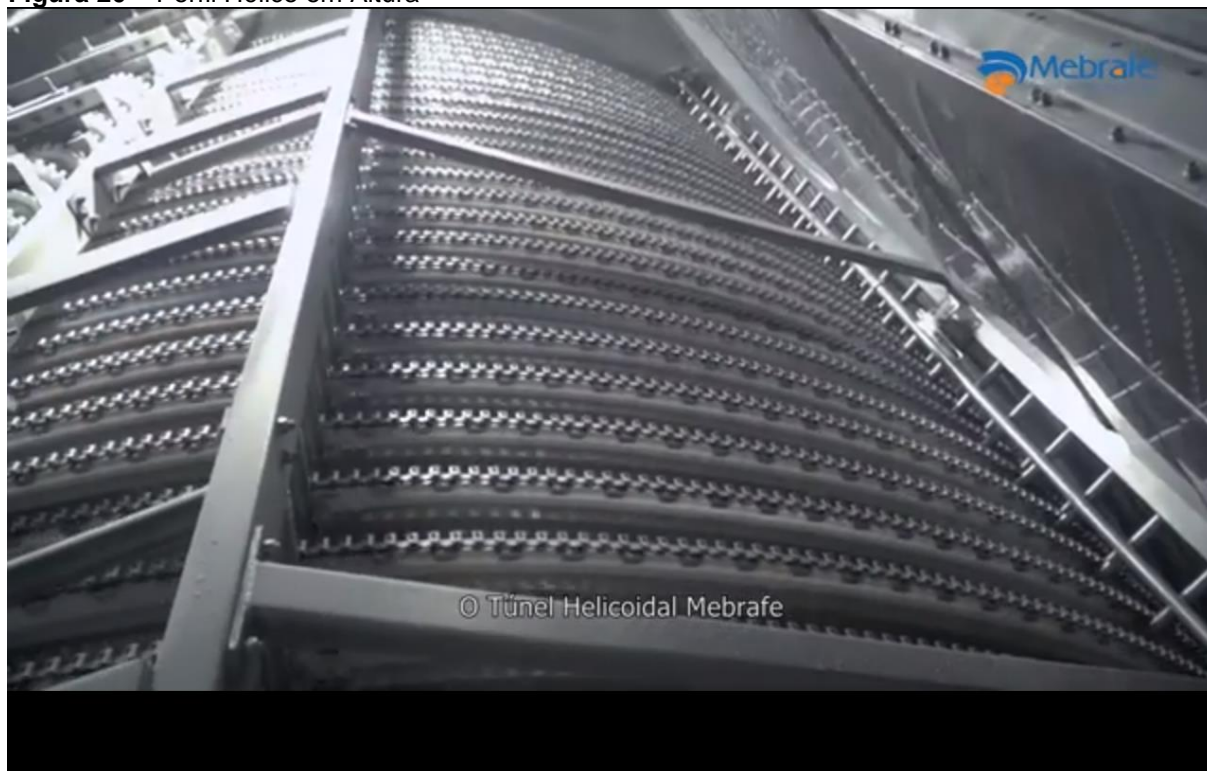
Uma cinta metálica ou plástica em forma de prateleira giratória e automatizada, encaixada num arranjo em espiral e por isso tem nome de helicoidal. As caixas de carne entram resfriadas na base da “hélice” e saem congeladas no topo. A “ventania” para acelerar o congelamento, ou trocas de calor, escoam dentro da espiral ou túnel helicoidal. (BARBOSA, 2018, p. 23).

Um dos diferenciais do Túnel Helicoidal é que as caixas são congeladas ao longo da hélice. É feito o controle para que o congelamento completo de cada caixa seja pontual em determinada prateleira, aumentando a precisão de congelamento por caixa, garantindo a qualidade do produto congelado. (BARBOSA, 2018, p. 24).



Automáticos e espirais (“Spiral Freezers”). A esteira é tracionada em um tambor giratório. As velocidades da esteira e do Tambor devem são mantidas por “overdrive” ou escorregamento para não quebrar. A manutenção exige controle do peso das caixas de carne pelo espaçamento na espiral. (MEBRAFE, 2023). A Figura 20 apresenta um exemplo de Túnel Helicoidal e o seu perfil da hélice em altura:

**Figura 20** – Perfil Hélice em Altura



Fonte: MEBRAFE (2020)

A Figura 21 apresenta o espaçamento ajustável entre as prateleiras. As recomendações da demanda frigorífica, pela qualidade da carne e tempo de congelamento, determinam estes ajustes:

**Figura 21** – Controle Ajustável de Paletização



Fonte: MEBRAFE (2023)

A Figura 22 mostra a paletização dos túneis espirais, durante o processo de congelamento de carne, e leva este projeto a análises futuras sobre deletar cargas térmicas de embalagens, como por exemplo, a seguir os produtos estão congelando diretamente para acelerar mais a troca de calor pela ventilação e o tempo de congelamento:

**Figura 22** – Paletização de Produtos no Túnel Helicoidal



Fonte: MEBRAFE (2020)

A Figura 23 a seguir mostra por onde a carne entra e sai. Veja o detalhe do Evaporador e seus ventiladores à esquerda, ao longo de toda a hélice, fazendo com que a carne esteja congelada na saída:

**Figura 23** – Fluxo de Congelamento do Túnel Helicoidal



**Fonte:** MEBRAFE (2023)

Para apresentação deste projeto segue a indicação do vídeo a seguir:  
[https://www.youtube.com/watch?v=S\\_X0wEPze7Q](https://www.youtube.com/watch?v=S_X0wEPze7Q) (3:10 min – 3:45; 08:10 – 10:04). Destaque para visualização do sistema isolado dentro de uma “caixa”.

### 3 PESQUISA DE MERCADO

O mercado exportador de carne bovina do Brasil foi citado na seção 1.1 Justificativa e serviu de motivação para esta pesquisa de mercado.

A princípio segue a lista das principais empresas envolvidas neste TCC. Os critérios de escolha são econômicos e técnicos para mecânica de refrigeração industrial ao setor de carne bovina. De acordo com a Tabela 4:

**Tabela 4** – Empresas deste TCC

<b>Empresa</b>	<b>Segmento</b>	<b>Tamanho (R\$)</b>
Elgin. (Elgin, 2023)	Equipamentos	Grande Porte
Mebrafe. (Mebrafe, 2023)	Equipamentos	Grande Porte
Multi Frio. (MULTI FRIO, 2023)	Equipamentos	Médio Porte
Frigocenter. (FRIGOCENTER, 2023)	Equipamentos	Pequeno Porte
Marfrig. (TRADEMAP, 2023)	Frigorífico Bovino	Grande Porte
Friboi – JBS. (TRADEMAP, 2023).	Frigorífico Bovino	Grande Porte
Barra Mansa Alimentos. (BARRA MANSA, 2023).	Frigorífico Bovino	Médio Porte
Frigoastra. (Frigoastra, 2017)	Frigorífico Bovino	Pequeno Porte
Frigoiás (FRIGOIÁS, 2021)	Frigorífico Bovino	Pequeno Porte
Minerva Foods (TRADEMAP, 2023)	Frigorífico Bovino	Grande Porte

**Fonte:** AUTOR (2023)

Destaca-se a Mebrafe na Tabela 5 pela listagem de projetos e instalações de túneis de congelamento, de todos os tipos conforme demanda dos Frigoríficos de carne bovina, construídos atualmente e nos últimos anos. Esta lista foi obtida em visita presencial deste Autor à Expomeat 2023. Ainda não há informação das especificações sobre os tipos de túneis:

**Tabela 5** – Lista de Túneis Construídos pela Multinacional Mebrafe

<b>Frigorífico</b>	<b>Construído</b>	<b>Em Construção</b>	<b>País – Cidade – Estado</b>
Plena Alimentos		X	Brasil – Paraíso do Tocantins – TO
Frigorífico La Caballada Cledinor S. A		X	Uruguai – Salto
Marfrig	X		Uruguai – Tacuarembó
Frigorífico Rio Maria	X		Brasil – Rio Maria – PA
Iguatemi Foods	X *recém-inaugurado		Brasil – Iguatemi - MS

**Fonte:** EXPOMEAT (2023)

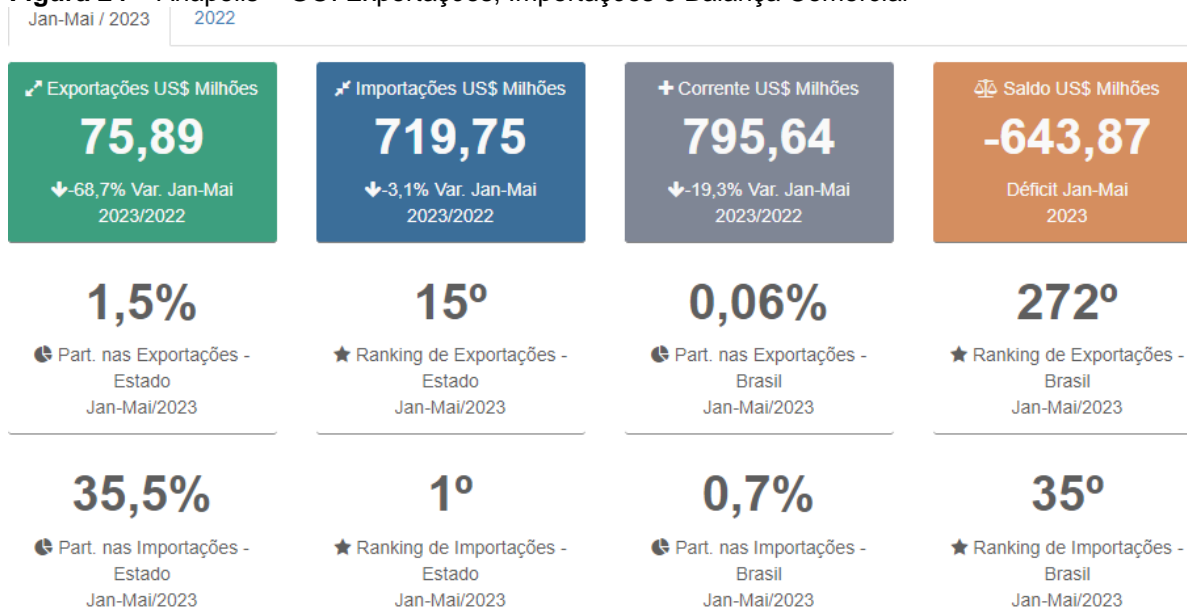
Este projeto é útil e necessário para seu público-alvo, ou seja, a indústria da carne bovina presenciada na Expomeat 2023. A proposta se diferencia de outros projetos por causa da sua implantação na cidade de Anápolis - GO.

Há demanda frigorífica para os três tipos de túneis de congelamento de carne bovina em um raio de 200 km do município anapolino. De acordo com o exemplo do

Frigorífico Rio Maria em Rio Maria – Pará que captou a demanda da região, num raio de 200 km em boiada de corte, para exportar carne à China (Gente Vip, 2022). Palmeiras de Goiás é a cidade mais próxima de Anápolis, a 150 km, operando exportação à China pela Minerva Foods. Não contemplando, nessa distância, cidades do norte goiano como Nova Crixás, São Miguel do Araguaia e Porangatu que somam mais de dois milhões de cabeças, ou seja, mais da metade do rebanho para corte. E Anápolis tem um único frigorífico de pequena capacidade, o Frigoíás, que declara logística privilegiada pela localização geográfica no meio do Brasil (FRIGOÍÁS, 2021). (SECRETARIA DE ESTADO; GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS, 2019); (CAMPO, 2022, p. 19).

De acordo com CONTEXTO (2019), apesar do rebanho bovino de Anápolis ser apenas o 95º de Goiás, a cidade é o principal polo logístico e industrial de Goiás, 1º lugar em importações no estado, porém muito necessitado de aumentar suas exportações para favorecer sua balança comercial em déficit de US\$ 643,87 milhões como mostra a Figura 24 a seguir:

**Figura 24 – Anápolis – GO: Exportações, Importações e Balança Comercial**



Fonte: ComexVis (2023)

Mais detalhes deste mercado em expansão podem ser vistos na Figura 25 detalhando, pelas principais cidades produtoras, o efetivo da pecuária goiana para corte estabelecendo Goiás em 3º lugar nacional em exportação de carne bovina, inclusive à China, maior comprador, com US\$ 740,5 milhões neste último ano. (CAMPO, 2022, p. 19).

**Figura 25 – Efetivo do Rebanho Bovino em Goiás até 200 Km de Anápolis**



Fonte: CAMPO (2022, p. 19)

De acordo com jornal Goiás em Tempo (2023) o consumo de carne bovina in natura não miúdos na cidade de Anápolis hoje é de 20 kg per capita e vem diminuindo devido os problemas econômicos da região. Investir em túneis de congelamento para exportação de carne bovina pode reduzir o preço do alimento, gerar empregos, aumentar a renda dos anapolinos e conseqüentemente o consumo dessa carne.

Outras justificativas, mais específicas desta pesquisa de mercado, são as motivações pessoais do Autor para adotar esta pesquisa de mercado na cidade de Anápolis – GO em foco para exportação de carne bovina. O Autor foi criado numa fazenda, no município de Anápolis, onde produzia-se leite e criava-se equinos para trabalho com o gado.

Durante sua experiência rural este Autor percebeu que “mexer com leite” é muito mais trabalho do que lucro (R\$) e, ao contrário, “mexer com carne” é muito mais lucro do que trabalho.

Espera-se através da pesquisa de mercado apresentada ajudar o processo decisório de empresas investidoras (R\$) neste projeto, quanto a sua forma de aplicação e observação direta para garantir lucros (R\$). (LAKATOS, 2021, p. 255).

#### 4 MATERIAIS, PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS PRELIMINARES

É um projeto técnico. Consiste no planejamento do projeto comparativo entre os três tipos de túneis de congelamento. O planejamento se iniciou na Introdução com o surgimento do problema a ser resolvido congelando 50 toneladas da carne por hora de processo de congelamento. Os conflitos originários são os parâmetros a comparar em eficiência energética. As soluções, hipóteses propostas, são passíveis de testes empíricos em estudo de caso e são passíveis de erros caso a solução, ao final do projeto, não seja encontrada com a identificação do tipo de túnel mais eficiente energeticamente. (LAKATOS, 2021, p. 108).

Como o planejamento se apoia no método comparativo para atingir seus resultados esperados é necessário, após classificar as variáveis, o estudo das semelhanças e diferenças entre os três tipos de túneis. Os processos de congelamento e resfriamento, os ciclos termodinâmicos e frigoríficos, o rendimento térmico, os equipamentos e a eficiência energética citados na fundamentação teórica são a base para explicação dos fenômenos necessários às análises dos dados concretos, apoiados inclusive, em cálculos físico-matemáticos e na pesquisa de mercado. (LAKATOS, 2021, p. 122).

Em LAKATOS (2021, p. 161) as variáveis de trabalho fazem parte da construção e desenvolvimento das hipóteses introdutórias deste projeto, que cabe resgatar:

“Uma hipótese analisada é resolver esse problema com um túnel de congelamento estático. Outra hipótese é resolver com um túnel de congelamento contínuo e outra hipótese é analisar a solução com um túnel do congelamento helicoidal”.

A execução desta pesquisa necessita de coleta de dados. É a aplicação dos instrumentos elaborados e técnicas selecionadas anteriormente, como por exemplo, o Ciclo Frigorífico e a Carga Térmica. O Cronograma é apresentado no próximo capítulo. O registro de dados, por estudo de caso, precisa minimizar os erros de medições nos túneis de congelamento operados pelas empresas da Pesquisa de Mercado. O estudo de caso é uma tarefa organizacional e administrativa coerentes com a dissertação bibliográfica já feita. Os Objetivos Específicos da Introdução devem ser realizados por este planejamento para reduzir o tempo de execução e facilitar a etapa seguinte prevista no Cronograma. (LAKATOS, 2021, p. 193).

O planejamento se encerra com a transformação das variáveis quantitativas em qualitativas. Como por exemplo parte do ciclo termodinâmico de um fluido refrigerante



absorvendo uma quantidade de calor específico. Ao atingir a temperatura de mudança de estado passa a absorver calor latente passando por uma mudança qualitativa entre vapor e líquido, ou seja, a quantidade transforma-se em qualidade (LAKATOS, 2021, 118).

Aplicado a comparação ou diferenciação entre os tipos de túneis, as quantidades calculadas para medir eficiência energética transformam-se em números que apontam uma maior ou menor eficiência. A comparação é possível entre as variáveis de controle para parâmetros comuns, entre os três tipos de túneis, porque o método comparativo permite analisar os dados concretos das semelhanças. Analisar a comparação das semelhanças entre os tipos túneis de congelamento é uma decisão deste planejamento. (LAKATOS, 2021, 122). É um processo que se inicia com a identificação das variáveis de controle para parâmetros comuns e de diferenciação entre os três tipos de túneis.

Na intenção de classificar as variáveis comparativas, segue no Quadro 1 de acordo com a Tabela 3 – Problemas de Rendimento e Soluções por Pontos de Calor, fundamentado nos estudos apoiados pelas referências bibliográficas, as variáveis de controle para parâmetros comuns entre os três tipos de túneis:

**Quadro 1** - Variáveis de Controle para Parâmetros Comuns Entre os Tipos de Túneis

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 T/h de congelamento</li> <li>• Caixas de 25 KG/Papelão Plano e Polietileno de Alta Densidade – maior eficiência (kW)</li> <li>• Parâmetros de qualidade da carne</li> <li>• Ciclo Frigorífico, o mais simplificado possível, por compressão de fluido</li> <li>• Fluidos refrigerantes iguais</li> <li>• Higrometria da Cidade de Anápolis – GO</li> <li>• Exportação à China</li> <li>• Tabela 3 – Problemas de Rendimento e Soluções por Pontos de Calor</li> <li>• Gradiente de temperatura</li> <li>• Cargas de Isolamento térmico</li> <li>• Tempo de congelamento</li> <li>• Tempo de reposição e expedição</li> <li>• Qualidade dos equipamentos</li> <li>• Período e eficiência da Manutenção</li> <li>• Ciclo frigorífico com equipamentos iguais</li> <li>• Calor das máquinas do diagrama P x h</li> <li>• Geometria da Carne (Frigocenter, 2023)</li> <li>• Limite de velocidade do vento 5 m/s (BARBOSA, 2018, p. 22)</li> </ul>
---

**Fonte:** AUTOR (2023)

Dado o nível de automação que um túnel de congelamento helicoidal possui, espera-se por exemplo, que este tenha um rendimento maior do que um túnel de congelamento estático, uma vez que, por exemplo, o tipo de isolamento térmico e a

ventilação são diferentes apesar de serem variáveis de controle para parâmetros comuns. Já o Túnel Automático, (em formato “Prédio”) tem problema de rendimento frigorífico (kW) dado a necessidade de se operar elevadores, uma variável de controle para parâmetro de diferenciação entre os tipos de túneis, que consomem energia.

Segue na Tabela 6 de acordo com as subseções 2.2.2 Carga Térmica; 2.2.3 Rendimento Frigorífico; 2.2.5 Eficiência Energética e Tabela 3 – Problemas de Rendimento e Soluções por Pontos de Calor; as variáveis de controle para parâmetros de diferenciação entre os tipos de túnel de congelamento. Estas variáveis devem ser descartadas na comparação de eficiência energética entre eles aplicando a metodologia escolhida. (AUTOR 2023).

**Tabela 6 – Variáveis de Controle para Parâmetros de Diferenciação Entre os Tipos de Túneis**

Pontos de Calor	Variável de Diferenciação (kW)	Estimativa de Rendimento (% – R\$/kcal)		
		Túnel Estático	Túnel Prédio	Túnel Espiral
Piso	Ventilação inferior			
Automatização	Metabolismo do corpo humano			
Iluminação	Potência			
Paletização	Ventilação			
Reposição e Expedição	Tempo de Congelamento			
Linha de produção	$\Delta T$ congelamento			
Geométrica do espaço congelante apresentada em LONCAN (2019, p. 87)	Volume de ar circulante			
Ventilação	Altura do “prédio”			
Porta do túnel	Tempo de abertura/Volume de infiltração (% U.R)			

Fonte: AUTOR (2023)

É necessário esclarecer os procedimentos e cálculos preliminares desta Tabela 6. Os cálculos da Estimativa de Rendimento (% – R\$/kcal) para cada tipo de túnel depende da seleção dos dados no estudo de caso, por exemplo como mostra a Figura 12 – O Problema do Acúmulo de Gelo pelas Paredes e Pisos dos Túneis, que não pode ser comparado (% – R\$/kcal) a outro tipo de túnel que está operando sem esse problema. (LAKATOS, 2021, p. 194).

