



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Recife

Departamento Acadêmico de Controles Industriais

Bacharelado em Engenharia Mecânica

LUCAS RAMOS DE SOUZA LIMA

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DA CARGA
TÉRMICA E SELEÇÃO DAS UNIDADES CONDENSADORA E EVAPORADORA:
SISTEMAS FRIGORÍFICOS DE PEQUENO PORTE**

Recife

2023

LUCAS RAMOS DE SOUZA LIMA

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DA CARGA
TÉRMICA E SELEÇÃO DAS UNIDADES CONDENSADORA E EVAPORADORA:
SISTEMAS FRIGORÍFICOS DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como requisito final à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Alvaro Antonio Ochoa Villa

Coorientador: Prof. Kilvio Alessandro Ferraz

Recife

2023

Ficha elaborada pela bibliotecária Maria do Perpétuo Socorro Cavalcante
Cavalcante Fernandes CRB4/1666

S586d
2023 Lima, Lucas Ramos de Souza

Desenvolvimento de programa para dimensionamento da carga térmica e seleção das unidades
condensadora e evaporadora: sistemas frigoríficos de pequeno porte. --- Recife: O autor, 2023.

69f. il. Color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Pernambuco, 2023.

Inclui Referências.

Orientador: Professor Dr Álvaro Antônio Ochoa Villa.

Coorientador: Kívio Alessandro Ferraz

1. Engenharia Mecânica-. 2. Câmaras frigoríficas.. 3. Dimensionamento e seleção de
equipamentos. 4. MATLAB. I. VILLA, Álvaro Antônio Ochoa (orientador).
II. FERRAZ, Alessandro Ferraz. III. Instituto Federal de Pernambuco. IV. Título.

CDD 532 (21ed.)

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DA CARGA
TÉRMICA E SELEÇÃO DAS UNIDADES CONDENSADORA E EVAPORADORA:
SISTEMAS FRIGORÍFICOS DE PEQUENO PORTE**

Trabalho aprovado. Recife, 27/11/2023.

Prof. Alvaro Antonio Ochoa Villa
Professor Orientador

Prof. Kilvio Alessandro Ferraz
Professor Coorientador

Prof. José Ângelo Peixoto da Costa
Avaliador Interno

Prof. Luciano Torres Prestrelo
Avaliador Externo

Recife

2023

Em memória ao meu amigo, Gabriel de Santana Santos, que esteve presente comigo e com toda a turma durante toda a graduação e sempre foi um grande parceiro na faculdade e na vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, porque sem Ele não somos nada. Tudo para Ele e por Ele.

Ao meu pai, Wallace Carneiro de Lima, que, com muito apoio, dedicação e esforço, me proporcionou todo suporte necessário para que eu chegasse até esse momento.

À minha mãe, Cristina Ramos de Souza Lima, que sempre esteve comigo nos momentos bons e ruins, me apoiando e aconselhando para que eu pudesse tomar as melhores decisões, utilizando a razão e sabedoria. Meu objetivo é retribuir tudo que meus pais fizeram por mim durante toda a minha vida.

À minha avó, Maria Severina, com sua experiência, sempre me ajudou e me aconselhou, me mostrando os caminhos corretos por onde eu deveria seguir.

A todos os meus familiares, que fizeram parte de todo meu processo e são muito importantes para minha vida.

À minha noiva, Aline Brilhante, por ser minha melhor amiga e companheira em todos os momentos da minha vida.

Aos meus sogros, Moisés Cosmo e Josenilda Brilhante, que sempre estiveram ao meu lado, repassando suas experiências e vivências de vida.

Ao meu orientador, Alvaro Ochoa, pela confiança depositada em mim como orientando durante mais de três anos, com projetos de pesquisa, iniciação científica, disciplinas durante o curso e finalizando com o trabalho de conclusão do curso, sempre repassando seus conhecimentos e experiências, e, além de ser um grande amigo, muitas vezes o vejo como um pai, pela forma como me apoiou e me aconselhou durante toda a graduação e também como pesquisador.

Ao meu coorientador, Kilvio Alessandro, pelos ensinamentos e experiências repassadas, me proporcionando oportunidades de aprimorar meus conhecimentos na área de refrigeração e climatização.

A todos os professores da graduação de Engenharia Mecânica do IFPE, pelos ensinamentos e pela dedicação, pelo apoio, pelos conselhos e pelas oportunidades acadêmicas e profissionais conquistadas.

A todos os meus amigos de curso e de turma, que estiveram ao meu lado durante a jornada da graduação, fornecendo muito apoio e parceria.

Ao Instituto Federal de Pernambuco, pelo acolhimento desde o início, pela recepção, oportunidade e estrutura fornecidas para aprimorar nossos conhecimentos e técnicas durante toda a graduação.