A codificação e tabulação dos dados da Tabela 6 relaciona os pontos de calor com suas respectivas variáveis de diferenciação que, como explicado no parágrafo anterior, não fazem parte dos tipos de túnel e sim das suas operações específicas, envolvendo inclusive, a manutenção (LAKATOS, 2021, p. 194). Os cálculos da

Estimativa de Rendimento (% – R\$/kcal) para cada ponto de calor, completa este planejamento com as explicações especificadas e devidas interpretações para comparações possíveis entre os tipos de túneis. Deixando mais claro o cerne deste projeto de acordo com LAKATOS (2021, p. 197) para “comparar um Fusca 1986 (túnel estático) com uma Ferrari 2023 (túnel helicoidal)” é necessário:

"Mesmo com dados válidos, é a eficácia da análise e da interpretação que determina o valor da pesquisa. Alguns aspectos que podem comprometer o êxito da investigação:

- Defeitos de lógica, como falsos pressupostos, podem levar a analogias inadequadas, a confusões entre relação e causa e/ou à inversão de causa e efeito;
- Parcialidade inconsciente do investigador leva a deixar-se envolver pelo problema, inclinando-se mais à omissão de resultados desfavoráveis à hipótese e à ênfase em dados favoráveis;
- Falta de imaginação impede a descoberta de dados significativos e/ou a capacidade de generalizações, sutilezas que não escapariam a um analista mais sagaz. A imaginação, a intuição e a criatividade podem auxiliar o pesquisador, quando bem treinadas.”

Em se tratando da execução da pesquisa necessária a este projeto tecnológico, fica indicado na Tabela 6 para análise e interpretação de dados de diferenciação entre os tipos de túneis, a coluna da Estimativa de Rendimento (% – R\$/kcal). Faz parte da construção da conclusão deste projeto, última fase do seu planejamento e organização para explicar os resultados esperados mais relevantes e vinculados às três hipóteses de investigação. (LAKATOS, 2021, p. 199).

É importante destacar a relevância da variável ventilação no processo de congelamento da carne, em sistemas de túneis, e como ela afeta o processo comparativo com as mudanças de velocidade do ar circulante.

Não foi possível executar a Tabela 6 devido às limitações de pesquisa de campo deste trabalho. Este autor a sugere para pesquisas futuras de acordo com as Referências apresentadas ao final.

A seguir o trabalho que foi possível fazer para realizar o Objetivo Geral deste TCC.

#### **4.1 Carga Térmica do Túnel de Congelamento Estático**

O dimensionamento dos equipamentos depende dos cálculos da carga térmica para os seus seis fatores citados na seção 2.2.2 Carga Térmica. Nesta subseção será tratado especificamente os cálculos preliminares da carga térmica (kW/hora) do túnel estático. Vale lembrar a máxima da Ciência Termodinâmica citada em 2.2.1 Termodinâmica por MORAN et al. (2018): a troca de calor é feita pelos seus processos Condução, Radiação e Convecção. Quanto maior a carga térmica maior é a troca de calor, a capacidade de congelamento, potência dos equipamentos (kW/hora) e o seu consumo de energia.

Igual citado em 2.2.2 Carga Térmica Fator 4 – Calor devido à pessoas, para cálculo da carga térmica, a principal característica de diferenciação entre os outros dois tipos de túneis é a presença de pessoas trabalhando dentro do túnel estático, ou seja, não automatizado.

Segue na Tabela 7 o pré-dimensionamento, escolha dos materiais, para o projeto construtivo e operacional, interno, deste túnel de congelamento estático:

**Tabela 7** – Dimensionamento e Materiais do Projeto Construtivo e Operacional

Pontos de Troca de Calor	Dimensões (m)	Material	Variável de Carga Térmica
Paredes	0,2 de espessura 5,80 x 6,20	Poliestireno expandido (PE) – Material Sólido Homogêneo	$K = 0,03 \text{ kcal/h.m.}^\circ\text{C}$ (LONCAN, 2019, p. 89), (TÓFOLI, 2023)
Pisos	0,2 de espessura	PE	$K = 0,03 \text{ kcal/h.m.}^\circ\text{C}$
Paletização	Caixas de Carne para 25 Kg	Papelão plano	$K = 0,12$ $C = 0,30$
		Polietileno de alta densidade	$K = 0,41$ $C = 0,55$
Reposição e Expedição	Ante Câmara = 2,70 x 6,20 x 4,50	Poliestireno expandido (PE)	LONCAN (2019) considera de $30^\circ\text{C}$ até $-15^\circ\text{C}$ . Considerando o processo de maturação de $10^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}$ em 36 horas com rotação diária de 33% do volume de carne entre reposição e expedição. $K = 0,03 \text{ Kcal/h.m.}^\circ\text{C}$ (LONCAN, 2019, p. 90)
Ventilação	Altura do “prédio”	Ar congelante	$I_v \text{ circ/h} = 600/1.000 \text{ circ/h}$ (Tabela 6) $85 - 90\% - UR$ $-40^\circ/-35^\circ\text{C}$
Ambiente Externo	Infinito	Ar atmosférico de Anápolis para resfriamento e desumidificação TÓFOLI (2022, p. 34)	Pressão Atmosférica = 88,39 kPA $TBS = 31,7^\circ\text{C}$ $TBUc = 20,6^\circ\text{C}$ Frequência anual = 0,4% Umidade Relativa na Carta Psicrométrica
Capacidade	170 bovinos/dia	Carne desossada	Caixas de 25 Kg
Porta do túnel	2,50 x 1,50	Poliestireno expandido (PE)?	Aberta 3 horas/dia
Porta da antecâmara	2,50 x 1,50	Poliestireno expandido (PE)?	Aberta 3 horas/dia, para ambiente a $35^\circ\text{C}$ e U.R na carta psicrométrica
Iluminação	5,80 x 6,20 x 4,50	LED?	$20 \text{ W/m}^2$
Metabolismo	2 homens trabalhando	Pessoas	$12 - 10^\circ\text{C}$ e 0,85 para $Q_s/Q_T$ – Figura 17 – Carta psicrométrica para baixas temperaturas de 1992 em KJ/Kg
Motores elétricos	Catálogo Carrier	Catálogo Carrier	Catálogo Carrier

Fonte: LONCAN (2019, p. 88 – 95)

Observou-se nesta Tabela 7 que as dimensões das paredes (5,80 x 6,20) m, a altura da câmara frigorífica (túnel estático), a área total do túnel e o espaçamento entre as caixas de carne não foram definidas neste modelo de LONCAN (2019, p. 88 – 95). Faltam dados que comprovem a necessidade técnica e econômica destas dimensões de câmara fria.

As medidas de área e volume do Túnel Estático aqui proposto podem ser calculadas de acordo com o próximo capítulo. Ao pé direito foi adotado 3 m de acordo com a orientação do Professor Lincoln (Folha de Rosto deste TCC).

#### **4.1.2 Verificação do Volume da Caixa de Carne**

É necessário verificar se um pedaço de carne de 15 cm de espessura, MAPA (2020), e 25 kg cabe dentro da caixa do Sedex CORREIOS (2023) – S28 – de 28 cm de altura e área (32 x 48) cm<sup>2</sup>. A caixa tem 0,880 kg conforme a Figura 6 - Volume Unitário para Congelamento – subtraindo o peso total da embalagem de carne e aproximando o peso da carne para 25 kg que é uma premissa deste TCC. Esta verificação é necessária para as dimensões arquitetônicas do túnel de congelamento a ser desenhado para este TCC na seção dos Resultados.

De acordo com CATORCENO (2022, pg. 20 – 25) e ASHRAE HANDBOOK (2006, pg. 9.4), considerando a carne como alimento líquido de porosidade  $\zeta = 0,55,18\%$  de água na Tabela 3 do ASHRAE HANDBOOK (2006, pg. 9.4) para Brisket (Peito), adaptando aqui este TCC às situações das suas Figuras 6 e 7 (caixas de 25 kg de carne a -24°C congelada para exportação à China), 1.3 Delimitações (produto muscular não miúdo, não visceral, sem osso) e capítulo 2.1 Congelamento e Resfriamento de Carne Bovina para -1°C à 4°C para temperatura de maturação e entrada no túnel de congelamento.

De CATORCENO (2022, pg. 16 – 25), CATORCENO (2021, pg. 13), da Tabela 1 e do ASHRAE HANDBOOK 2006 (pg. 9.1 – 9.2) para Densidade  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) o dado de entrada para cálculo da compatibilização da embalagem é a densidade aparente da carne bovina in natura, em função da temperatura de início de congelamento, calculada com as equações à seguir para os componentes químicos da carne que são gelo, água, proteína, gordura e cinzas:

$$\rho_{carne} = \left( \frac{X_{wo}}{\rho_{wo}} + \frac{X_{ice}}{\rho_{ice}} + \frac{X_p}{\rho_p} + \frac{X_f}{\rho_f} + \frac{X_a}{\rho_a} \right)^{-1} \quad (8)$$

Onde:

$X_{wo}$  – fração de água da carne (%).

$X_{ice}$  – fração de gelo da carne (%).

$X_p$  – fração de proteína da carne (%).

$X_f$  – fração de gordura da carne (%).

$X_a$  – fração de cinzas da carne (%).

As porcentagens de água ( $X_{wo}$ ), proteína ( $X_p$ ), gordura ( $X_f$ ) e cinzas ( $X_a$ ) são:

$$X_{wo} = 55,18\%$$

$$X_p = 16,94\%$$

$$X_f = 26,54\%$$

$$X_a = 0,80\%$$

A Densidade do gelo é

$$\rho_{ice} = 9.1689 \times 10^2 - 1.3071 \times 10^{-1} \cdot t \quad (9)$$

Onde:

$\rho_{ice}$  – Densidade do gelo ( $\text{kg/m}^3$ ).

$t$  – Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A Densidade da água é

$$\rho_{wo} = 9.9718 \times 10^2 + 3.1439 \times 10^{-3} \cdot t - 3.7574 \times 10^{-3} \cdot t^2 \quad (10)$$

Onde:

$\rho_{wo}$  – Densidade da água (kg/m<sup>3</sup>).

A Densidade da proteína é

$$\rho_p = 1.3299 \times 10^3 - 5.1840 \times 10^{-1} \cdot t \quad (11)$$

Onde:

$\rho_p$  = Densidade da proteína (kg/m<sup>3</sup>).

A Densidade da gordura é

$$\rho_f = 9.2559 \times 10^2 - 4.1757 \times 10^{-1} \cdot t \quad (12)$$

Onde:

$\rho_f$  = Densidade da gordura (kg/m<sup>3</sup>).

A Densidade das cinzas é

$$\rho_a = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1} \cdot t \quad (13)$$

Onde:

$\rho_a$  = Densidade das cinzas (kg/m<sup>3</sup>).



Atribuindo a temperatura (t) inicial de congelamento para -2,2°C, (ASHRAE HANDBOOK, 2006, pg. 9.4) nas equações 9, 10, 11, 12 e 13 para determinação, respectivamente, das densidades de água, gelo, proteína, gordura e cinzas da carne

$$\rho_{wo} = 9.9718 \times 10^2 + 3.1439 \times 10^{-3} \cdot t - 3.7574 \times 10^{-3} \cdot t^2 \quad (10)$$

$$\rho_{wo} = 9.9718 \times 10^2 + 3.1439 \times 10^{-3} \cdot (-2,2) - 3.7574 \times 10^{-3} \cdot (-2,2)^2$$

$$\rho_{wo} = 997,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{ice} = 9.1689 \times 10^2 - 1.3071 \times 10^{-1} \cdot t \quad (9)$$

$$\rho_{ice} = 9.1689 \times 10^2 - 1.3071 \times 10^{-1} \cdot (-2,2)$$

$$\rho_{ice} = 917,177 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_p = 1.3299 \times 10^3 - 5.1840 \times 10^{-1} \cdot t \quad (11)$$

$$\rho_p = 1.3299 \times 10^3 - 5.1840 \times 10^{-1} \cdot (-2,2)$$

$$\rho_p = 1330,140 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_f = 9.2559 \times 10^2 - 4.1757 \times 10^{-1} \cdot t \quad (12)$$

$$\rho_f = 9.2559 \times 10^2 - 4.1757 \times 10^{-1} \cdot (-2,2)$$

$$\rho_f = 926,509 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_a = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1} \cdot t \quad (13)$$

$$\rho a = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1} x (-2,2)$$

$$\rho a = 2.424,417 \frac{kg}{m^3}$$

Para calcular a porcentagem de gelo têm-se:

$$X_{ice} = \frac{1,105 x X_{wo}}{1 + \frac{0,7138}{\ln(-t_i - (-t_c) + 1)}} \quad (14)$$

Onde:

$X_{ice}$  – Porcentagem de gelo da carne (%).

$t_i$  – temperatura de início de congelamento ( $^{\circ}C$ ).

$t_c$  – temperatura de congelamento de exportação à China ( $^{\circ}C$ ).

Adotando, na equação 14 ( $X_{ice}$ ), o limite mínimo de carga térmica (kW) para temperatura de exportação à China  $T \leq -18^{\circ}C$ , (MAPA, 2020), a porcentagem de gelo é

$$X_{ice} = \frac{1,105 x 0,5518}{1 + \frac{0,7138}{\ln(-2,2 - (-18) + 1)}}$$

$$X_{ice} = 48\%$$

É finalmente na equação 8 o cálculo da densidade da carne aplicando os valores correspondentes calculados acima para água (wo), gelo (ice), proteína (p), gordura (f – “fat”), cinzas (ash)

$$\rho_{carne} = \left( \frac{X_{wo}}{\rho_{wo}} + \frac{X_{ice}}{\rho_{ice}} + \frac{X_p}{\rho_p} + \frac{X_f}{\rho_f} + \frac{X_a}{\rho_a} \right)^{-1} \quad (8)$$

$$\rho_{carne} = \left( \frac{0,5518}{997,19} + \frac{0,48}{917,177} + \frac{0,1694}{1330,140} + \frac{0,2654}{926,509} + \frac{0,008}{2424,417} \right)^{-1} = 669,430 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{carne} = 669,430 \frac{kg}{m^3}$$

É necessário verificar se um pedaço de carne de 15 cm de espessura e 25 kg cabe dentro da caixa do Sedex CORREIOS (2023) – S28 de 28 cm de altura e área (32 x 48) cm.

O volume da carne é

$$V_{carne} = \frac{M_{carne}}{\rho_{carne}} \quad (15)$$

Onde:

$V_{carne}$  – Volume da carne (m<sup>3</sup>).

$M_{carne}$  – Massa da carne (kg).

O volume da caixa é

$$V_{cx} = A_{cx} \cdot H_{cx} \quad (16)$$

Onde

$V_{caixa}$  – Volume da caixa (m<sup>3</sup>).

$A_{cx}$  – Área da caixa (m<sup>2</sup>).

$H_{cx}$  – Altura da caixa.

Segue o cálculo do volume da carne utilizando-se a equação 15:

$$V_{carne} = \frac{M_{carne}}{\rho_{carne}} \quad (15)$$

$$V_{carne} = \frac{25 \text{ kg}}{669,430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{carne} = 0,037 \text{ m}^3$$

Segue o cálculo do volume da caixa pela equação 16

$$V_{cx} = A_{cx} \cdot H_{cx} \quad (16)$$

$$V_{cx} = [(0,32 \times 0,48) \text{ m}^2] \times 0,28 \text{ m}$$

$$V_{cx} = 0,043 \text{ m}^3$$

Verifica-se então que como o volume de um pedaço de 25 kg de carne é menor do que o volume da caixa S28 dos Sedex Correios a embalagem está geometricamente correta. A Tabela 8 mostra os resultados:

**Tabela 8** – Verificação do Volume da Caixa

Descrição	Símbolo	Valor
Temperatura de início de congelamento (°C)	ti	-2,2°C
Temperatura de congelamento de exportação à China	tc	-18°C
Densidade do gelo	pice	917,177 kg/m <sup>3</sup>
Densidade da água	pwo	997,15
Densidade da proteína	pp	1330,140 kg/m <sup>3</sup>
Densidade da gordura	pf	926,509 kg/m <sup>3</sup>
Densidade das cinzas	pa	2424,417 kg/m <sup>3</sup>
Densidade do gelo	pice	917,177 kg/m <sup>3</sup>
Fração de água da carne	Xwo	55,18%
Fração de proteína da carne	Xp	16,94%
fração de gordura da carne	Xf	26,54%
fração de cinzas da carne	Xash	0,80%
fração de gelo da carne	Xice	48%
Densidade da Carne	pcarne	669,430 kg/m <sup>3</sup>
Massa de carne	Mcarne	25 kg
Volume de um pedaço de 25 kg de carne	Vcarne	0,037 m <sup>3</sup>
Volume da Caixa	Vcx	0,043 m <sup>3</sup>

Fonte: O Autor (2023)

O túnel de congelamento deste projeto tem 400 caixas de 25,88 kg e blocos de espessura máxima de 15 cm por pedaços de carne. Sendo que 0,88 kg é o peso da caixa de papelão S28 de acordo com o Sedex CORREIOS (2023).

#### 4.1.3 Cálculo da Carga Térmica de Carne

Esta subseção trata do cálculo de carga térmica de carne necessário ao dimensionamento dos equipamentos frigoríficos do túnel de congelamento. Alguns equipamentos foram apresentados na seção 2.2.4 Equipamentos deste TCC.

O cálculo da carga térmica de carne é fundamentado nos conceitos e fórmulas ensinados pela Professora Litzy Catorceno, Ex1 de CATORCENO (2020, p. 8 – 12), em suas aulas de Refrigeração de Alimentos na Fatec Itaquera. As indicações da sequência de passos é uma orientação do Professor Me. Lincoln N. Ribeiro.

O método consiste no cálculo das Entalpias envolvidas no processo de congelamento: Passo 1 – resfriamento da carne fresca de 4°C (temperatura de maturação e entrada no túnel de congelamento) até -2°C (temperatura de início de

congelamento), Passo 2 – congelamento máximo e referencial de cálculo, não criogênico, de -2°C até -40°C (temperatura de referência de congelamento máximo para carne), Passo 3 – congelamento máximo e referencial de projeto, de -18°C (temperatura de exportação à China) até -40°C e Passo 4 – Quantidade de calor (kJ) a ser removido de 25 kg de carne para o congelamento de projeto.

As equações principais para cálculo da carga térmica de carne são

$$Q_c = m_c \cdot \Delta H_p \quad (17)$$

$$\Delta H_p = H_{t1} - H_p \quad (18)$$

Onde

$Q_c$  – Carga térmica da carne (kJ).

$m_c$  – Massa de carne (kg).

$\Delta H_p$  – Variação de entalpia de projeto (kJ/kg).

$H_{t1}$  – Entalpia da carne fresca ou maturada (kJ/kg).

$H_p$  – Entalpia para temperatura de exportação à China ou entalpia de projeto (kJ/kg)

Passo 1: Determinação da entalpia da carne fresca e entalpia de congelamento máximo referencial de cálculo

$$H_{t1} = H_r + (t - t_f) \cdot (4,19 - 2,30 \cdot X_s - 0,628 \cdot X_s^3) \quad (19)$$

$$X_s = 1 - X_{wo} \quad (20)$$

$$H_r = (t_f - t_r) \cdot \left[ 1,55 + 1,26 \cdot X_s - \frac{(X_{wo} - X_b) \cdot L_0}{t_r} \right] \quad (21)$$

$$X_b = 0,4 \cdot X_p \quad (22)$$

Onde

$H_{t1}$  – Entalpia da carne fresca na entrada do túnel de congelamento (kJ/kg).

$H_r$  – Entalpia referencial de cálculo de congelamento não criogênico (kJ/kg).

$t$  - Temperatura de maturação de carne (4°C).

$t_f$  – Temperatura de congelamento inicial da carne (-2,2°C).

$X_s$  – Fração mássica dos componentes sólidos da carne (%).

$X_b$  – Fração em massa de água ligada na carne (%).

$t_r$  – Temperatura referencial de cálculo para entalpia zero (°C).

$L_0$  - Calor latente de fusão da água (333,6 kJ/kg).

Em seguida, é possível visualizar-se o cálculo da fração mássica dos componentes sólidos da carne, utilizando-se a equação 20 e os dados da Tabela 8 – Verificação do Volume da Caixa

$$X_s = 1 - X_{wo} \quad (20)$$

$$X_s = 1 - 0,552$$

$$X_s = 0,448 \text{ ou } 44,8\%$$

Em seguida, é possível visualizar-se o cálculo da fração mássica de água ligada na carne, utilizando-se a equação 22 e os dados da Tabela 8 – Verificação do Volume da Caixa.

$$X_b = 0,4 \cdot X_p \quad (22)$$

$$X_b = 0,4 \cdot 0,17$$

$$X_b = 0,0678$$

Em seguida, foi determinada a entalpia de referência utilizando-se a equação 21

$$H_r = (t_f - t_r) \cdot \left[ 1,55 + 1,26 \cdot X_s - \frac{(X_{wo} - X_b) \cdot L_0}{t_r} \right] \quad (21)$$

$$H_r = \left\{ [(-2,2 - (-40))] \left[ 1,55 + 1,26 \cdot (0,4482) - \frac{(0,5518 - 0,0678) \cdot 336,6}{-40} \right] \right\}$$

$$H_r = 233,90 \frac{kJ}{kg}$$

Aplicando a equação 19 para cálculo da Entalpia da carne fresca na entrada do túnel de congelamento

$$H_{t1} = H_r + (t - t_f) \cdot (4,19 - 2,30 \cdot X_s - 0,628 \cdot X_s^3) \quad (19)$$

$$H_{t1} = 233,90 + [4 - (-2,2)] \cdot [4,19 - 2,30 \cdot (0,448) - 0,628 \cdot (0,448)^3]$$

$$H_{t1} = 253,139 \frac{kJ}{kg}$$

Passo 2: Determinação da entalpia de projeto

$$H_p = (t_p - t_r) \cdot \left[ 1,55 + 1,26 \cdot X_s - \frac{(X_{wo} - X_b) \cdot L_0 \cdot t_f}{t_r \cdot t_p} \right] \quad (23)$$

Onde

$t_p$  – Temperatura de projeto ou mais quente de exportação à China (°C).



Aplicando a equação 23 para cálculo da entalpia de projeto

$$H_p = (t_p - t_r) \cdot \left[ 1,55 + 1,26 \cdot X_s - \frac{(X_{wo} - X_b) \cdot L_0 \cdot t_f}{t_r \cdot t_p} \right] \quad (23)$$

$$H_p = \left\{ [(-18 - (-40))] \left[ 1,55 + 1,26 \cdot (0,4482) - \frac{(0,5518 - 0,0678) \cdot 336,6 \cdot (-2,2)}{(-40) \cdot (-18)} \right] \right\}$$

$$H_p = 57,48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Passo 4: Quantidade de calor (kJ) a ser removido de 25 kg/caixa de carne para o congelamento de projeto

Aplicando a equação 18 para cálculo da variação de entalpia de projeto em função dos processos termodinâmicos de entrada e congelamento da carne

$$\Delta H_p = H_{t1} - H_p \quad (18)$$

$$\Delta H_p = 253,139 - 57,470$$

$$\Delta H_p = 195,67 \text{ kJ/kg}$$

E finalmente aplicando a equação 17 para cálculo da carga térmica/caixa de carne e considerando a caixa padrão de 25 kg de carne

$$Q_c = m_c \cdot \Delta H_p \quad (17)$$

$$Q_c = 25 \times 195,67$$

$$Q_c = 4.891,75 \text{ kJ/caixa}$$

A Tabela 9 mostra os resultados da carga térmica de carne:

**Tabela 9 – Carga térmica de carne**

<b>Descrição</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Entalpia da carne fresca ou maturada	$H_{t1}$	253,139 kJ/kg
Entalpia para temperatura de exportação à China ou entalpia de projeto	$H_p$	57,48 kJ/kg
Entalpia referencial de cálculo de congelamento não criogênico	$H_r$	233,90 kJ/kg
Variação de entalpia de projeto	$\Delta H_p$	195,67 kJ/kg
Temperatura de maturação de carne	t	4°C
Temperatura de congelamento inicial da carne	$t_f$	-2,2°C
Temperatura referencial de cálculo para entalpia zero	$t_r$	-40°C
Temperatura de projeto ou mais quente de exportação à China	$t_p$	-18°C
Fração mássica dos componentes sólidos da carne	$X_s$	0,448
Fração em massa de água ligada na carne	$X_b$	0,0678
Calor latente de fusão da água	$L_0$	333,6 kJ/kg
Massa de carne	Mcarne	25 kg
Carga térmica da carne	$Q_c$	4.891,75 kJ/caixa

Fonte – O Autor (2023)

#### 4.1.4 Cálculo da Convecção de Calor e Área do Túnel de Congelamento

Até aqui não há parâmetros fundamentados teoricamente para dimensionar e desenhar este túnel de congelamento.

O espaçamento mínimo entre os planos paralelos, adjacentes, das caixas de carne é importante para a eficiência energética do túnel em função do seu volume e taxa de convecção de calor. Pode ser definido por boas práticas de mercado igual recomenda-se 5 centímetros (TECTERMICA, 2023). Busca-se aqui analisar o espaçamento mínimo entre os planos paralelos das caixas.

A ventilação congela a carne por Convecção. A transferência de calor por convecção depende das propriedades físicas do ar, ou seja, viscosidade, densidade, condutividade térmica, calor específico e da velocidade do ar dada no catálogo dos Evaporadores. (KREITH et al., 2015, p. 14).

As seis faces geométricas das caixas de carne são placas planas para convecção forçada de calor. Mais analítico tecnicamente este TCC apoia-se nas citações diretas, respectivamente, de ÇÉNGEL (2009, pg. 420) e KREITH et al. (2015, pg. 210 – 212):

“Considere o escoamento paralelo de um fluido sobre uma placa plana de comprimento  $L$  na direção do escoamento. A coordenada  $x$  é medida ao longo da superfície da placa, a partir do bordo de ataque, na direção do escoamento. O fluido aproxima-se da placa na direção  $x$  com uma velocidade uniforme  $V$  e uma temperatura  $T^\infty$ . O escoamento na camada limite hidrodinâmica começa sendo laminar, mas, se a placa é suficientemente longa, torna-se um escoamento turbulento, a uma distância  $X_{cr}$  a partir da borda de ataque, onde o número de Reynolds atinge o seu valor crítico para a transição.

A transição de escoamento laminar para turbulento depende da geometria e rugosidade da superfície, velocidade a montante, temperatura da superfície e do tipo de fluido, entre outras coisas, e é mais bem caracterizada pelo número de Reynolds.”

E KREITH et al. (2015, pg. 212) complementando:

“O gradiente de temperatura na parede depende do campo de fluxo, com as velocidades mais altas sendo capazes de produzir maiores gradientes de temperatura e taxas mais altas de transferência de calor.”

A região de fluxo próxima à placa, onde a velocidade do fluido diminui em razão das forças de viscosidade, é chamada camada limite. A distância a partir da placa, na qual a velocidade atinge 99% da velocidade do fluxo livre, é designada arbitrariamente como espessura da camada limite, e a região além desse ponto é chamada de fluxo livre sem perturbação ou regime de fluxo potencial.”

“A espessura da camada limite aumenta com o aumento da distância a partir da borda frontal e, em alguma distância crítica  $X_c$ ...na região do fluxo turbulento...o fluido transporta intensamente a energia térmica.”

A intensão aqui agora é provar pelos conceitos de convecção forçada que a espessura da camada limite de convecção, em todos os planos da caixa, é igual ao espaçamento mínimo entre as caixas de carne em processo de congelamento rápido, ou seja, sob alta velocidade do ar congelante. De acordo com KREITH et al. (2015, pg. 219) este espaçamento mínimo é o mesmo “L” proporcional ao número de Nusselt médio.

Não há dados disponíveis para velocidade do ar dentro do túnel de congelamento. Velocidade de ventilação superior a 5 m/s não acelera o congelamento da carne, prejudica sua qualidade alimentar e aumenta o consumo de energia. Aumentar a velocidade do ar reduz a espessura da camada de troca de calor entre o ar do túnel e a caixa de carne, ou seja, a camada limite. É a região do fluxo de ar mais próxima da caixa em que a velocidade do ar do túnel é reduzida pelas forças de viscosidade entre o ar e caixa (KREITH et al., 2015, p. 199).

Reduzindo a espessura da camada limite aumenta o coeficiente e a taxa de transferência de calor na superfície da caixa, ou seja, vai congelar mais rápido a carne. (BARBOSA, 2018, p. 22); (WEISS, 2021, p. 83); (SOUZA, 2018, p. 25); (FELLOWS, 2019, p. 710, 730); (COSTA, 1982, p. 263).

Para esta explicação apresenta-se as propriedades de estado termodinâmico do ar atmosférico, da Tabela A27 – Propriedades termodinâmicas do Ar seco à pressão atmosférica – de KREITH et al. (2015, A26), para 1 atm ou 101,325 kPa menor temperatura 0°C. A Tabela A27 é usada para calcular a troca de calor por

convecção forçada. A restrição de planejamento está na pressão barométrica de 88,39 KPa para a cidade de Anápolis e as temperaturas de congelamento abaixo de °C, ou seja, dados fora da Tabela A27 na Figura 26 a seguir:

**Figura 26** – Tabela A27 das Propriedades Termodinâmicas do Ar Seco à Pressão Atmosférica

Temperatura, $T$			Densidade, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de expansão térmica, $\beta \times 10^3$ (1/K)	Calor específico, $c_p$ (J/kg K)	Condutividade térmica, $k$ (W/m K)	Difusividade térmica, $\alpha \times 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	Viscosidade absoluta, $\mu \times 10^5$ (N s/m <sup>2</sup> )	Viscosidade cinética, $\nu \times 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	Número de Prandtl, Pr	$\frac{g\beta}{\nu^2} \times 10^{-8}$ (1/K m <sup>3</sup> )
°F	K	°C	$\times 6,243 \times 10^{-2}$ = (lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup> )	$\times 0,5556$ = (1/R)	$\times 2,388 \times 10^{-4}$ = (Btu/lb <sub>m</sub> °F)	$\times 0,5777$ = (Btu/h ft °F)	$\times 3,874 \times 10^4$ = (ft <sup>2</sup> /h)	$\times 0,6720$ = (lb <sub>m</sub> /ft s)	$\times 3,874 \times 10^6$ = (ft <sup>2</sup> /h)		$\times 1,573 \times 10^{-2}$ = (1/R ft <sup>3</sup> )
32	273	0	1,252	3,66	1 011	0,0237	19,2	17,456	13,9	0,71	1,85
68	293	20	1,164	3,41	1 012	0,0251	22,0	18,240	15,7	0,71	1,36
104	313	40	1,092	3,19	1 014	0,0265	24,8	19,123	17,6	0,71	1,01
140	333	60	1,025	3,00	1 017	0,0279	27,6	19,907	19,4	0,71	0,782
176	353	80	0,968	2,83	1 019	0,0293	30,6	20,790	21,5	0,71	0,600
212	373	100	0,916	2,68	1 022	0,0307	33,6	21,673	23,6	0,71	0,472
392	473	200	0,723	2,11	1 035	0,0370	49,7	25,693	35,5	0,71	0,164
572	573	300	0,596	1,75	1 047	0,0429	68,9	29,322	49,2	0,71	0,0709
752	673	400	0,508	1,49	1 059	0,0485	89,4	32,754	64,6	0,72	0,0350
932	773	500	0,442	1,29	1 076	0,0540	113,2	35,794	81,0	0,72	0,0193
1 832	1 273	1 000	0,268	0,79	1 139	0,0762	240	48,445	181	0,74	0,00236

Fonte – KREITH et al. (2015, A26)

Variam em função da pressão a viscosidade ( $\mu$ ), massa específica ou “densidade” ( $\rho$ ), WHITE (2018, p. 17, 24). Varia em função unicamente da temperatura o calor específico ( $C_p$ ) (MORAN, 2018, seção 3.13). Varia em função de ambas, temperatura e pressão, a condutividade térmica ( $K$  – W/m .Kelvin). WHITE (2018, p. 236).

Em relação a Tabela A27 os valores de  $C_p$  precisam ser interpolados em função das temperaturas da carne, -2,2°C para início e - 18°C “mais quente” para congelamento da carne. Na mesma Tabela A27 os valores de  $\mu$ ,  $\rho$  e  $K$  interpola-se em função da temperatura e pressão simultaneamente. (MORAN, 2018, p. 83). É necessário determinar os valores médios de  $\mu$ ,  $\rho$  e  $K$ . As interpolações são

$$\frac{1012 - C_{pi}}{20 - (-2,2)} = \frac{1012 - 1011}{20 - 0} \frac{1012 - C_{pi}}{20 - (-2,2)} = \frac{1012 - 1011}{20 - 0}$$

$$C_{pi}(-1,7^\circ\text{C}; 88,39 \text{ KPa}) = 1010,89 \frac{J}{\text{kg.K}}$$

$$\frac{1012 - C_{pi2}}{20 - (-18)} = \frac{1012 - 1010,89}{20 - (-2,2)}$$

$$C_{pi}(-18^{\circ}C ; 88,39 \text{ KPa}) = 1010,10 \frac{J}{kg.K}$$

$$\frac{1012 - C_{pi2}}{20 - (-18)} = \frac{1012 - 1010,10}{20 - (-2,2)}$$

$$T \text{ média (K)} = \frac{270,8 + 255}{2} = 262,9 \text{ K}$$

$$C_{pi} \text{ médio (262,9 K; 88,39 KPa)} = 1009,60 \frac{J}{kg.K}$$

Em WHITE (2018, p. 809) a equação da densidade do ar para a pressão barométrica de Anápolis – GO por TÓFOLI (2022):

$$\rho_{ar} = \frac{p}{RT} \quad (24)$$

Onde

$\rho_{ar}$  – Densidade do ar (kg/m<sup>3</sup>).

$p$  – Pressão barométrica de Anápolis – GO (Pa).

$R$  – Constante universal dos gases ideais para o ar (287 J/kg.K).

$T$  – Temperatura de início de congelamento ou temperatura de projeto (K).

Aplicando a equação 24 para cálculo da Densidade para início de congelamento da carne

$$\rho_{ar} = \frac{p}{RT} \quad (24)$$

$$\rho_{ar} = \frac{88,39 \cdot 10^3 \text{ Pa}}{\frac{287 \text{ J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot 270,8 \text{ K}}$$

$$\rho_{ar} (-2,2^{\circ}C ; 88,39 \text{ KPa}) = 1,137 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Aplicando a equação 24 para cálculo da Densidade para temperatura de projeto

$$\rho_{ar} = \frac{p}{RT} \quad (24)$$

$$\rho_{ar} = \frac{88,39 \cdot 10^3 Pa}{\frac{287J}{Kg \cdot K} \cdot 255 K}$$

$$\rho_{ar} (-2,2^\circ C ; 88,39 KPa) = 1,208 \frac{Kg}{m^3}$$

Aplicando a equação 24 para cálculo da Densidade média para temperatura média (K)

$$\rho_{ar} = \frac{p}{RT} \quad (24)$$

$$\rho_{ar \text{ média}} (262,9 K; 88,39 KPa) = 1,158 \frac{Kg}{m^3}$$

Em WHITE (2018, p. 809) a equação para viscosidade estática do ar do túnel de congelamento

$$\frac{\mu}{\mu_0} \cong \left( \frac{T}{T_0} \right)^{0,7} \quad (25)$$

Onde

$\mu$  – Viscosidade do ar do túnel de congelamento (N.s/m<sup>2</sup>).

$\mu_0$  – Viscosidade a temperatura  $T_0$ .

$T$  – Temperatura de início de congelamento ou temperatura de projeto (K).

$T_0$  – Temperatura conhecida ou usual (273 K).

Aplicando a equação 25 para cálculo da viscosidade estática na temperatura de início de congelamento

$$\frac{\mu}{\mu_0} \cong \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,7} \quad (25)$$

$$\frac{\mu}{17,46 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2}} \cong \left(\frac{270,8 \text{ K}}{273 \text{ K}}\right)^{0,7}$$

$$\mu (-2,2^\circ\text{C} ; 88,39 \text{ KPa}) = 17,36 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2}$$

Aplicando a equação 25 para cálculo da viscosidade estática na temperatura de projeto

$$\frac{\mu}{\mu_0} \cong \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,7} \quad (25)$$

$$\frac{\mu}{17,38 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2}} \cong \left(\frac{255 \text{ K}}{270,8 \text{ K}}\right)^{0,7}$$

$$\mu (-18^\circ\text{C} ; 88,39 \text{ KPa}) = 16,66 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2}$$

Aplicando a equação 25 para cálculo da viscosidade estática média na temperatura média

$$\frac{\mu}{\mu_0} \cong \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,7} \quad (25)$$

$$\mu \text{ média } (262,9 \text{ K} ; 88,39 \text{ KPa}) = 17,01 \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2}$$



Da Tabela A27 vê-se que condutividade térmica (K) diminui com a temperatura para mesma pressão. Pode-se montar uma proporcionalidade mútua e ajustar à média das interpolações para adotar o valor mais coerente possível:

$$\frac{101,325 \text{ KPa} + 88,39 \text{ KPa}}{2} = 94,85 \text{ KPa}$$

$$\frac{(101,325 - 88,39) \text{ KPa}}{(0,0251 - K) \frac{W}{m \cdot K}} = \frac{(101,325 - 94,85) \text{ KPa}}{(0,0251 - 0,0237) \frac{W}{m \cdot K}} = \frac{(20 - (-2,2))^{\circ}\text{C}}{0,0251 - K} = \frac{(20 - 0)^{\circ}\text{C}}{(0,0251 - 0,0237) \frac{W}{m \cdot K}}$$

$$K(-2,2^{\circ}\text{C}; 88,39 \text{ KPa}) = 0,0223 \frac{W}{m \cdot K} \text{ para queda de pressão barométrica}$$

$$K(-2,2^{\circ}\text{C}; 88,39 \text{ KPa}) = 0,0236 \frac{W}{m \cdot K} \text{ para queda de temperatura}$$

$$K \text{ médio para queda pressão e temperatura } (-2,2^{\circ}\text{C}; 88,39 \text{ KPa}) = 0,0229 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\frac{(20 - (-18))^{\circ}\text{C}}{(0,0251 - K) \frac{W}{m \cdot K}} = \frac{((20 - (-2,2))^{\circ}\text{C})}{(0,0251 - 0,0229) \frac{W}{m \cdot K}}$$

$$\Delta t_{\text{congelamento}} = -2,2 - (-18) = 15,8^{\circ}\text{C} = 288,8\text{K}$$

$$K_{\text{médio}}(288,8; 88,39 \text{ KPa}) = 0,0213 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$K \text{ médio médio}(262,9 \text{ K}; 88,39 \text{ KPa}) = 0,0221 \frac{W}{m \cdot K}$$

Os valores de trabalho para cálculo da potência de convecção (KREITH et al., 2015, p. 214); para 88,39 KPa barométrica em Anápolis, -2,2°C início do congelamento da carne e -18°C “mais quente” para congelamento da carne, seguem na Tabela 10:

**Tabela 10** - Valores de Trabalho para Cálculo da Potência de Convecção

T (K)	$\rho$ ( $\frac{Kg}{m^3}$ )	$C_p$ ( $\frac{J}{kg.K}$ )	K ( $\frac{W}{m.K}$ )	$\mu$ ( $N \cdot \frac{s}{m^2}$ )
262,9	1,158	1009,60	0,0221	$17,01 \cdot 10^{-6}$

Fonte: AUTOR (2023)

De KREITH et al. (2015, p. 203)

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{K} \quad (26)$$

Onde

Pr – Número de Prandtl.

$C_p$  – Calor específico do ar atmosférico (J/kg.K).

K - Condutividade térmica do ar atmosférico (W/m .K)

Aplicando a equação 26

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{K} \quad (26)$$

$$Pr (Prandtl) = \frac{1009,60 \cdot (17,01 \cdot 10^{-6})}{0,0221}$$

$$Pr = 0,777$$

De acordo com o Exemplo 4.4, exercício resolvido para cálculo da carga térmica de convecção em escoamento turbulento,  $Rey > 10^5$ , do KREITH *et al.* (2015, p. 234) o número de Reynolds, para cálculo da velocidade de ventilação forçada para o ar congelante é

$$Rey_L = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\mu} \quad (27)$$

Onde

$Re_{yL}$  – Número de Reynolds para regime de escoamento laminar ou turbulento

$v$  – Velocidade do ar (m/s)

$L$  – Comprimento ou largura da caixa de carne (m)

A caixa adotada tem as medidas da caixa S28 dos Sedex CORREIOS (2023).

As medidas são

Lcaixa – 0,48 m (Figura 27 – Vista Superior Prateleira de Carnes (cm))

Lcaixa – 0,32 m (Figura 27 – Vista Superior Prateleira de Carnes (cm))

altura da caixa – 0,28 m (Figura 28 – Vista Frontal Prateleira de Carnes (cm))

Para o cálculo da velocidade (m/s) do ar de convecção forçada as equações são (KREITH et al., 2015, pg. 14),

$$Q = h \cdot A_{caixa} \cdot \Delta T \quad (28)$$

Onde

$Q$  - Taxa de transferência de calor por convecção (W).