“Não se deve ir atrás de objetivos fáceis, é preciso buscar o que só pode ser alcançado por meio dos maiores esforços.”

Albert Einstein

RESUMO

As câmaras frigoríficas são utilizadas, em empresas comerciais e industriais, como um dos principais compartimentos refrigerados que possuem a capacidade de armazenamento e conservação de produtos, como: carnes, peixes, verduras, frutas e variedades. Desta forma, o objetivo deste trabalho é realizar o desenvolvimento de um programa para dimensionamento da carga térmica e seleção das unidades condensadora e evaporadora para sistemas frigoríficos de pequeno porte, utilizando a plataforma MATLAB como suporte para a implementação do algoritmo. A pesquisa foi desenvolvida através da determinação da carga térmica total diária de câmaras frigoríficas por meio do cálculo das parcelas de calor, dimensionando a carga térmica e, assim, selecionando as unidades condensadora e evaporadora. O modelo numérico desenvolvido permite selecionar esses equipamentos em função do tipo de câmara frigorífica, sendo de congelados ou resfriados, tipo de isolamento, tipo de produto, entre outros parâmetros. Uma análise comparativa foi realizada para verificar o modelo numérico desenvolvido, testando cenários diferentes, como: produtos a armazenar, tempo de degelo, fator de segurança e valor percentual da potência dos motores. Com relação aos produtos utilizados para realização das análises, foram escolhidos, aleatoriamente, três tipos de produtos com categorias diferentes, sendo eles: leite, bacalhau e aves. Dentre os parâmetros analisados, o tempo de degelo é essencial no método operacional da câmara frigorífica. A partir dos resultados encontrados para a carga térmica total, com tempos de degelo de 2h e 6h, foi obtido um percentual de aumento para a carga térmica total de aproximadamente 22%. Por fim, os resultados obtidos evidenciaram a eficiência do programa, que pode ser utilizado em pesquisas e trabalhos na área de refrigeração e climatização.

Palavras-chave: Câmaras frigoríficas; dimensionamento e seleção de equipamentos; MATLAB.

ABSTRACT

Cold rooms are used, in commercial and industrial companies, as one of the main refrigerated compartments that have the capacity to store and preserve products, such as: meat, fish, vegetables, fruits and varieties. Therefore, the objective of this work is to develop a program for sizing the thermal load and selecting condenser and evaporator units for small refrigeration systems, using the MATLAB platform as support for implementing the algorithm. The research was developed by determining the total daily thermal load of cold rooms by calculating the heat portions, sizing the thermal load and, thus, selecting the condenser and evaporator units. The numerical model developed allows the selection of this equipment depending on the type of refrigeration chamber, whether frozen or chilled, type of insulation, type of product, among other parameters. A comparative analysis was carried out to verify the numerical model developed, testing different scenarios, such as: products to be stored, defrosting time, safety factor and percentage value of engine power. Regarding the products used to carry out the analyses, three types of products with different categories were randomly chosen, namely: milk, cod and poultry. Among the parameters analyzed, defrosting time is essential in the operational method of the cold room. From the results found for the total thermal load, with defrosting times of 2h and 6h, a percentage increase in the total thermal load of 22% was obtained approximately. Finally, the results obtained highlighted the efficiency of the program, which can be used in research and work in the area of refrigeration and air conditioning.