$h$  - Coeficiente médio de transferência de calor por convecção em  $A_{caixa}$  (W/m<sup>2</sup>.K).

$\Delta T$  - Diferença entre as temperaturas de início de congelamento da carne e de projeto (K).

$A_{caixa}$  – Área de transferência de calor da caixa de carne (m<sup>2</sup>)

A área total para as seis faces de troca de calor de 1 caixa de carne é

$$A_{caixa} = 0,48m \cdot 0,32m \cdot 2 + 0,48m \cdot 0,28m \cdot 2 + 0,32m \cdot 0,28m \cdot 2$$

$$A_{caixa} = 0,755 \text{ m}^2$$

A diferença entre as temperaturas de início de congelamento da carne e de projeto

$$\Delta T_{total} = 4^{\circ}\text{C} - (-18^{\circ}\text{C}) = 22^{\circ}\text{C}$$

Aplicando a equação 17 para cálculo da carga térmica de 10.000 kg de carne por orientação do Professor Lincoln N. Ribeiro

$$Q_c = m_c \cdot \Delta H_p \quad (17)$$

$$Q_{carne} = 10000\text{kg} \cdot 195,67 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{10.000\text{kg carne}} = 1.956.700 \text{ kJ}$$

De acordo com a solução encontrada para o problema proposto na seção 1 – Introdução – a carga térmica para 10.000 kg de carne/hora de congelamento é

$$Q_c = m_c \cdot \Delta H_p \quad (17)$$

$$\dot{Q}_{carne} = \frac{Q_c}{tempo}$$

$$\dot{Q}_{carne} = \frac{1956700\text{kJ}}{3600\text{s}}$$

$$\dot{Q}_{carne} = 543 \text{ kW}$$

Aplicando a equação 28 para cálculo do coeficiente de película, igual o coeficiente de convecção, será dado por:

$$\dot{Q} = h \cdot A_{caixa} \cdot \Delta T \quad (28)$$

$$\frac{\dot{Q}}{A_{caixa} \cdot \Delta T} = h$$

A área de convecção de calor de 10.000 kg é dada pela área das seis faces calculada na página 73 e considerando que 10.000 kg de carne cabem em 400 caixas de 25 kg

$$0,755 \text{ m}^2 \cdot 400_{caixas} = 302 \text{ m}^2$$

E voltando a equação

$$\frac{\dot{Q}}{A_{caixa} \cdot \Delta T} = h$$

Tem-se então o cálculo do coeficiente de película para as 400 caixas de carne

$$\frac{543000W}{302 \text{ m}^2 \cdot 22K} = h$$

$$h_{interno} = 81,73 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Para escoamento turbulento, de acordo com o Exemplo 4.4, exercício resolvido para cálculo da carga térmica de convecção em escoamento turbulento,  $Re_y > 10^5$ , tem-se o número de Nusselt (Nu) em KREITH et al. (2015, pg. 234)

$$Nu = 0,036 \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot Re^{0,8} \quad (29)$$

Aplicando a equação 29 em função de Reynolds

$$\frac{Nu}{0,036 \cdot Pr^{\frac{1}{3}}} = Re_L^{0,8}$$

$$\frac{0,8 \sqrt{Nu}}{\sqrt{0,036 \cdot Pr^{\frac{1}{3}}}} = Rey_L$$

Substituindo  $Rey_L$  pela equação 27, têm-se:

$$Rey_L = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\mu} \quad (27)$$

$$\frac{0,8 \sqrt{Nu}}{\sqrt{0,036 \cdot Pr^{\frac{1}{3}}}} = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\mu}$$

Isolando-se a velocidade ( $v$ ), têm-se:

$$\frac{\mu}{\rho \cdot L} \cdot \frac{0,8 \sqrt{Nu}}{\sqrt{0,036 \cdot Pr^{\frac{1}{3}}}} = v$$

$$v = \frac{\mu}{\rho \cdot L} \cdot \frac{0,8 \sqrt{Nu}}{\sqrt{0,036 \cdot Pr^{\frac{1}{3}}}}$$

Em KREITH (2003, p. 247) fundamenta-se aqui a equação principal para o número de Nusselt pela resolução do exemplo 4.4, exercício resolvido para cálculo da carga térmica de convecção em escoamento turbulento

$$Nu = \frac{h \cdot x \cdot L}{k} \quad (30)$$

Aplicando-se a equação 30 para cálculo do número de Nusselt com os dados da Tabela 10 - Valores de Trabalho para Cálculo da Potência de Convecção – e a medida, 0,48 m, de caixa na Figura 27 – Vista Superior Prateleira de Carnes (cm)

$$Nu = \frac{\left(110,2 \frac{W}{m^2 \cdot K}\right) \times (0,48 \text{ m vista frontal da caixa de carne})}{0,0221 \frac{W}{m \cdot K}}$$

$$Nu = 2.393,484$$

Para cálculo do número de Reynolds aplica-se a equação 29 para os valores encontrados do Número de Prandtl (pg. 70) e Nusselt acima

$$Nu = 0,036 \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot Re^{0,8} \quad (29)$$

$$2.393,484 = 0,036 \times \sqrt[3]{0,777} \times Re^{0,8}$$

$Re = 1,186 \cdot 10^6$  escoamento turbulento abaixo da camada limite (KREITH, 2003, p. 212)

Finalmente para o cálculo da velocidade do ar de ventilação forçada no túnel de congelamento volta-se a equação 27 com os dados da Tabela 10 - Valores de Trabalho para Cálculo da Potência de Convecção e o maior lado da caixa 0,48 m

$$Rey_L = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\mu} \quad (27)$$

$$Reynolds (Re) = \frac{\left(1,158 \frac{Kg}{m^3}\right) \cdot (v) \cdot (0,48 \text{ m})}{17,01 \cdot 10^{-6} \frac{Kg}{m \cdot s}}$$

$$1,186 \times 10^6 = \frac{\left(1,158 \frac{Kg}{m^3}\right) \cdot (v) \cdot (0,48 \text{ m})}{17,01 \cdot 10^{-6} \frac{Kg}{m \cdot s}}$$

$$v = 36,293 \frac{m}{s} \text{ para } L = 0,48 \text{ m maior lado da caixa de carne}$$

E fazendo o mesmo cálculo da equação 27 para o menor lado da caixa 0,32 m

$$v = 54,44 \frac{m}{s} \text{ para } L = 0,32 \text{ m menor lado da caixa de carne}$$

Para 54,44 m/s a potência dos ventiladores do túnel de congelamento precisa ser maior. Fica aqui, para estudos futuros, a sugestão de cálculo de potência de congelamento para tomada de decisão na instalação das Evaporadoras: fluxo de ar de convecção forçada na direção paralela ao menor lado da caixa.

Em KREITH (2003, p. 245) a espessura da camada limite hidrodinâmica no escoamento turbulento sobre superfícies planas:

$$\frac{\delta}{L} = \frac{0,37}{Re^{0,2}} \quad (31)$$

Onde

$\delta$  – camada limite de convecção hidrodinâmica a partir das superfícies da caixa (mm)

Aplicando-se a equação 31, para o número de Reynolds encontrado na página 75, a medida da camada limite a partir da superfície de menor lado 0,32 m da caixa de carne

$$\delta = \frac{0,37}{(1,186 \times 10^6)^{0,2}} \times 0,32 \text{ m}$$

$$\delta_{32} = 0,0072 \text{ m} = 7,22 \text{ mm}$$

Deve-se aproximar este valor de 7,22 mm para 7,94 mm para compatibilizar com a espessura do perfil L de aço da prateleira de sustentação das caixas de carne. O perfil L é apresentado a seguir na Tabela 11 – Dimensionamento das Prateleiras das Caixas de Carne para 10.000 kg.

Aplicando-se a equação 31, para o número de Reynolds encontrado na página 75, a medida da camada limite a partir da superfície de menor lado 0,48 m da caixa de carne

$$\delta = \frac{0,37}{(1,186 \times 10^6)^{0,2}} \times 0,48 \text{ m}$$



$$\delta_{48} = 10,83 \text{ mm}$$

Por orientação do Professor Lincoln N. Ribeiro pode-se adotar as medidas da camada limite hidrodinâmica igual ao espaçamento mínimo entre as caixas de carne. Solucionando então o problema de cálculo e desenho da área do túnel de congelamento proposto no início desta seção 4.1.4 – Cálculo da Convecção de Calor e Área do Túnel de Congelamento. E favorecendo ao máximo, neste nível de graduação acadêmica, o tema proposto para este TCC - Dimensionamento de um túnel de congelamento para exportação de carne bovina.

A prateleira das caixas de carne para congelamento no túnel, parte essencial deste dimensionamento, para  $\delta_{32}$  é construída em Aço perfil L 2" x (5/16)" abas de 5,08 cm e espessura 0,794 cm. Prateleira apoiada em 4 pés do mesmo perfil L. 5,08 cm é a menor aba de espessura de 0,794 cm para economizar material e o aço não alterar o processo de convecção de calor em contato com a caixa. A prateleira para  $\delta_{48}$  é em Aço perfil L 5" x (7/16)" abas de 10,16 cm e espessura de 1,11 cm. 10,16 cm é a menor aba de espessura de 1,11 cm para economizar material e o aço não alterar o processo de convecção de calor em contato com a caixa. (AÇO-DIM, 2020).

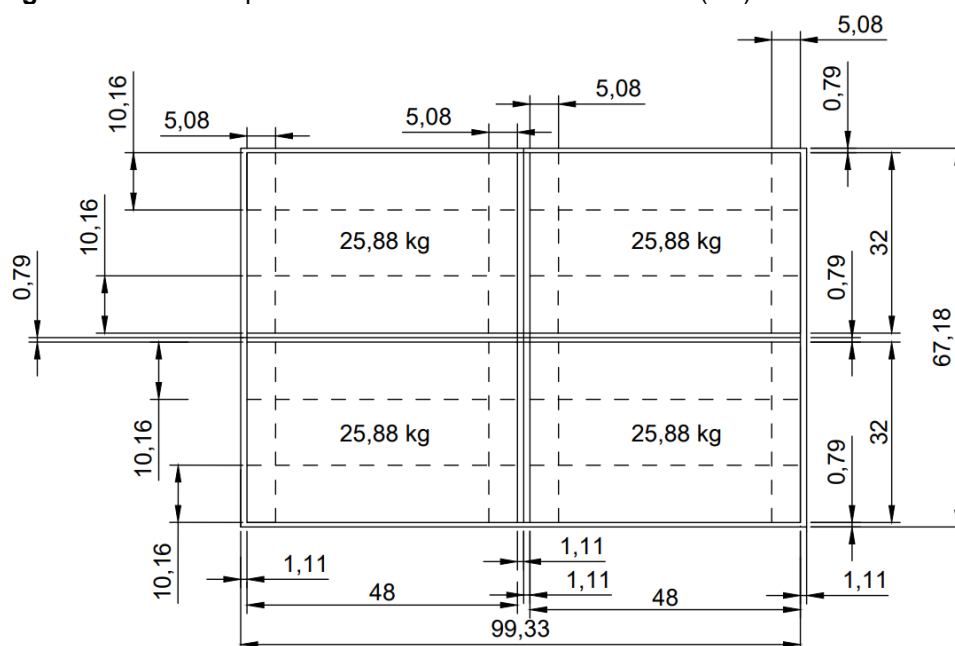
Segue na Tabela 11 a seguir os dados necessários para dimensionamento e desenho da prateleira de carne para 10.000 kg:

**Tabela 11** – Dimensionamento das Prateleiras das Caixas de Carne para 10.000 kg

Caixas de Carne	$\delta$ (cm)	Perfil L (cm)		$v \left( \frac{m}{s} \right)$
		Aba	Espessura	
$\delta_{32}$	0,794	5,08	0,794	54,5
$\delta_{48}$	1,11	10,16	1,11	36,3

Fonte: O Autor

O desenho da vista superior da prateleira de carne está na Figura 27 a seguir de acordo com a Tabela 11 acima:

**Figura 27** – Vista Superior Prateleira das Caixas de Carne (cm)

Fonte: – O Autor (2023)

São 4 caixas de 25,88 kg em cada fileira de caixas. A massa de 0,88 kg é dada pela massa da caixa de papelão igual mostra a Figura 6 – Volume Unitário para Congelamento. A Tabela 12 descreve as medidas da vista superior da prateleira das caixas de carne de acordo com a Tabela 11 – Dimensionamento das Prateleiras das Caixas de Carne para 10.000 kg:

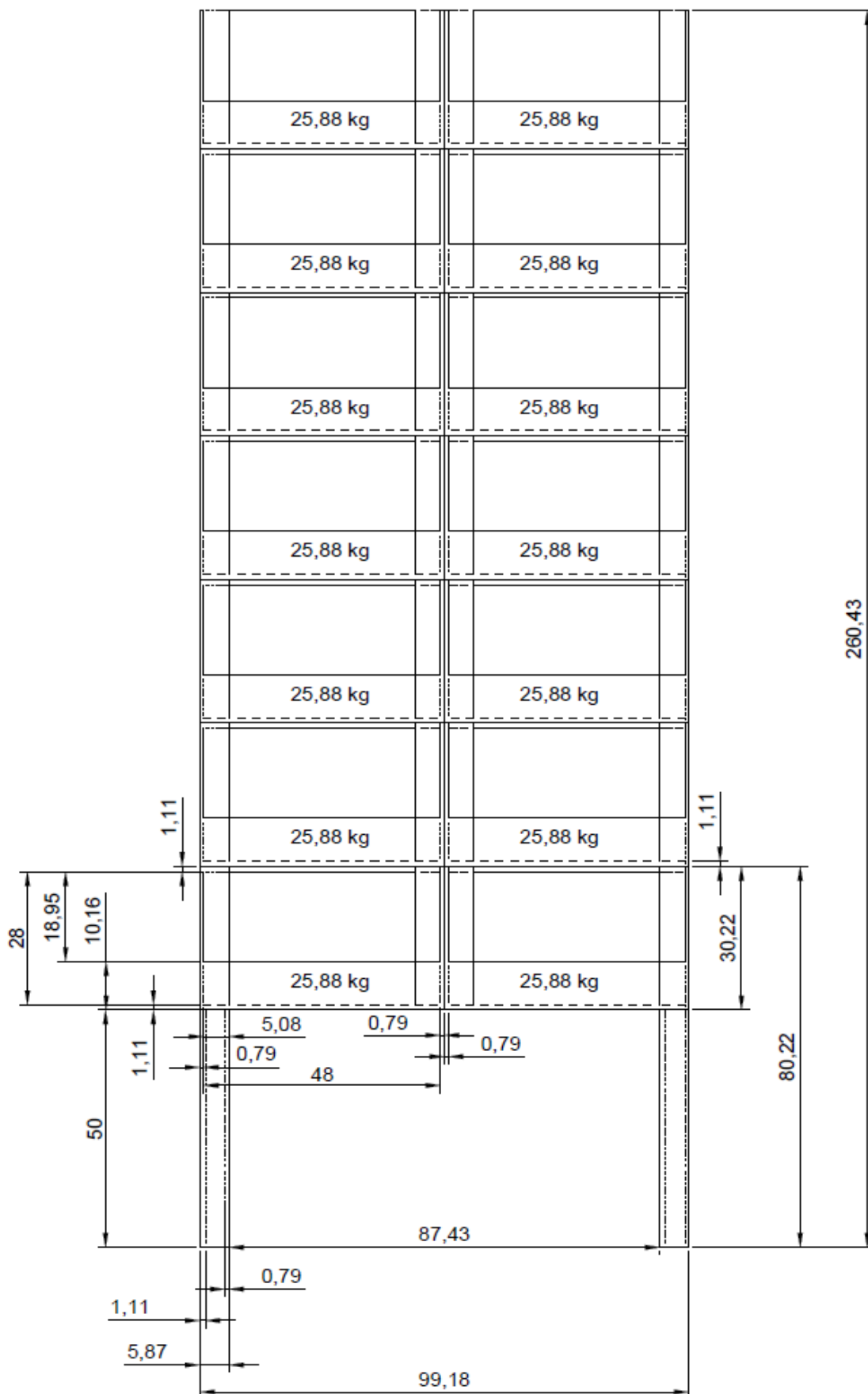
**Tabela 12** – Descrição das Medidas da Vista Superior

Descrição	Valor (cm)
Maior lado da caixa	48
Menor lado da caixa	32
Menor espessura do perfil L	0,794
Maior espessura do perfil L	1,11
Maior aba do perfil L	10,16
Menor aba do perfil L	5,08
Largura da prateleira de 4 pés	99,33
Comprimento da prateleira de 4 pés	67,18

Fonte – AUTOR (2023)

Pela orientação do Professor Lincoln N. Ribeiro o pé direito de 3 m foi adotado para o dimensionamento deste túnel de congelamento. O desenho da vista frontal (elevação) da prateleira de carne está na Figura 28 a seguir de acordo com a Tabela 11 – Dimensionamento das Prateleiras das Caixas de Carne para 10.000 kg e Tabela 12 acima:

**Figura 28** – Vista Frontal Prateleira de Carnes (cm)



Fonte: – O Autor (2023)

A Tabela 13 descreve as medidas da vista frontal (elevação) da prateleira das caixas de carne de acordo com a Tabela 11 – Dimensionamento Vista Superior da Prateleira de Carne para 10.000 kg e Tabela 12 – Descrição das Medidas da Vista Superior:

**Tabela 13** - Descrição das Medidas da Vista de Elevação

Descrição	Valor (cm)
Altura da caixa S28 Sedex Correios (papelão)	28
Altura de dois pés de perfil L	50
Menor espessura do perfil L	0,794
Maior espessura do perfil L	1,11
Largura dos pés	5,87
Vão livre biapoiado	87,43
Altura livre da caixa não apoiada na maior aba	18,95
Altura total da troca de calor por convecção/caixa	30,22
Menor altura para o funcionário retirar uma caixa	80,22
Altura total da prateleira	260,43
Altura entre o teto e a caixa mais alta (implícito)	57

Fonte – AUTOR (2023)

São 28 prateleiras iguais de 14 caixas de 25,88 kg para 10.000 kg de carne.

#### 4.1.5 Área Total do Túnel Estático

As prateleiras são espaçadas de 3 m entre todos os seus 4 lados para circulação e segurança dos funcionários.

De acordo com a Figura 27 – Vista Superior Prateleira de Carnes (cm) e Figura 28 – Vista Frontal Prateleira de Carnes (cm) segue o cálculo da área total do túnel de congelamento

$$[(3 + 0,9933 + 3) \times (3 + 67,18 + 3)] \text{ m}^2 \times 28 \text{ prateleiras} = 14329,551 \text{ m}^2$$

$$\sqrt{14329,551 \text{ m}^2} = 119,706 \text{ m} \times 119,706 \text{ m}$$

Ajustando para facilitar os cálculos, construção e operação do túnel adota-se a área quadrada (120 m X 120 m) m e Área Total 14.400,000 m<sup>2</sup>.

Compilando o modelo referencial da Tabela 7 – Dimensionamento e Materiais do Projeto Construtivo e Operacional – para estes dados calculados neste TCC tem-

se na Tabela 14 os dados do modelo geométrico e autêntico deste Túnel de Congelamento:

**Tabela 14 – Dados do Modelo Geométrico e Autêntico de Túnel deste Congelamento Deste TCC**

Pontos de Troca de Calor	Dimensões (m)	Material	Variável de Carga Térmica
Paredes	0,2 de espessura 3 X 120 X 120	Poliestireno expandido (PE) – Material Sólido Homogêneo	$K = 0,03 \text{ Kcal}/(\text{h.m.}^\circ\text{C}) = 0,035 \text{ W}/(\text{m.K})$ (LONCAN, 2019, p. 89), (TÓFOLI, 2023)
Cobertura	120 x 120 NBR 15220 – Tabela D.4	Telha de Fibrocimento e Laje de Concreto	$U = 1,03 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
Prateleiras	Caixas de Carne para 25,88 Kg	Papelão plano	$K = 0,12 \text{ Kcal}/\text{h.m.}^\circ\text{C}$
		Perfil L em Aço NBR 8800	Não é importante na troca de calor do Túnel de Congelamento
Reposição e Expedição	Ante Câmara = (2,70 x 6,20) x 3 3 é o pé direito	Poliestireno expandido (PE)	Considerando o processo de maturação de $-1^\circ\text{C}$ à $4^\circ\text{C}$ em 36 horas com rotação diária de 33% do volume de carne entre reposição e expedição. $K = 0,03 \text{ Kcal}/\text{h.m.}^\circ\text{C}$ (LONCAN, 2019, p. 90)
Ventilação	Pé direito	Ar congelante	$lv \text{ circ}/\text{h} = 600/1.000 \text{ circ}/\text{h}$ (Tabela 6) $85 - 90\% - \text{UR}$ $- 40^\circ - 35^\circ\text{C}$
Ambiente Externo	Infinito	Ar atmosférico de Anápolis para resfriamento e desumidificação TÓFOLI (2022, p. 34)	Pressão Atmosférica = 88,39 kPA TBS = 31,7°C TBUc = 20,6°C Frequência anual = 0,4% Umidade Relativa na Carta Psicrométrica
Capacidade	170 bovinos/dia	Carne desossada	Caixas de 25,88 Kg
Porta do túnel	2,50 x 1,50	Poliestireno expandido (PE)	Aberta a cada 3 horas/reposição/dia Ininterruptamente
Porta da antecâmara	2,50 x 1,50	Poliestireno expandido (PE)	Aberta a cada 1 hora/reposição/dia para ambiente externo a $35^\circ\text{C}$ e U.R ar externo na carta psicrométrica. Ininterruptamente
Iluminação em Lúmens (Lm)	(2,70 x 6,20) x 3 Antecâmara (120 x 120) x 3 Túnel Estático	LED	$21 \text{ W}/\text{m}^2$ $1000 \text{ Lm (Lúmen)}/\text{m}^2$ Tubular T8 (LORENZETTI)
Metabolismo	10 pessoas movimentando 10 toneladas de carne a cada 1 hora. Cada pessoa retira 40 caixas congeladas e repõe 40 caixas "maturadas". Tempo de Infiltração de ar externo 1 hora/reposição	Pessoas	Tabelas de Calor Latente e Sensível para pessoas trabalhando a $- 18^\circ\text{C}$ de ar interno em câmaras frigoríficas
Motores elétricos	Catálogo Carrier	Catálogo Carrier	Catálogo Carrier

Fonte: O Autor e LONCAN (2019, p. 88 – 95)

É importante destacar, como pode ser visto na Tabela 14 acima, que todo túnel de congelamento tem uma Ante Câmara de Reposição e Expedição (maturação da carne a 4°C) construída como uma extensão do próprio túnel.

#### **4.1.5 Condução de Calor**

Nesta subseção segue o cálculo do citado em 2.2.2 Carga Térmica Fator 1: - Calor transmitido por parede, tetos e piso. A subseção 2.1.2 Processo de Congelamento – introduziu o conceito de condutividade térmica para um sistema de refrigeração de carne bovina. É uma das variáveis da transferência de calor pelo processo termodinâmico de Condução.

Em 2.2.1 Termodinâmica – foi citado, dentre as partes operacionais mais importantes, o isolamento sólido interno e externo e o ar atmosférico interno e externo. É a fundamentação teórica necessária para cálculo da carga térmica de Condução de Calor apresentada em 2.3.1 Túnel de Congelamento Estático.

De acordo com RIBEIRO (2023, p. 1 – 2) a condução de calor acontece devido gradiente de temperatura em meio sólido ou fluido. Em meio sólido é em material homogêneo sem vazios e em material heterogêneo com vazios. Em meio fluido geralmente é ar, água ou gás. Trata-se agora do meio sólido. É o isolamento térmico construído pelas paredes, piso e teto.

A princípio segue, na Tabela 15, a formulação matemática para cálculo da condução de calor das paredes, teto e piso:

**Tabela 15 – Equações da Condução de Calor em Meios Homogêneos**

<b>Equação</b>	<b>Conceito – Condução de calor em meios homogêneos</b>	<b>Unidade</b>
$Q = K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L}$	<p>Q = Taxa de Transferência de Calor por Condução em meios (materiais) homogêneos</p> <p>K = Condutividade térmica do material</p> <p>A = Área de Troca de Calor</p> <p><math>\Delta T</math> = Diferença de Temperaturas (meios externo e interno)</p> <p>L = Espessura da parede formada pelo material</p>	kW
$R_c = \frac{L}{K}$	<p>Rc = Resistência Térmica de Condução para Materiais Homogêneos</p> <p>K = Condutividade térmica do material</p> <p>L = Espessura da parede formada pelo material</p>	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
$R_p = \frac{1}{h}$	<p>Rp = Resistência Térmica de Condução para Película de Materiais Homogêneos</p> <p>h = Coeficiente de Película ou Condutância Superficial (interno ou externo)</p>	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
$U = \frac{1}{\Sigma RT}$	<p>U = Coeficiente global de transferência de calor</p> <p><math>\Sigma RT</math> = Soma das Resistências Térmicas da Parede/Teto/Piso</p>	$U = \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Fonte: RIBEIRO (2023, p. 3 – 5)

Adotando o exemplo 5 de RIBEIRO (2023, p. 27), o cálculo da taxa (kW/hora) da condução de calor depende dos dados da Tabela 14 – Dados do Modelo Geométrico e Autêntico deste Túnel de Congelamento Deste TCC – aplicados à Tabela 15 – Equações da Condução de calor em Meios Homogêneos.

Considerando a Tabela 11, na Figura 29 a seguir, de RIBEIRO (2023, p. 13) – Ar em contato com as faces externas de uma parede – segue os valores para o coeficiente de película do ar externo às velocidades de 12 km/h, 24 km/h e ar parado:



**Figura 29** – Tabela do coeficiente de película para ar externo

<b>Velocidade do ar</b> $\left[ \frac{km}{h} \right]$	<b>Coeficiente de película</b> $\left[ \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \right]$
0 (Ar parado)	7,13 a 7,96
12	19,5
24	29,3

Fonte - RIBEIRO (2023, p. 13)

As Isopletas (linhas cartográficas de igual velocidade do vento) de Elgin (2015) para Anápolis são apresentadas na Figura 30:

Figura 30 – Isopletas para Anápolis – GO



LISTA DE ISOPLETAS (VELOCIDADE DOS VENTOS)  
X  
REGIÃO

ÁGUA LIMPA	GOIÁS	35m/s
ÁGUAS LINDAS DE GOIÁS	GOIÁS	35m/s
ALEXÂNIA	GOIÁS	30m/s
ALOÂNDIA	GOIÁS	35m/s
ALTO HORIZONTE	GOIÁS	30m/s
ALTO PARAÍSO DE GOIÁS	GOIÁS	30m/s
ALVORADA DO NORTE	GOIÁS	30m/s
AMARALINA	GOIÁS	30m/s
AMERICANO DO BRASIL	GOIÁS	30m/s
AMORINÓPOLIS	GOIÁS	35m/s
<b>ANÁPOLIS</b>	GOIÁS	30m/s
ANHANGUERA	GOIÁS	35m/s
ANICUNS	GOIÁS	30m/s
APARECIDA DE GOIÂNIA	GOIÁS	35m/s
APARECIDA DO RIO DOCE	GOIÁS	35m/s
APORÉ	GOIÁS	35m/s
ARAÇU	GOIÁS	30m/s
ARAGARÇAS	GOIÁS	30m/s
ARAGOIÂNIA	GOIÁS	35m/s
ARAGUAPAZ	GOIÁS	30m/s
ARENÓPOLIS	GOIÁS	35m/s
ARUANÃ	GOIÁS	30m/s
AURILÂNDIA	GOIÁS	35m/s
AVELINÓPOLIS	GOIÁS	30m/s
BALIZA	GOIÁS	35m/s
BARRO ALTO	GOIÁS	30m/s

Fonte - Elgin (2015)

E fazendo a devida interpolação matemática o coeficiente de película adotado será

$$h_{\text{externo}} \left( \text{vento } 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) = 34,2 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \text{ ou } 39,77 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

O coeficiente de película interno nas paredes e laje do Túnel de Congelamento foi calculado na pg. 62:

$$h_{interno} = 110,2 \frac{W}{m^2.K}$$

De acordo com a Tabela 15 – Equações da Condução de Calor em Meios Homogêneos – e com os valores de K (condutividade térmica do material) e L (espessura da parede formada pelo material) da Tabela 14 – Dados do Modelo Geométrico e Autêntico deste Túnel de Congelamento, considerando o coeficiente de película interno calculado na página 73, apresenta-se a equação 32 com o somatório das resistências de condução de calor ( $\Sigma RT$ ) no túnel de congelamento

$$U = \frac{1}{\Sigma RT}$$

$$U_{paredes} = \left( \frac{L_{parede}}{K_{parede}} + \frac{1}{h_{externo}} + \frac{1}{h_{interno}} \right)^{-1} \quad (32)$$

Aplicando-se a equação 32 para cálculo do coeficiente global de transferência de calor (U)

$$U_{paredes} = \left( \frac{0,2}{0,035} + \frac{1}{39,77} + \frac{1}{110,2} \right)^{-1} \quad (32)$$

$$U_{paredes} = 0,174 \frac{W}{m^2.K}$$

Lembrando que o coeficiente global de troca de calor por condução da cobertura foi dado na Tabela 14 – Dados do Modelo Geométrico e Autêntico de Túnel de Congelamento Deste TCC – e vale

$$U_{cobertura} = 1,03 \frac{W}{m^2.K}$$

As paredes do túnel de congelamento têm as faces voltadas para Norte, Sul, Leste e Oeste referenciados pela Rosa dos Ventos. Para calcular a carga térmica de condução e insolação usa-se a Tabela 6 – Valores de Diferença de Temperaturas – Superfícies opacas de cor escura (Poliestireno expandido) – Insolação – do Professor Lincoln N. Ribeiro para hora solar mais quente. A Tabela segue na Figura 31

**Figura 30** – Tabela da Diferenças de Temperatura De Insolação em Paredes Opacas de Cor Escura

Tipo de Superfície	Hora Solar	Direção da face externa							
		SE	E	NE	N	NO	O	SO	COBERTURA
Superfícies opacas - cor escura	8	3,3	3,9						
	9	14,5	19,5	8,3					5
	10	19,5	8,3	14,4					16,1
	11	14,7	22,1	15,6					25,5
	12	6,7	15	13,4	0,5				32,7
	13		6,1	7,8	2,8				36,8
	14			1,1	3,3	1,1			38,2
	15				2,8	7,8	6,1		36,8
	16				0,5	13,8	15		32,7
	17					15,6	22,1	13,4	25,5
	18					14,5	24,5	19,5	16,1
	19					8,3	19,5	14,5	5
	20						3,9	3,3	

Fonte – RIBEIRO (2023)

A equação de condução de calor para insolação é

$$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t \quad (33)$$

Onde

$Q_{ins}$  – Carga térmica de condução de calor por insolação (kW).

$A$  – Área da parede em contato com a radiação solar (m<sup>2</sup>).

$\Delta t$  – Diferença de temperaturas externa e interna da parede (°C).

A área de troca de calor por condução e insolação das paredes de acordo com o cálculo de área total na página 80 e considerando o pé direito do túnel de congelamento adotado na página 51 e referenciando os desenhos da Figura 27 – Vista Superior Prateleira das Caixas de Carne (cm) – e Figura 28 – Vista Frontal Prateleira de Carnes (cm) – é

$$A = 120 \times 3$$

$$A = 360 \text{ m}^2$$

E a correspondente área da cobertura é 14440 m<sup>2</sup>.

O cálculo se inicia com a aplicação da Tabela da Figura 31 na Tabela 16 a seguir:

Tabela 16 – Cálculo da Condução de Calor por Insolação

Superfícies expostas à radiação solar →		Parede 1 (N)	Parede 2 (L)	Parede 3 (O)	Cobertura	Cargas térmicas totais (kcal/h)	
Coefficientes globais de transferência de calor	$U$ $\frac{kcal}{h.m^2.°C}$	0,174	0,174	0,174	1,03		
Área de troca de calor	A m <sup>2</sup>	360	360	360	14400		
Δt e Carga Térmica de Insolação (Qins) em cada hora do dia							
	8 h	$\Delta t$ °C		3,9			
		$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$ $\frac{kcal}{h}$	0	45,8055	0		45,81
	9 h	$\Delta t$		19,5		5	
		$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	0	229,0275	0	2607,19	2836,22
	10 h	$\Delta t$		8,3		16,1	
		$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	0	97,4835	0	8395,14375	8492,63
	11 h	$\Delta t$		22,1		25,5	
		$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	0	259,5645	0	13296,66	13556,22
	12 h	$\Delta t$	0,5	15		32,7	
		$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	5,8725	176,175	0	17051,01	17233,05
	13 h	$\Delta t$	2,8	6,1		36,8	
		$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	32,886	71,6445	0	19188,90	19293,43
	14 h	$\Delta t$	3,3			38,2	
		$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	38,7585	0	0	19918,91	19957,67
	15 h	$\Delta t$	2,8		6,1	36,8	
		$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	32,886	0	71,6445	19188,90	19293,43
	16 h	$\Delta t$	0,5		15	32,7	
		$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	5,8725	0	176,175	17051,01	17233,05
	17 h	$\Delta t$			22,1	25,5	
	$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	0	0	259,5645	13296,66	13556,22	
18 h	$\Delta t$			24,5	16,1		
	$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	0	0	287,7525	8395,14	8682,90	
19 h	$\Delta t$			19,5	5		
	$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	0	0	229,0275	2607,19	2836,22	
20 h	$\Delta t$			3,9			
	$Q_{ins} = U \cdot A \cdot \Delta t$	0	0	45,8055	0	45,81	

Fonte – AUTOR (2023)

Ao analisar-se a tabela 16 é observa-se que às 16 horas houve a carga térmica por insolação máxima. Sendo assim

$$Q_{\text{insolação máxima}} = 19957,67 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Considerando que a porta (2,50 x 1,50) m<sup>2</sup> é feita do mesmo material da parede e que o túnel de congelamento não tem janelas e não tem pontos de infiltração durante o congelamento da carne:

$$Q_{\text{condução}} = Q_{\text{insolação máxima}} = 19957,67 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 23 \text{ kW}$$

#### 4.1.6 Carga Térmica de Ar

A carga térmica da mistura de Ar entre a Ante Câmara de maturação e o Túnel de Congelamento é dada por (RIBEIRO, 2023)

$$Q_{\text{mistura de ar}} = \rho_{\text{ar média}} \cdot \dot{V}_{\text{ar túnel}} \cdot \Delta h_{\text{ar}} \quad (34)$$

Onde

$Q_{\text{mistura de ar}}$  – Carga térmica da mistura de Ar entre a Ante Câmara e o Túnel (kW).

$\rho_{\text{ar média}}$  – Calculado na página 67 (1,158 kg/m<sup>3</sup>).

$\dot{V}_{\text{ar túnel}}$  – Vazão de ar no túnel de congelamento (m<sup>3</sup>/h).

$\Delta h_{\text{ar}}$  – Variação de entalpia entre o ar externo e interno (kJ/kg).

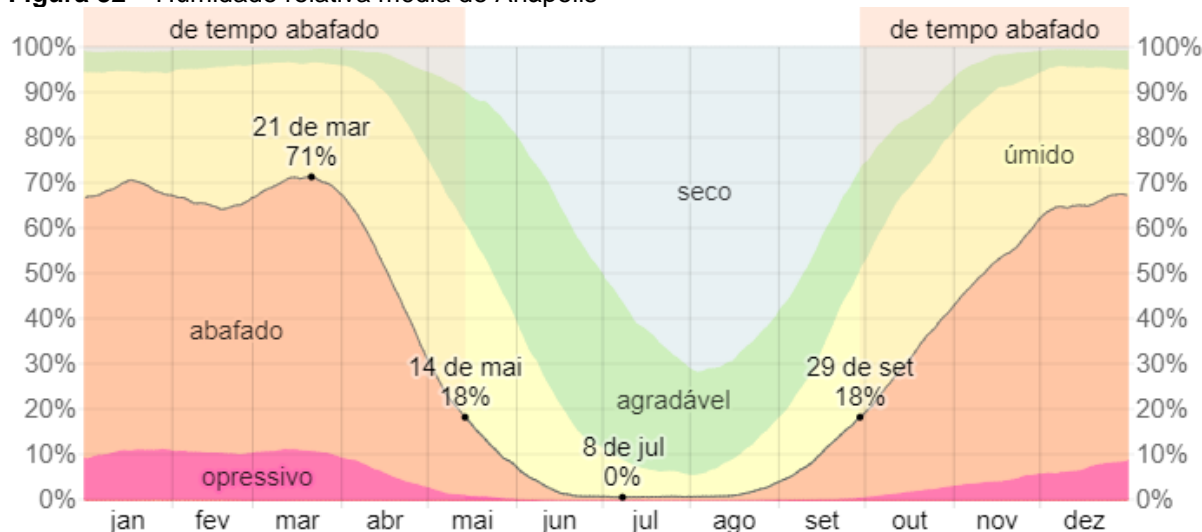
Para calcular a diferença (variação) de entalpia na carta psicrométrica, no caso externo ao túnel de congelamento, seguem os dados climáticos de Anápolis na Figura 31, sendo o mais interessante deles a pressão barométrica (kPa):

**Figura 31** – Tabela dos Dados Psicrométricos da Cidade de Anápolis – GO

DF	Brasília			Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s
				15,87S	47,93W	1061m	89,21	82/01		26,9	34,2	1,4	7,0	2,7
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação		
Out	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jun	99,6%	TBS	TPO	w	TBSc
?Tmd	1%	31,1	18,3	21,5	26,4	20,2	16,9	22,6		99%	11,0	4,7	6,0	23,7
11,3	2%	30,2	18,6	21,1	26,1	20,0	16,7	22,4						
<b>GO</b>														
	Anápolis			Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s
				16,23S	48,79W	1137	88,39	83/01		27,3	N/D	N/D	N/D	N/D
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação		
Set	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jun	99,6%	TBS	TPO	w	TBSc
?Tmd	1%	31,7	20,6	23,8	27,1	23,0	20,5	25,3		99%	12,8	5,1	6,2	19,0
10,7	2%	29,8	20,5	22,9	26,3	22,0	19,2	24,6						
<b>GO</b>														
	Goiânia			Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s
				16,63S	49,22W	747m	92,67	82/01		30,2	36,6	1,0	8,2	1,9
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação		
Out	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jun	99,6%	TBS	TPO	w	TBSc
?Tmd	1%	35,0	20,3	24,5	29,8	23,1	19,6	26,0		99%	11,9	4,7	5,8	25,7
11,7	2%	33,1	20,8	23,7	28,9	22,2	18,5	25,2						

Fonte: NBR 16401-1 (2008)

A humidade relativa média de Anápolis pode ser determinada usando o gráfico da Figura 32:

**Figura 32** – Humidade relativa média de Anápolis

Fonte – Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30121/Clima-caracter%C3%ADstico-em-An%C3%A1polis-Brasil-durante-o-ano#Sections-Humidity>. Acesso em 27 de novembro de 2023.

Anápolis é mesmo uma cidade, por localizar-se no Planalto Central, onde na maior parte do ano (de abril a novembro), o clima tem humidade relativa média abaixo de 50%.

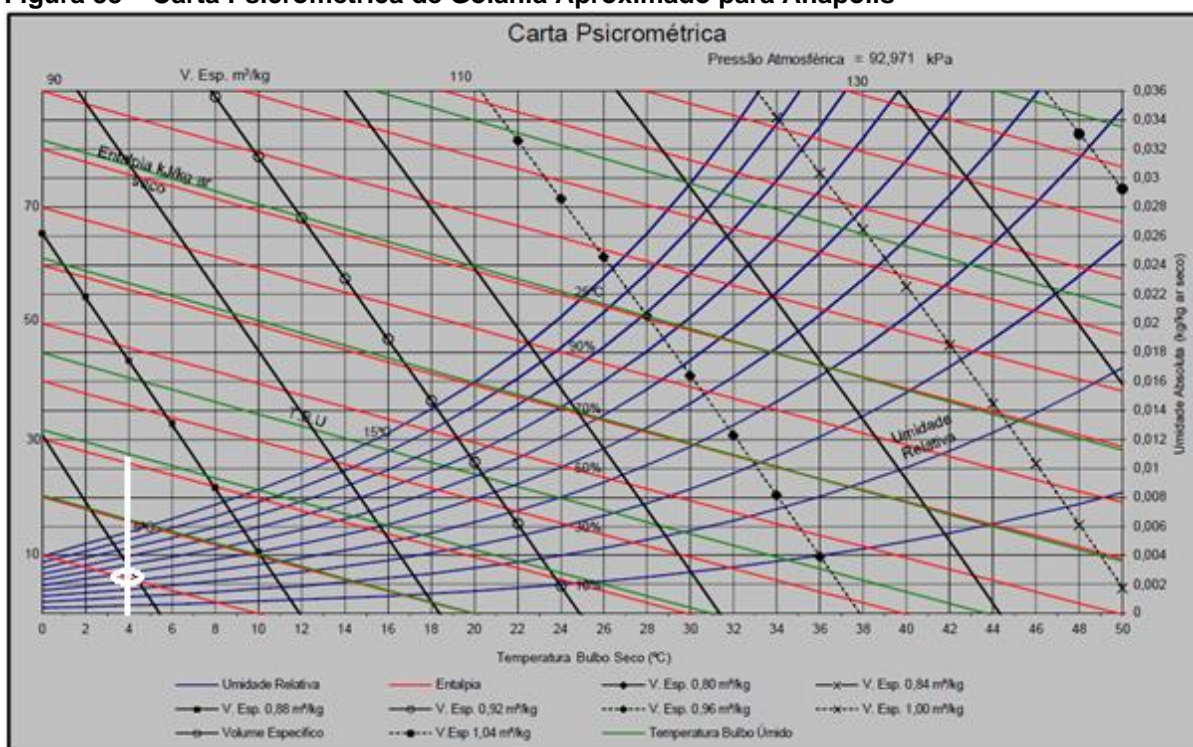
Voltando à Tabela 14 – Dados do Modelo Geométrico e Autêntico deste Túnel de Congelamento Deste TCC – entende-se que a Ante Câmara para maturação da carne (4°C) precisa de um ambiente climatizado para conforto dos funcionários. Então este TCC sugere às instalações da Ante Câmara um sistema automatizado de



climatização para humidificação simples sem aquecimento. O objetivo é manter a umidade relativa da ante câmara em 50%.

Por falta de dados e para máxima aproximação possível, para Goiânia a 55 km de Anápolis, diferença desprezível de 4,28 kPa de pressão barométrica, segue na Figura 33 o gráfico da carta psicrométrica, incluindo a TBS 4°C e 50% de umidade (temperatura de bulbo seco de maturação da carne e umidade relativa) na Ante Câmara).

**Figura 33 – Carta Psicrométrica de Goiânia Aproximado para Anápolis**

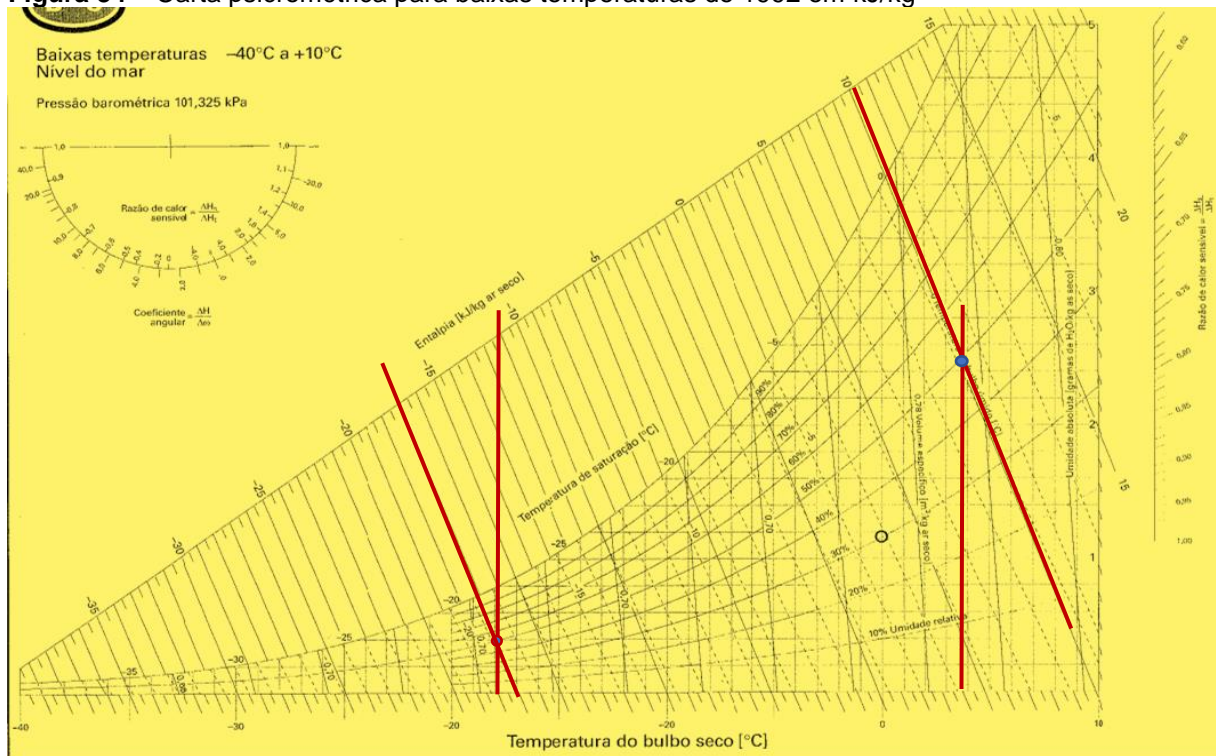


Fonte: SCRIBD (2019)

Do gráfico acima vê-se que a entalpia para 4°C e 50% é de 10 kJ/kg ar seco.

Na Tabela 14 – Dados do Modelo Geométrico e Autêntico de Túnel deste Congelamento Deste TCC – vê-se que na linha do Metabolismo de trabalho o túnel de congelamento é aberto de hora em hora para reposição das 10 toneladas de carne e o ar do túnel do congelamento mistura-se com o ar da ante câmara. A solução encontrada para a carga térmica de ar inclui a carta psicrométrica de baixas temperaturas, e por falta de dados disponíveis, aproximada para pressão barométrica de 101,325 kPa ou nível do mar. Segue, na Figura 34, os dados psicrométricos do ar congelante para TBS -18°C (temperatura mais quente de congelamento) e 50% de umidade considerando igual os 50% de umidade da Ante Câmara de maturação:

**Figura 34** – Carta psicrométrica para baixas temperaturas de 1992 em kJ/kg



Fonte: STOECKER e JABARDO (2018, p. 519)

As entalpias determinadas na carta acima são:

$$h_{\text{túnel de congelamento}} = -17 \text{ kJ/kg ar seco}$$

$$h_{\text{ante câmara de maturação}} = 10 \text{ kJ/kg ar seco}$$

Voltando à equação 34 para calcularmos a carga térmica da mistura de ar entre a câmara de maturação ( $4^{\circ}\text{C}$ ) e túnel de congelamento ( $-18^{\circ}\text{C}$ ):

$$Q_{\text{mistura de ar}} = \rho_{\text{ar média}} \cdot \dot{V}_{\text{ar túnel}} \cdot \Delta h_{\text{ar}} \quad (34)$$

Para calcularmos a vazão de ar dentro do túnel de congelamento vamos considerar a equação da continuidade a seguir:

$$\dot{V}_{ar\ túnel} = Velocidade_{ar\ túnel} \times Área\ túnel \quad (35)$$

Onde

$$Velocidade_{ar\ túnel} = v = 36,293 \frac{m}{s} \text{ para } L = 0,48 \text{ m maior lado da caixa de carne (pg. 75)}$$

$$Área\ túnel = 14400 \text{ m}^2 \text{ (pg. 80)}$$

E

$$\dot{V}_{ar\ túnel} = 36,30 \frac{m}{s} \times 14400 \text{ m}^2 \quad (35)$$

$$\dot{V}_{ar\ túnel} = 18.376,87 \frac{m^3}{s}$$

E voltando a equação 34 a carga térmica de ar é

$$Q_{mistura\ de\ ar} = 1,208 \frac{Kg}{m^3} \times 18.376,87 \frac{m^3}{s} \times \left[ 10 - (-17) \frac{kJ}{kg_{ar\ seco}} \right]$$

$$Q_{mistura\ de\ ar} = 599.379,99 \text{ kW}$$

Essa carga térmica de ar, 599.379,99 kW, não pode ser retirada pelos equipamentos frigoríficos não criogênicos como é o caso do túnel de congelamento deste TCC.

Para condições possíveis de selecionar os equipamentos nos próximos capítulos lembra-se aqui a seção 2.2.2 - Carga Térmica – onde 80% da carga térmica a ser retirada do túnel para congelamento da carne lembramos as equações (TÓFOLI 2023):

$$Q_{\text{mistura de ar}} = m_{\text{vazão mássica ar}} \times c_{\text{par}} \times \Delta t_{\text{carne}} \quad (36)$$

$$m_{\text{vazão mássica ar}} = \rho_{\text{ar média}} \times \dot{V}_{\text{ar túnel}} \quad (37)$$

Onde

$m_{\text{vazão mássica ar}}$  – Vazão mássica de ar (kg/s).

$$c_{\text{par}} = C_{\text{pi médio}} (262,9 \text{ K}; 88,39 \text{ kPa}) = 1009,60 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}} \text{ (pg. 67).}$$

$\Delta t_{\text{carne}}$  – Diferença de temperatura entre maturação e mínimo congelamento (°C).

E

$$\Delta t_{\text{carne}} = 4 - (-18)$$

$$\Delta t_{\text{carne}} = 22^\circ\text{C}$$

Sabe-se que a carga térmica total para as 10 toneladas de carne é 543 kW (pg. 73) e de acordo com a seção 2.2.2 - Carga Térmica – pode-se igualar a carga térmica de carne a carga térmica de ar e

$$543 \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{s}} = m_{\text{vazão mássica ar}} \times 1009,60 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}} \times (22^\circ\text{C}) \quad (36)$$

$$m_{\text{vazão mássica ar}} = 24,45 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Voltando-se a equação 37 para cálculo da vazão de ar

$$m_{\text{vazão mássica ar}} = \rho_{\text{ar média}} \times \dot{V}_{\text{ar túnel}} \quad (37)$$

$$\dot{V}_{\text{ar túnel}} = \frac{24,45 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1,158 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\dot{V}_{\text{ar túnel}} = 21,12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Voltando-se a equação 34 para cálculo da carga térmica de ar

$$Q_{\text{mistura de ar}} = \rho_{\text{ar média}} \cdot \dot{V}_{\text{ar túnel}} \cdot \Delta h_{\text{ar}} \quad (34)$$

$$Q_{\text{mistura de ar}} = 1,158 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 21,12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \left[ 10 - (-17) \frac{\text{kJ}}{\text{kg ar seco}} \right]$$

$$Q_{\text{mistura de ar}} = 660,34 \text{ kW}$$

## 4.2 Carga Térmica Total

É o somatório das cargas térmicas encontradas na seção 4.1 - Carga Térmica do Túnel de Congelamento Estático:

- $\dot{Q}_{carne} = 543 \text{ kW}$
- $Q_{condução} = 23 \text{ kW}$
- $Q_{mistura \text{ de ar}} = 660,34 \text{ kW}$

E finalmente

$$\Sigma Q_{túnel} = 543 + 23 + 660,34$$

$$\Sigma Q_{túnel} = 1226,34 \text{ kW}$$

De acordo com a Tabela 3 – Problemas de Rendimento e Soluções por Pontos de Calor – é necessário somar 10% da  $\Sigma Q_{túnel}$  para compensar os problemas de rendimento, eficiência energética, durante o funcionamento do túnel (TÓFOLI 2023).

Então a carga térmica operacional deste Túnel de Congelamento para carne bovina finaliza-se em

$$1226,34 + 0,10 \times 1226,34 \text{ kW} = 1349 \text{ kW}$$

### 4.3 Seleção de Equipamentos

Adotado de acordo com a Figura 35

**Figura 35 – Equipamento Adotado**

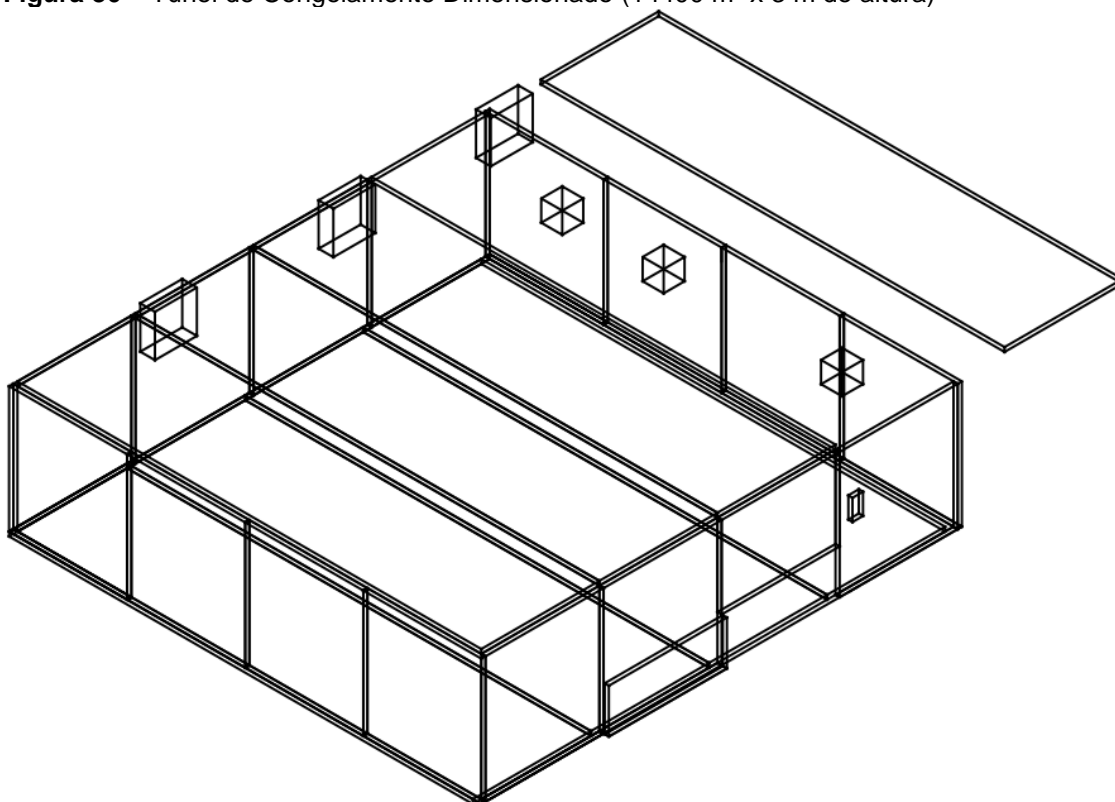
UNIDADE 30XWV	CAPACIDADE		VAZÃO DO EVAPORADOR		QUEDA DA PRESSÃO EVAPORADOR		VAZÃO CONDENSADOR		QUEDA DE PRESSÃO NO CONDENSADOR		EFICIÊNCIA CARGA PLENA (kW/Ton)	IPLV (kW/Ton)
	TR	SAÍDA (kW)	gpm	l/s	pés de água	kPa	gpm	l/s	pés de água	kPa		
160	161	567	380	24	14	42	476	30	23	68	0,620	0,366
180	182	641	444	28	16	48	539	34	27	81	0,626	0,360
200	234	824	555	35	13	38	697	44	20	60	0,638	0,364
235	257	905	618	39	14	43	777	49	22	67	0,636	0,366
330	333	1171	805	51	19	57	1002	63	16	48	0,621	0,358
375	374	1315	903	57	22	65	1125	71	17	50	0,614	0,358
420	422	1486	1014	64	26	79	1268	80	20	61	0,619	0,367
460	460	1620	1110	70	34	102	1379	87	27	80	0,624	0,367

Fonte – Disponível em: <https://carrierdobrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/03/CT-AquaForce-GreenSpeed-30XWV-D-08-22-view.pdf>.

Acesso em 27 de novembro de 2023.

Segue, na Figura 36, o desenho final de acordo com a Tabela 14 – Dados do Modelo Geométrico e Autêntico de Túnel deste Congelamento Deste TCC – considerando três máquinas trabalhando em conjunto (567 kW x 3 máquinas):

**Figura 36 – Túnel de Congelamento Dimensionado (14400 m<sup>2</sup> x 3 m de altura)**



Fonte – AUTOR (2023)

## 5 CRONOGRAMA

De acordo com o exemplo de cálculo de carga térmica de LONCAN (2019, p. 87 – 96) e dos catálogos dos túneis da Mebrafe (2023), apresentar as medidas específicas para cada tipo de túnel e a lista dos túneis de congelamento construídos pela Mebrafe, coletada pelo AUTOR (2023), na Expomeat 2023.

Destaca-se a princípio, por dificuldades de acesso ao estudo de caso, entrar em contato com o frigorífico Iguatemi Foods em Iguatemi – MS. Onde está instalado um dos túneis do catálogo da Mebrafe. Foi informado na Expomeat que é um túnel de congelamento contínuo, ou seja, um túnel prédio.

Por responsabilidade científica e acadêmica espera-se cumprir a revisão da fundamentação científica, cálculo da carga térmica, estudo sobre a eficiência dos tipos de túneis, pesquisa documental, pesquisa de mercado, contato para acesso ao estudo de caso, estudo de caso e coleta dos dados, testes e análise dos resultados de acordo com a metodologia elaborada. Segue na Tabela 16 um cronograma ao projeto tecnológico executado em diferentes etapas já apresentadas, inclusive, em seu planejamento futuro (LAKATOS, 2021, p. 184 – 192).

**Tabela 16** – Cronograma de Projeto

<b>Atividade</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
Revisão da fundamentação científica	x	x			
Cálculo da Carga térmica		x	x		
Estudo sobre a eficiência dos tipos de túneis			x	x	
Pesquisa de mercado		x	x		
Contato para acesso ao estudo de caso	x	x			
Estudo de Caso e Coleta dos Dados		x	x	x	x
Testes e análise dos resultados	x	x	x	x	x

Fonte: AUTOR (2023)

## 6 RESULTADOS ESPERADOS

O estudo de caso, os cálculos e seus testes fazem a comprovação de qual tipo de túnel tem a maior eficiência.

As relações entre os dados obtidos e calculados oferecem evidências à verificação da hipótese introdutória. É interpretação dos resultados que corresponde à parte mais importante deste relatório. A hipótese é confirmada pela precisão dos cálculos imitando a realidade dos túneis estudados. (LAKATOS, 2021, p. 265).

A relevância dos dados, demonstrados na Justificativa, aprovam as medições do estudo de caso sem necessidade de análise estatística porque é possível resolver o problema introdutório pela Metodologia. (LAKATOS, 2021, p. 265).



O grau de verdade dos resultados obtidos pode ser maximizado pelo aumento do espaço amostral dos dados coletados, ou seja, para um maior detalhamento quantitativo e qualitativo dos túneis de congelamento estudados. (LAKATOS, 2021, p. 265).

As medidas obtidas em todo TCC confirmam as leis termodinâmicas para os ciclos frigoríficos e suas equações citadas. A convalidação empírica permite a confirmação destas leis pelos Resultados Esperados. (LAKATOS, 2021, p. 265).

## **7 RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÕES**

No início deste trabalho em fevereiro 2023 o resultado esperado era fazer deste TCC o que foi proposto na Introdução e Pesquisa de Mercado. Vários contatos com as empresas citadas foram feitos pra financiamento do projeto de um dos tipos de túneis de congelamento apresentados. O mínimo de sucesso esperado era a obtenção dos dados operacionais dos túneis para que fosse calculada e realizada a comparação técnica proposta na Tabela 6 – Variáveis de Controle para Parâmetros de Diferenciação Entre os Tipos de Túneis. Mas já nos comentários da banca de Pré-TCC em 13 de junho de 2023, um dos ilustríssimos convidados da banca o Professor Me. Flávio Marinho Vasconcelos orientou que as empresas citadas não têm interesse em disponibilizar esses dados para pesquisas acadêmicas até mesmo porque elas têm seus próprios laboratórios e técnicos competentes.

Tomou-se outro rumo neste TCC a partir de agosto já com outro docente orientador o ilustríssimo Professor Me. Lincoln Nascimento Ribeiro porque o ilustríssimo Professor Dr. Fábio Esteves da Silva, que iniciou e orientou este TCC desde janeiro 2023 não pode continuar, este TCC partiu para os cálculos de estudo de caso dos processos envolvidos em dimensionamento de um túnel de congelamento mais simples, o túnel de congelamento estático, para que fosse possível concluí-lo no nível da graduação e internamente na Fatec Itaquera.

Os resultados dos cálculos foram satisfatórios e demonstraram que no mercado frigorífico de carne bovina o usual espaçamento de 5 cm entre as caixas de carne em processo de congelamento rápido pode ser reduzido pelo espaçamento proposto na Tabela 11 – Dimensionamento das Prateleiras das Caixas de Carne para 10.000 kg.

A eficiência energética dos túneis de congelamento tão discutida com o primeiro orientador, o Professor Dr. Fábio Esteves, não foi calculada pela falta dos dados citados. Mas com a brilhante ajuda do Professor Me. Lincoln Ribeiro chegou-

se ao coeficiente de película necessário para o cálculo da área do túnel de congelamento estático dimensionado ao final do capítulo 4.

Este TCC com certeza deixa a curiosidade para seus leitores, leigos ou não em Transferência de Calor e Termodinâmica, de que expor em Pesquisa Científica os cálculos de 37 equações da Física Clássica em um TCC de graduação é o único meio pelo qual um aluno de Engenharia, neste nível, pode provar que é possível mudar os costumes do mercado “leigo” para apresentar medidas de dimensionamento mais eficientes nesta era mundial que demanda ao máximo a eficiência energética para reduzir a pegada de carbono e as alterações climáticas.

## REFERÊNCIAS

- ABIEC. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. **Conjuntura internacional - carne bovina**. 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/camaras-setoriais-1/Conjunturadomercadointernacionaldacarnebovina\\_ABIEC.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/camaras-setoriais-1/Conjunturadomercadointernacionaldacarnebovina_ABIEC.pdf) Acesso em: 25 de março de 2023.
- ABNT NBR 16401-1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16401-1. **ANEXO A (normativo) - dados climáticos de projeto**. Brasil, 2008. Disponível em: [http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec\\_NOTURNO/TM374/NBR\\_16401-1\\_2008.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM374/NBR_16401-1_2008.pdf) Acesso em: 11 de maio de 2023.
- ABNT NBR 6023. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -**Informação e documentação - referências - elaboração**. 2018. Disponível em: <https://www.ufpe.br/documents/40070/1837975/ABNT+NBR+6023+2018+%281%29.%20pdf/3021f721-5be8-4e6d-951b-fa354dc490ed> Acesso em: 17 de novembro de 2023.
- ABNT NBR 6024. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação - numeração progressiva das seções de um documento - apresentação**. Disponível em: <http://www2.uesb.br/biblioteca/wp-content/uploads/2016/05/NBR-6024-NUMERACAO-PROGRESSIVA.pdf> Acesso em: 19 de novembro de 2023.
- ABRAFRIGO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FRIGORÍFICOS - **Clipping da abrafrigo nº 1385 de 07 de outubro de 2022**. Disponível em: <https://www.abrafrigo.com.br/index.php/2022/10/07/clipping-da-abrafrigo-no-1385-de-07-de-outubro-de-2022/> Acesso em: 13 de março de 2023.
- ABRAVA OFICIAL. WEBINAR CARTILHA - Lançamento cartilha de refrigeração - **A relação da refrigeração e a eficiência energética**. 2023. 1 vídeo (2h:03 min:35s). (Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4iuwAsqhi8U> Acesso em: 01 de maio de 2023.
- ABRAVA & PROCEL. **A relação da refrigeração e a eficiência energética**. 2023. Disponível em: <https://materiais.abrava.com.br/cartilha-eficiencia-energetica-em-refrigeracao> Acesso em: 25 de março de 2023.
- AGROTOOLS SOLUÇÕES DIGITAIS. Frigorífico: requisitos para o sucesso da atividade pecuária. **Blog**. 31 de março de 2022. Disponível em: <https://agrottools.com.br/blog/cadeia-de-valor/frigorifico-atividade-pecuaria/> Acesso em: 23 de fevereiro de 2023.
- ANTEFFFA. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TÉCNICOS DE FISCALIZAÇÃO FEDERAL AGROPECUÁRIA. **Instrução normativa nº 22, de 28 de abril de 2020**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 30/04/2020. Disponível em: <https://anteffa.org.br/index/noticia/tipo//id/4892> Acesso em: 01 de maio de 2023.
- ARCANJO, Caio Henrique Almeida. **Projeto de uma unidade frigorífica para congelamento e armazenamento de peixes, ciclo de refrigeração por compressão de vapor com expansão direta de R404A**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, MG, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35286> Acesso em: 04 de março de 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. **Conjuntura internacional - carne bovina**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/camaras-setoriais-1/ConjunturaInternacionalcarnebovina.pdf> Acesso em: 25 de março de 2023.
- ASHRAE. **Handbook Fundamentals**. Geórgia, EUA. 2021. ISBN 9781947192904. Traduzido pelo autor em 2023.
- ASHRAE. **Handbook Refrigeration (SI)**. Thermal properties of foods. 2006.

ASHRAE. **Tabela psicrométrica 2 - baixa temperatura - nível do mar (-40 a 10 graus CBD) 11x17(SI). Bloco de 50 fls. 1992.** Livraria online. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/tarik/disciplinas/termodinamica-aplicada-cod.-pg0037/psicrometria/Carta%20ASHRAE.pdf/view> Acesso em: 11 de maio de 2023.

ASTRA. Frigorífico Astra - **industrial**. 2020. Disponível em: [https://www.frigoastra.com.br/pt\\_BR](https://www.frigoastra.com.br/pt_BR) Acesso em: 04 de março de 2023.

AUTOR 2023. **Otávio Leite Pereira**. Aluno de REVAC da Fatec Itaquera. 2023. Disponível em: [Otavio.Pereira5@Fatec.SP.Gov.Br](mailto:Otavio.Pereira5@Fatec.SP.Gov.Br). Acesso em 12 de dezembro de 2023

BARBIN, Douglas Fernandes; Neves Filho; LINCOLN Camargo; JUNIOR SILVEIRA, Vivaldo. **Processo de congelamento em túnel portátil com convecção por exaustão e insuflação para paletes**. 2009. Trabalho experimental. Universidade Estadual de Campinas. Ciências e Tecnologia de Alimentos. Campinas, 29(3): 667- 675, jul-set. 2009. Campinas, SP, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/RXM66YS54k65VPRvnMqLh5q/?format=pdf> Acesso em: 18 de maio de 2023.

BARBOSA, Beatriz Duque. **Revalidação de parâmetros operacionais em túnel de congelação**. Universidade Nova de Lisboa. Portugal. Orientadoras: Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando, Professora Auxiliar e Co-orientadora Maria Isabel de Jesus Oliveira, Técnica de Qualidade. **Revalidação de parâmetros operacionais em túnel de congelação**. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2018. Disponível em: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/75602/1/Barbosa\\_2018.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/75602/1/Barbosa_2018.pdf). Acesso em: 18 de março de 2023.

BARROS, Benjamin Ferreira de; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo L. **Gerenciamento de energia: ações administrativas**. São Paulo, SP, editora: Érica. 2020. ISBN 9788536533063

BATISTA, Gustavo repórter. **Produção carne bovina exportada para china**. 2020. YouTube, 16 de setembro de 2019. 1 vídeo (5m:52s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pAFTjtOyins> Acesso em: 13 de março de 2023.

BEEFPOINT. **Efeito do congelamento e da maturação na qualidade da carne bovina**. 2023. Disponível em: Acesso em: 01 de maio de 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária. **Portaria SDA nº 723, 23 de dezembro de 2022 - aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade para carne maturada de bovino**. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 26 /12/2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-723-de-23-de-dezembro-de-2022-453548646> Acesso em: 01 de maio de 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria Geral. **DECRETO Nº 9.013, DE 29 DE MARÇO DE 2017** - Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/mpa/legislacao/legislacao-geral-da-pesca/decreto-no-9-013-de-29-03-2017.pdf/view> Acesso em: 15 de abril de 2023.

BRASIL. Ministério do desenvolvimento, indústria, comércio e serviços - **Gráficos interativos**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis> 2023. Acesso em: 23 de março de 2023.

BRASIL RURAL, Conexão – A voz do campo na TV. Programa Conexão Rural - **Frigorífico Rio Maria em Canaã dos Carajás - PA**. YouTube, 17 de fevereiro de 2019. 1 vídeo (34min:52s). 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zCxLK2K62n4> . Acesso em: 01 de maio de 2023.

BRASIL. Secretaria do Estado de Agricultura, pecuária e abastecimento. Governo do estado de Goiás. **Cresce a exportação goiana de carne bovina**. Governo de Goiás transparente. 2022. Disponível em: <https://goias.gov.br/cresce-exportacao-goiana-de-carne-bovina/> Acesso em: 23 de março de 2023.

BRY-AIR. **Quais são os principais problemas em túneis e câmaras de congelamento devido à falta de controle de umidade**. 2021. Disponível em: <https://www.bryair.com.br/blog/quais-sao-os-principais-problemas-em-tuneis-de-congelamento-devido-a-falta-de-controle-de-umidade/> . Acesso em: 10 de maio de 2023.

BUENO, Leda Gobbo de Freitas. **Diagnóstico do uso de energia de um frigorífico de frangos de cortes enfatizando medidas de eficiência energética**. 2008. Orientador: Luiz Antônio Rossi (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, 2008. Disponível em:file:///C:/Users/55119/Downloads/Bueno\_LedaGobbodeFreitas\_D.pdf Acesso em: 14 de maio de 2023

CADERNOS AGRO, Broadcast. **Carnes/Secex: Receita com exportação de proteína bovina cresce 94,3% em novembro ante nov/21**. 2021. Disponível em: <http://broadcast.com.br/cadernos/agro/?id=b2VKTjdxTnd5SndxNkp5VHh3QWFJQjQ> Acesso em: 23 de fevereiro de 2023.

CHAMPION CANAL. **Frigoiás G**. 2011. Disponível em: <https://frigoias.com.br/site/> Acesso em: 23 de março de 2023.

CANAL RURAL: **Boi gordo: expectativa para retomada de exportações à China: veja como está o mercado**, 06 de março de 2023. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/pecuaria/boi/boi-gordo-expectativa-para-retomada-de-exportacoes-a-china-veja-como-esta-o-mercado/> Acesso em: 20 de março de 2023.

CABRA QUENTE. **Frigorífico Xinguara**. YouTube, 21 de julho de 2010. 1 vídeo (5 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2RVUuUpt6nY> Acesso em: 01 de maio de 2023.

CATORCENO, Litzzy L. Choquechambi. **Densidade aparente pb**. Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Itaquera, SP. 2022.

CATORCENO, Litzzy L. Choquechambi. **Refrigeração e congelamento de alimentos - cap.17**. Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. São Paulo, Itaquera-SP, 2023.

CATORCENO, Litzzy L. Choquechambi. **Resolução ex 1 - uma carcaça bovina de 150kg deve ser congelada até uma temperatura de -20°C a partir de 10°C.Quanto calor deve ser removido da carcaça de bovino durante esse processo?** Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. São Paulo, Itaquera, SP, 2020.

CATORCENO, Litzzy L. Choquechambi. **Resolução - Ex. 7 - cálculo da densidade da carne de porco magra a -40°C**. Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Itaquera, SP, 2021.

ÇÉNGEL, Yunes A. **Transferência de calor de massa: uma abordagem prática**. São Paulo, SP, McGraw - Hiell, 2009. 3ª edição norte americana. ISBN 978857726075-1.

CHAGAS, José Augusto Castro. **Projeto e construção de câmaras frigoríficas**. York Refrigeration. Joinville - SC. 2023. Disponível em:<https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/9/98/Projetocamaras.pdf> . Acesso em: 11 de maio de 2023.

CN COUD. Blog CN COUD. **Conheça os tipos de túneis de congelamento**. 2023. Disponível em:<https://www.cncold.com.br/blog/conheca-os-tipos-de-tuneis-de-congelamento/> Acesso em: 18 de março de 2023.

CONTEXTO, Portal. Anápolis não é só indústria. também temos pecuária. 2019. Disponível em: <https://portalcontexto.com/anapolis-nao-e-so-industria-tambem-temos-pecuaria/> Acesso em: 07 de junho de 2023.

CORREIOS. **Cálculo de preços e prazos de entrega - embalagem dos correios.** 2023. Disponível em: <https://www2.correios.com.br/sistemas/precosPrazos/> Acesso em: 22 de maio de 2023.

COSTA, Ennio Cruz da. **Refrigeração.** São Paulo, editora: Blücher, 1982. ISBN 9788521217527.

Disponível em:

[https://login.vitalsource.com/?redirect\\_uri=https%3A%2F%2Fintegrada.minhabiblioteca.com.br%2FFreder%2Fbooks%2F9788521217527&brand=integrada.minhabiblioteca.com.br](https://login.vitalsource.com/?redirect_uri=https%3A%2F%2Fintegrada.minhabiblioteca.com.br%2FFreder%2Fbooks%2F9788521217527&brand=integrada.minhabiblioteca.com.br) Acesso em: 23 de fevereiro de 2023.

COSTA, Marina Alves. **Estudo e avaliação de um sistema de refrigeração industrial: estimativa de carga térmica e capacidade frigorífica.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, Pernambuco, 2018. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/1401> Acesso em: 11 de maio de 2023.

DELIBERAL, Edison Antonio; PAULETTI, Hellen Cristina. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA ALTERAÇÃO DA CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO PARA ABSORÇÃO. **Anais de Engenharia Química, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 90 - 112, mar.** 2022. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/quimica/article/view/308>. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

DOBROVOLSKI, Leo Delmar Vecchi. **Uma contribuição para o projeto racional de ambientes frigorificados.** Orientador: Prof. Arno Udo Dalemeyer, Dr. Agr. 2004. 136f. Dissertação de Pós-graduação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/8429>. Acesso em: 10 de maio de 2023.

ED TUBE. **Frigorífico Beauvallet Brasil** - versão português - 2021. YouTube, 27 de abril de 2021. 1 vídeo (11m:57s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4ffmuD6-y88>. Acesso em: 20 de março de 2023.

EKO PALETE. **Pallet plástico câmara fria Eko 1210-6.** 2023. Disponível em: <https://www.ekopalette.com.br/pallet-plastico-100x120-travado-camara-fria-eko-1210-6/>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

ELGIN. **compressores: confira todos os produtos da categoria - Elgin.** 2023. Disponível em: <https://www.elgin.com.br/Produtos/Refrigeracao/compressores>. Acesso em: 01 de maio de 2023.

ELGIN. ETE | ETG. **evaporador Vertical.** 2023. Disponível em: ELGIN. ETE | ETG Evaporador Vertical. 2023. Disponível em: <https://www.elgin.com.br/Produtos/Refrigeracao/evaporadores/evaporador-ete-etg>. Acesso em: 14 de março de 2023.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática.** 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.

FILHO, Washington B. **Termodinâmica para engenheiros.** Rio de Janeiro, editora: Grupo GEN, 2020. E-book ISBN 9788521637196

FREITAS, Adriano Rodrigues de; SIMÕES, Diogo Alisson; MASSUQUETO, Luiz Fernando; FONSECA, PARADEDA, Marcelo; VIEIRA, Rômulo José; KOIDE, Rubem Matimoto. **Eficiência operacional e energética em frigoríficos através de atualizações em túneis de retenção variável.** Memorial TCC - Caderno de Graduação. 2019. Centro Universitário Núcleo de Pesquisa Acadêmica, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://memorialtcccadernograduacao.fae.edu/cadernotcc/article/view/271> Acesso em: 12 de maio de 2023.

FRIGOIAS. **quem somos - a empresa.** 2021. Disponível em: <https://frigoias.com.br/site/a-empresa/>. Acesso em: 23 de março de 2023.

FRIGOCENTER. **Como melhorar a eficiência do meu sistema de refrigeração? Estudo de caso | Sistema subresfriado.** YouTube, 29 de julho de 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cVw0imEK0xk> Acesso em: 13 de março de 2023.

FRIGOCENTER. **Qual a diferença entre um túnel de congelamento e uma câmara de congelados?** 2023. YouTube, 9 de fevereiro de 2023. 1 vídeo (0min – 18min49s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=K4WVY1J741E> Acesso em: 13 de março de 2023.

FRIGO 10 LTDA. **Frigo 10 o nosso frigorífico.** YouTube, 9 de setembro de 2020. 1 vídeo (4min:22s). 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fAq5uXp1QbQ> Acesso em: 13 de março de 2023.

FRIGO 10 LTDA. **O nosso frigorífico - equipamento maquinário automatizado.** 2021. YouTube, 9 de setembro de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fAq5uXp1QbQ> Acesso em: 13 de março de 2023.

FOODS IGUATEMI. **Inauguramos agora o nosso túnel de congelamento contínuo.** 2023. Disponível em: <https://www.iguatemifoods.com.br/pt/inovacao> Acesso em: 19 de maio de 2023.

GAMA GASES. **Propriedades dos gases - amônia.** 2023. Disponível em: <http://www.gamagases.com.br/propriedades-dos-gases-amonia.html#:~:text=Des> Acesso em: 19 de maio de 2023.

Goiás em Tempo. **Consumo de carne bovina em Goiás caiu 50% mas preço alto deve se manter para os próximos anos.** 2023. Disponível em: <https://goiasemtempo.com.br/home/consumo-de-carne-bovina-em-goias-caiu-50-mas-preco-alto-deve-se-manter-para-os-proximos-anos>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023

GRASSELLI, Eduardo Pavoni. **Estudo do impacto da substituição do R22 em um ciclo de refrigeração.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/165268> Acesso em: 19 de maio de 2023.

G1, Agro. **China libera importação de carne bovina do Brasil certificada antes do embargo.** 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2021/11/23/china-libera-importacao-de-carne-bovina-do-brasil-certificada-antes-do-embargo.ghtml>. Acesso em: 23 de março de 2023.

IIAR. The international Institute of all-natural refrigeration. **What's is the aim act?** 2020. Disponível em: <https://www.iiar.org/AIMAct> Acesso em: 19 de maio de 2023.

INSPEÇÃO ANIMAL, Saúde. **Temperatura e qualidade da carne.** 2013. Disponível em: <https://saudeinspecaoanimal.com.br/temperatura-e-qualidade-da-carne> Acesso em: 13 de março de 2023.

INOVADOOR. **Túnel de congelamento: saiba garantir sua eficiência.** 2022. Disponível em: <https://www.inovadoor.com.br/tunel-de-congelamento-saiba-como-resolver-os-problemas-mais-comuns-e-garantir-a-sua-eficiencia/> Acesso em: 27 de fevereiro de 2023.

JARBAS, Luiz Lima. Avaliação **Experimental e numérica da cinética de congelamento do músculo de Abrótea**. 2018. 131f Tese (Doutorado em engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio grande do Sul, 2018. Disponível em: <https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/bdtd/0000012871.pdf> Acesso em: 22 de maio de 2023.

JUNIOR, Baltazar Flavio de Oliveira. **Levantamento da carga térmica e capacidade de refrigeração de uma indústria de alimentos congelados**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Instituto Federal de Santa Catarina, Xanxerê, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2643> Acesso em: 17 de maio de 2023.

KREITH, Frank; MANGLIK, Raj M; BOHN, Mark S. **Princípios de transferência de calor**. São Paulo-SP, Editora: Tradução da 7ª edição norte-americana. 2015. ISBN 9788522122028.

LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo, editora: Grupo GEN, 2021. ISBN 9788597026580, Disponível em: [https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy\\_of\\_historia-i/historia-ii/china-e-india](https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india) Acesso em: 20 de março de 2023.

LIMA, Jéssica Pereira Oliveira. **Estudo de caso: eficiência energética no sistema de refrigeração de uma cervejaria**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/147776> Acesso em: 18 de maio de 2023.

LONCAN, Paulo. **Projeto de instalações frigoríficas**. Porto Alegre, editora: UFRGS. 2019.

MARCHI, Antônio. **Pré-abate e abate completo bovino**. YouTube, 20 de fevereiro de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=o879bgTOm5E> Acesso em: 01 de maio de 2023.

MARINGÁ, Cartonagem. **Caixas de papelão frigorífica**. Maringá - PR. 2023. Disponível em: <https://www.cartonagemmaringa.com.br/produtos/produtoSelecionado/Caixas-de-Papel%C3%A3o-Frigorifica/6> . Acesso em: 22 de maio de 2023.

MARINHO, Flávio Vasconcelos. **Carga térmica parte 2 - refrigeração I**. Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Itaquera, SP, 2023.

MEBRAFE. **Soluções em refrigeração industrial**. 2023. Disponível em: <https://www.mebrafe.com.br/> Acesso em: 20 de maio de 2023.

MEBRAFE. **Túnel de congelamento THM - IQF**. YouTube, 5 de agosto de 2019. vídeo (4:min:03s). 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=eafM47CIAtk> Acesso em: 20 de maio de 2023.

MESSIAS, Ana Caroline Teixeira. **Análise termo ambiental de um frigorífico de abate e processamento de carne suína**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) -Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36531> Acesso em: 17 de maio de 2023.

MODESTO, Denys. **Mercúrio alimentos S.A.** 2021. 1 vídeo (3h:19m) Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=KwgBp9Az\\_7M](https://www.youtube.com/watch?v=KwgBp9Az_7M) Acesso em: 13 de março de 2023.

MONTEIRO, L. embargo a mais um frigorífico da JBS em Goiás preocupa pecuaristas. **O Popular**, Goiás, 25 de março de 2022. Disponível em: <https://opopular.com.br/embargo-a-mais-um-frigorifico-da-jbs-em-goias-preocupa-pe> Acesso em 25 de março de 2023.

MORAN, Michael J; SHAPIRO, Howard N; BOETTNER, Daise D; BAILEY, Margaret B. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 8a ed. São Paulo, editora: LTC, 2018. ISBN 9788521634904.



MOREIRA, José Roberto Simões; NETO, Alberto Hernandes. **Fundamentos e aplicações de psicometria**. 2019. ISBN 97885-212-1840-1

MULTIFRIO REFRIGERAÇÃO. **Forçador evaporador Elgin FXB+039-220v**. 2023.

Ribeirão Preto - SP. Disponível em:

<https://www.multifrioshop.com/camara-frigorifica/evaporadores-forcadores-de-ar/forcador- evaporador-elgin-fxbe-039-031> Acesso em: 14 de março de 2023.

OLIVEIRA, Alessandra Lopes de. **Tabelas de disciplina de refrigeração e cadeia do frio (ZEA 0866)**. Universidade de São Paulo. Pirassununga, SP. Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4430921/mod\\_resource/content/1/Tabelas%20de%20Refriger a%C3%A7%C3%A3o%20e%20Cadeia%20do%20Frio.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4430921/mod_resource/content/1/Tabelas%20de%20Refriger a%C3%A7%C3%A3o%20e%20Cadeia%20do%20Frio.pdf) Acesso em: 11 de maio de 2023.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. **Tecnologias de conservação aplicadas à segurança de alimentos**. 2019. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51502> Acesso em: 17 de abril de 2023. ISBN 978-92-75-72103-2

PEREIRA, M.D; OLIVEIRA, A.S. **Análise do cálculo de carga térmica de uma câmara de resfriamento de carcaças bovinas com capacidade de 42 toneladas**. Universidade Federal do Paraná - Curitiba, PR. 2020. Disponível em: file:///C:/Users/55119/Downloads/admin2,+12063-23.pdf Acesso em: 11 de maio de 2023.

PERESTRELO, João Antônio Timóteo. **Projeto e dimensionamento de equipamento e frigorífico para túneis de congelação**. Orientador(es): Clito Afonso e Hugo Pinto. 2017. 113f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, Porto - Portugal, 2017. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/106379> Acesso em: 11 de maio de 2023.

PIVA, Artur. agronegócio da pecuária de corte vale 10% do PIB. **Revista Oeste**, 14 de junho de 2022. Disponível em: <https://revistaoste.com/agronegocio/agronegocio-da-pecuaria-de-corte-vale-10-pib/> Acesso em: 23 de fevereiro de 2023.

PIVA, Artur. Alckmin recebe embaixador chinês e diz esperar que exportações de carne bovina sejam retornadas. **G1, política**. Brasília, 28 de fevereiro de 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/politica/noticia/2023/02/28/alckmin-recebe-embaixador-chines-e-diz-esperar-que-exportacoes-de-carne-bovina-sejam-retomadas.ghtml> | Acesso em: 25 de março de 2023.

PORTAL 6. **Frigorífico de Anápolis está com mais de 20 oportunidades de emprego para diversas áreas**. 2021. Disponível em:

<https://portal6.com.br/2021/05/18/frigorifico-de-anapolis-esta-com-mais-de-20-oportunidades-de-emprego-para-diversas-areas/> / Acesso em: 23 de março de 2023.

PROPLAST. **Pallet plástico para câmara fria**. 2023. Disponível em: <https://proplast.com.br/pallet-plastico-camara-fria/> Acesso em: 04 de outubro de 2023.

REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA. **Análise do cálculo de carga térmica para alteração da concepção de um sistema de refrigeração por compressão para absorção**. 2021 - ISSN 2176-7270.

REVISTA DO FRIO. **Carnes e leite impulsionam HVAC- R**. 2021. Disponível em:

<https://revistadofrio.com.br/carnes-e-leite-impulsionam-hvac-r/> Acesso em: 04 de março de 2023.

REVISTA GENTE VIP. **Frigorífico rio maria**. YouTube, 12 de julho de 2021. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=jO88Hv2JXo> Acesso em: 01 de maio de 2023.

RIBEIRO, Lincoln N. **Fundamentos de Transferência de calor - 2**. Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Itaquera, SP. 2023.

RIMA ENGENHARIA. **Túnel de congelamento em bandejas HD**. 2014. YouTube, 3 de setembro de 2015. 1 vídeo (5min31s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=afEaVj0W79A> Acesso em: 13 de março de 2023.

ROÇA, Roberto Oliveira de. **Rendimento do abate de bovinos**. 2020. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Gestaoetecnologia/Teses/Roca114.pdf> Acesso em: 01 de maio de 2023.

SALDANHA, Pedro Rafael Fernandes. **Dimensionamento de um circuito frigorífico a CO2 com evaporadores inundados**. Orientador(es): Szaboles Varga e Paulo Paralvas. 2019. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia. Porto, Portugal, 2019. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/122229/2/351226.pdf> Acesso em: 10 de maio de 2023.

SCRIBD, Murilo Ribeiro. **Carta psicrométrica**. Biblioteca digital. Goiânia - GO, 2019. Disponível em: <https://fr.scribd.com/document/409064723/Carta-Pscrometrica> Goiânia. Acesso em: 23 de maio de 2023.

SANTOS, Clarice de Ávila. **Estudo da transferência de calor durante o congelamento de cortes de aves em caixas de papelão ondulado**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102315> Acesso em: 01 de maio de 2023.

SILVA, Marcelino Nascimento. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração 21 industrial e comercial**. Procel/Eletróbrás 315 p.

SOUZA, Almir Ferreira de. **Avaliação dos investimentos**. 1a ed. São Paulo: editora: saraiva, 2012. ISBN 9788502088672.

VILAIN, Rogério. **Projeto de câmaras frias de pequeno porte. Curso técnico subsequente integrado de refrigeração e climatização**. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, São José, SC, 2018. Disponível em: [https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/9/94/Apostila\\_parte\\_1.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/9/94/Apostila_parte_1.pdf) Acesso em: 01 de maio de 2023.

STOECKER, Wilbert F; JABARDO, José MS. **Refrigeração industrial**. São Paulo, SP; editora: Blücher, ISBN 9788521212652

TABELAS DE PERFIS. **Tabelas disponíveis no aço-dim**. AÇO-DIM. Disponível em: <https://aco-dim.com/tabelas/Perfil-I/laminado> Acesso em: 31 de outubro de 2023.

TEIXEIRA, Joel. **Guaporé carne - a empresa - (HD)**. YouTube, 28 de abril de 2011. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=tmdpkPyn-H4> Acesso em: 01 de maio de 2023.

TERRANOVA. **Indústria alimentícia**. 2023. Disponível em: <https://terranovala.com.br/industria-alimenticia/> Acesso em: 01 de maio de 2023.

TRADEMAP AGÊNCIA. frigoríficos em 2023: **O que esperar de JBS (JBSS3), BRF (BRFS3), Marfrig (MRFG3) e Minerva (BEEF3)**. 2023. Disponível em: <https://trademap.com.br/agencia/analises-e-relatorios/frigorificos-2023-jbs-jbss3-minerva-beef3-brf-brfs3-marfrig-mrfq3> Acesso em: 20 de março de 2023.

TÓFOLI, Fábio. **Sistemas térmicos - refrigeração industrial - condutividade térmica dos materiais**. 2023. Acesso em: 23 de agosto de 2023.

TÓFOLI, Fábio. **Sistemas térmicos - ar-condicionado - ABNT NBR 16401-1.22 Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários parte 1: projetos das instalações**. 2022. Acesso em: 23 de agosto de 2023.

TOPCOOLER. **Túnel de congelamento rápido**. 2023. Disponível em: <https://www.topcooler.com.br/tunel-de-congelamento-rapido> Acesso em: 19 de maio de 2023.

TUTORIAL TÉCNICO. TECTERMICA. **Tratando de quantas caixas cabem na câmara fria**. 2023. Disponível em: [https://www.tectermica.com.br/assets/quantas-caixas-cabem-na-camara-fria\\_tutorial-tecnico.pdf](https://www.tectermica.com.br/assets/quantas-caixas-cabem-na-camara-fria_tutorial-tecnico.pdf) Acesso em: 23 de outubro de 2023.

VASCONCELOS, Flávio Marinho. **Aula: diagrama de Mollier e o ciclo de refrigeração**. Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. Itaquera, SP, 2023.

WHITE, Frank M. **Mecânica dos fluidos**. Porto Alegre, RS: Grupo A, 2018. ISBN 9788580556070. Disponível em: [https://www.academia.edu/41726589/MEC%C3%82NICA\\_DOS\\_FLUIDOS](https://www.academia.edu/41726589/MEC%C3%82NICA_DOS_FLUIDOS) Acesso em: 23 de maio de 2023.

WHO. CODEX ALIMENTARIUS. **General principles of food hygiene CXC 1-1969. 2020 - (princípios gerais de higiene alimentar)**. Genebra, Suíça. Disponível em: <https://www.qsconsult.pt/post/codex-alimentarius-cxc-1-1969-general-principles-of-food-hygiene-nova-vers%C3%A3o-2020> Acesso em: 25 de março de 2023.

### **ANEXO A – FOTOS DO TÚNEL “PRÉDIO”**

Como sugestão para estudos futuros seguem algumas fotos extraídas das Fontes consultadas (páginas de catálogos, folder, instrução técnica etc.).

A Figura 23 a seguir apresenta o detalhe construtivo deste tipo de Túnel “Prédio” e a exigência problemática de elevadores de carga quanto às perdas de rendimento frigorífico citadas na Tabela 3. (FREITAS et al., 2019, p. 270). Para efeito de curiosidade é esta a Figura que deu origem, por inspiração emocional e completa inexperiência técnica, a este TCC da Fatec Itaquera (AUTOR, 2023).

**Figura 37** - Detalhe Construtivo do Túnel “Prédio



**Fonte:** FREITAS et al. (2019, p. 264)

**Figura 38** – Túnel de Congelamento Automático – TCM



Fonte: MEBRAFE (2023)

**Figura 39** – Evaporador do Túnel “Prédio”



Fonte: MEBRAFE (2023)

**Figura 40** – Estrutura Metálica do Túnel Prédio



Fonte: MEBRAFE (2023)



**Figura 41 - Paletização**



Fonte: MEBRAFE (2023)

Figura 42 - Monitoramento



Fonte: MEBRAFE (2023)

Figura 43 – Planilha de Controle Frigorífico



Fonte: MEBRAFE (2023)

**Figura 44** – Entrada do Túnel



Fonte: MEBRAFE (2023)

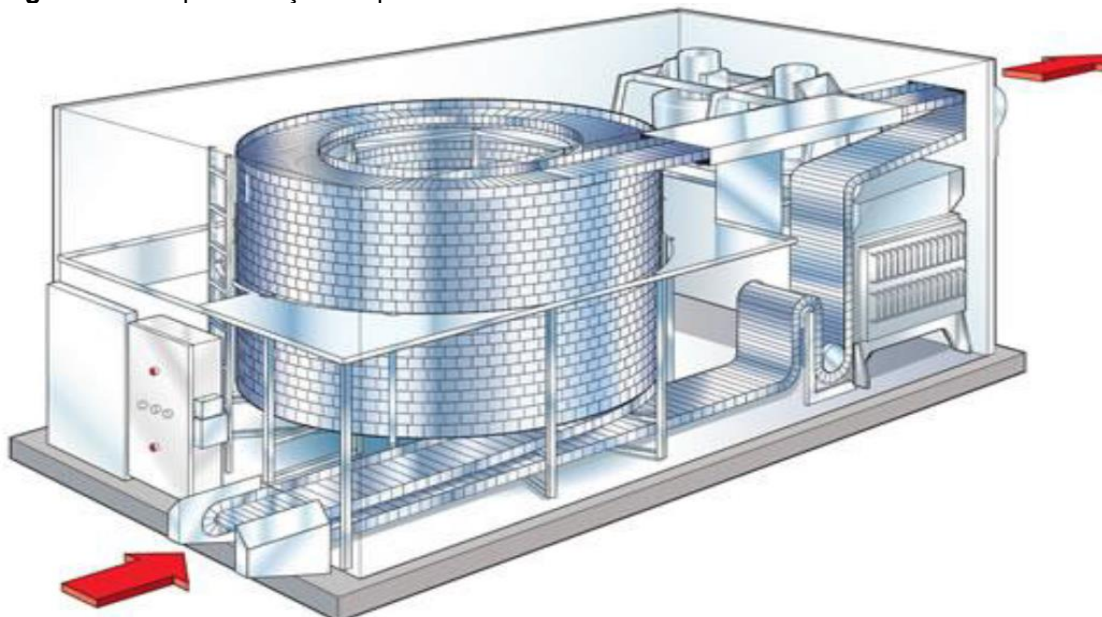
**Figura 45** – Saída do Túnel



Fonte: MEBRAFE (2023)

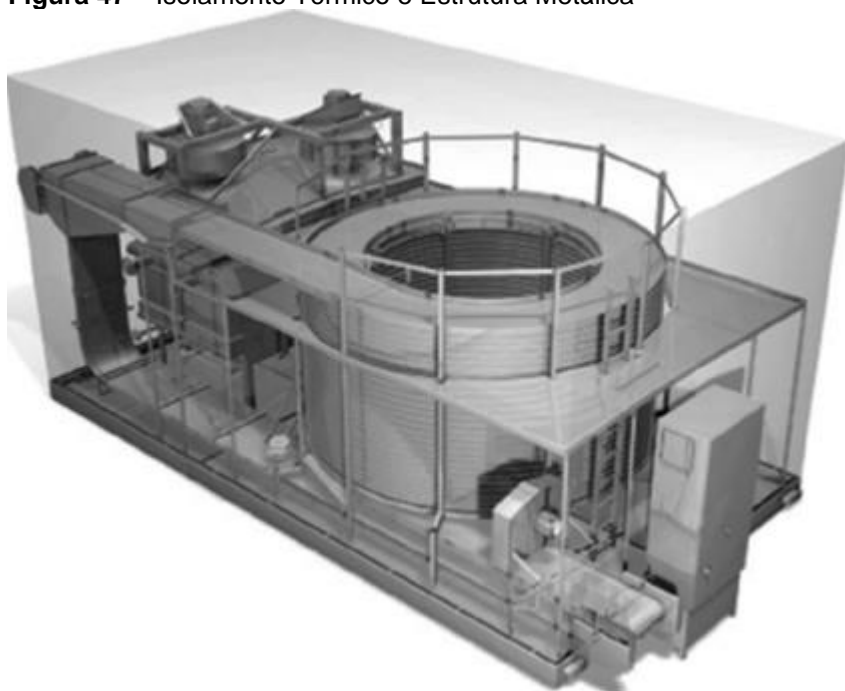
## ANEXO B - FOTOS DO TÚNEL HELICOIDAL

**Figura 46** – Representação Esquemática da Entrada e Saída do Produto



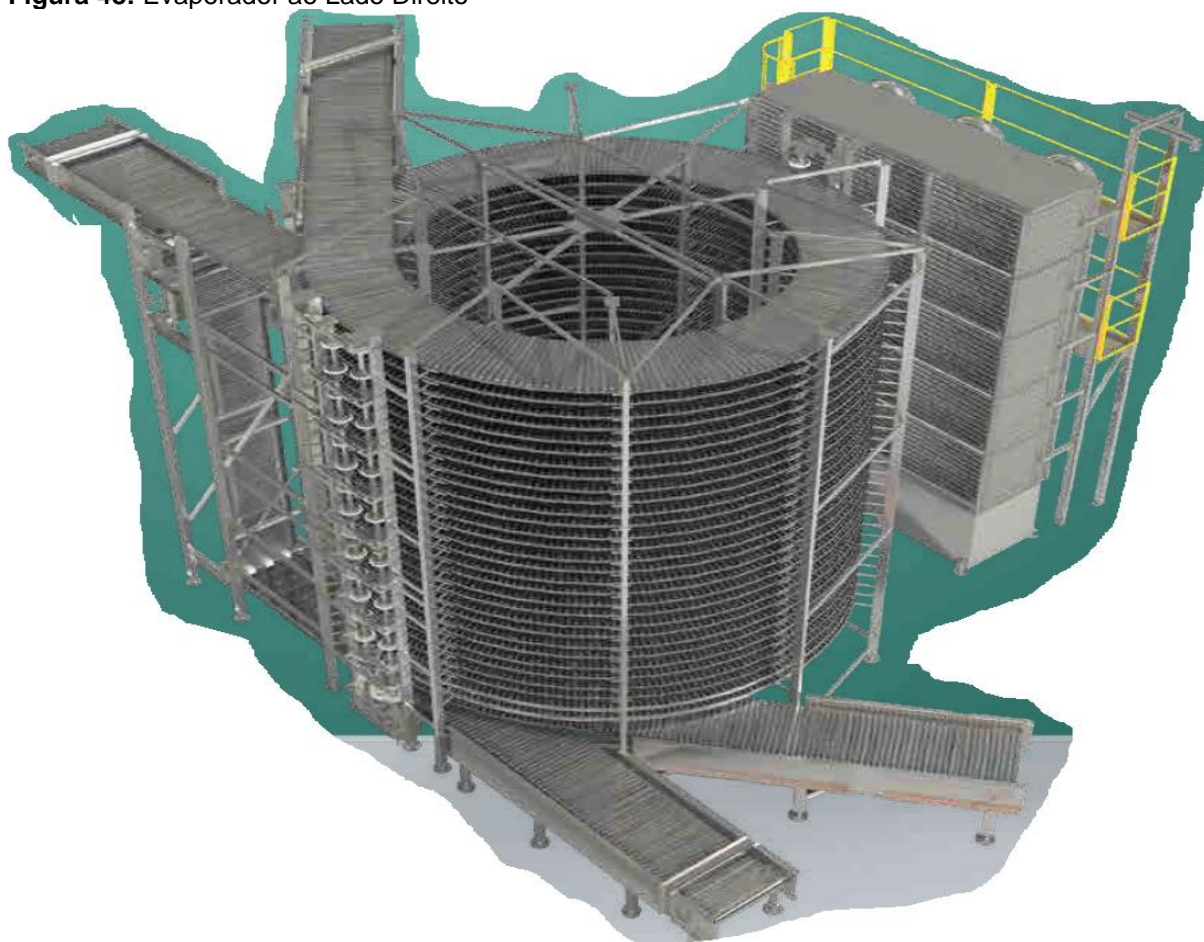
Fonte: BARBOSA (2018, p. 24)

**Figura 47 – Isolamento Térmico e Estrutura Metálica**



Fonte: FELLOWS (2019, p. 731)

**Figura 48: Evaporador ao Lado Direito**



Fonte: MEBRAFE (2023)

**ANEXO C – DADOS DE ENTRADA DO CÁLCULO CARGA TÉRMICA****Início 02 de outubro 2023 – Orientação do Professor Lincoln**

As respostas estão na seção 4.1 Carga Térmica do Túnel de Congelamento Estático. Seguem os passos para o início dos cálculos de dimensionamento:

- 1) Qual o volume ocupado por 1 tonelada de carne?  
Resposta = As caixas são de 25 kg -
- 2) Qual o volume ocupado por 50 toneladas com embalagem (caixas)
- 3) Qual o pé direito: 3 metros
- 4) Quais as dimensões dos pallets?
- 5) Lembrar que a carne não pode ser colocada diretamente em cima da madeira. Citar alguma cobertura para o pallet, ou substituir por pallets de mesma dimensão, mas feitos de plástico, ou metal, para a carne não grudar.
- 6) Quantos kg de carne cada pallet suporta? Qual o volume ocupado por essa quantidade de carne?
- 7) Qual o tamanho do pallet? 1,00m x 1,20m – Logo a área é de 1,20m<sup>2</sup>.
- 8) Se dividirmos o volume de carne pela área do pallet, faz-se saber a altura máxima de carne. Se somarmos com a uma altura de 0,5m, que será o vão entre o topo da carne e a prateleira superior, faz-se ter a altura do vão de cada prateleira.
- 9) Dividir as 50 toneladas de carne pela quantidade de carne que cada pallet suporta e você terá o número total de pallets.
- 10) Vai definir a quantidade de estantes ou prateleiras.
- 11) Definir a largura do corredor para os funcionários circularem e finalmente desenhar.