Keywords: Cold rooms; equipment sizing and selection; MATLAB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais parcelas de calor para realizar o cálculo de carga térmica em câmaras frigoríficas de congelados e resfriados	25
Figura 2 - Representação de uma câmara frigorífica em alvenaria	26
Figura 3 - Representação de uma câmara frigorífica pré-moldada ou modular	27
Figura 4 - Painel frigorífico isotérmico	28
Figura 5 - Porta frigorífica giratória.....	29
Figura 6 - Válvula de expansão termostática	31
Figura 7 - Válvula de expansão eletrônica da linha valex	32
Figura 8 - Controlador Full Gauge TC900E Power	33
Figura 9 - Válvula solenoide da empresa Elgin	33
Figura 10 - Visor de líquido	34
Figura 11 - Filtro secador da empresa Danfoss.....	35
Figura 12 - Pressostato da empresa Danfoss	35
Figura 13 - Tubulação da unidade evaporadora.....	36
Figura 14 - Representação do comportamento do fluxo de ar da cortina à entrada da câmara, em função da velocidade e direção do fluxo adotado	37
Figura 15 - Prateleiras na parte interna de uma câmara frigorífica	38
Figura 16 - Esquema representativo de uma câmara frigorífica	40
Figura 17 - Gráfico do calor devido a motores internos	50
Figura 18 - Principais componentes para uma unidade condensadora	56
Figura 19 - Fluxograma geral de desenvolvimento do programa no MATLAB.....	63
Figura 20 - Menu para escolha do tipo de material isolante	65
Figura 21 - Fluxograma para determinar a carga térmica de transmissão de calor ..	66
Figura 22 - Menu para selecionar a temperatura externa	67
Figura 23 - Menu para a escolha do tipo de produto	68
Figura 24 - Menu para selecionar o produto desejado	69
Figura 25 - Menu para selecionar o uso intenso ou não intenso	70
Figura 26 - Fluxograma para determinar a carga térmica de infiltração de calor	71
Figura 27 - Menu para selecionar a massa ou a densidade	72
Figura 28 - Menu para seleção da densidade	73
Figura 29 - Fluxograma para determinar a carga térmica dos produtos	74
Figura 30 - Fluxograma para determinar a carga térmica de ocupação	75
Figura 31 - Fluxograma para determinar a carga térmica de iluminação	76
Figura 32 - Fluxograma para determinar a carga térmica devido aos motores	77
Figura 33 - Menu para selecionar o tipo de embalagem.....	78
Figura 34 - Fluxograma para determinar a carga térmica de embalagem	78
Figura 35 - Fluxograma para determinar o dimensionamento da carga térmica	79
Figura 36 - Fluxograma para realizar a seleção da unidade evaporadora	81
Figura 37 - Menu para selecionar a temperatura ambiente externa	82
Figura 38 - Fluxograma para realizar a seleção da unidade condensadora	83
Figura 39 - Janela de comando do programa desenvolvido para um tempo de degelo de 2h utilizando aves como produto	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de dispersão das paredes da câmara	42
Tabela 2 - Troca de ar/24h por abertura de porta e infiltração.....	44
Tabela 3 - Calor para resfriar o ar externo até a temperatura da câmara	44
Tabela 4A - Dados de carnes e derivados	47
Tabela 5 - Carga de ocupação.....	48
Tabela 6 - Calores específicos e tipos de embalagem	51
Tabela 7 - Densidade dos produtos	53
Tabela 8 - Capacidade na temperatura de evaporação para realizar a seleção da unidade condensadora.....	58
Tabela 9 - Capacidade para realizar a seleção da unidade evaporadora	59
Tabela 10 - Potência consumida dos motores e das resistências	60
Tabela 11 - Resultados da comparação dos trabalhos e verificação de desenvolvimento do programa utilizando o peixe como produto	85
Tabela 12 - Resultados da comparação dos trabalhos e verificação de desenvolvimento do programa utilizando o limão como produto	86
Tabela 13 - Resultados da comparação dos trabalhos e verificação de desenvolvimento do programa utilizando a carne bovina como produto	87
Tabela 14 - Resultados da comparação dos trabalhos e verificação de desenvolvimento do programa utilizando o morango como produto.....	88
Tabela 15 - Resultados da variação de aumento do valor percentual da potência dos motores utilizando leite como produto	90
Tabela 16 - Resultados da variação de aumento do fator de segurança utilizando bacalhau como produto.....	91
Tabela 17 - Resultados da variação de aumento do tempo de degelo utilizando aves como produto	92
Tabela 18 - Resultados para o percentual de aumento da carga térmica total a partir da variação de aumento do tempo de degelo	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CC – Capacidade de refrigeração

CEAGESP – Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo

CV – Cavalo-vapor

DTI – Diferencial de temperatura

EES – Solucionador de Equações de Engenharia

EPS – Poliestireno expandido

h – Hora

IFPE – Instituto Federal de Pernambuco

kcal – Quilocaloria

kg – Quilograma

kW – Quilowatt

LED – Diodo emissor de luz

mm – Milímetro

m² – Metro Quadrado

m³ – Metro Cúbico

PC – Consumo

PIBEX – Programa Institucional para Concessão de Bolsas de Extensão

PID – Controlador proporcional, integral e derivativo

PUR – Espuma rígida de poliuretano

RU – Restaurante universitário

STFMI – Grupo de pesquisa Sistemas termo-fluido-mecânicos inteligentes

TCC – Trabalho de conclusão de curso

W – Watt

°C – Grau centígrado

% – Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	15
1.2 Motivação	16
1.3 Grupo de pesquisa	16
1.4 Objetivos	16
1.4.1 <i>Objetivo Geral</i>	16
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	17
2 ESTADO DA ARTE	18
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
3.1 Introdução às câmaras frigoríficas	24
3.2 Tipos de câmaras frigoríficas	25
3.2.1 <i>Câmaras frigoríficas em alvenaria</i>	25
3.2.2 <i>Câmaras frigoríficas pré-moldadas ou modulares</i>	26
3.3 Componentes e equipamentos de uma câmara frigorífica	27
3.3.1 <i>Módulo frigorífico</i>	27
3.3.2 <i>Porta frigorífica</i>	28
3.3.3 <i>Equipamentos de refrigeração</i>	30
3.3.3.1 Válvula de expansão termostática	30
3.3.3.2 Válvula de expansão eletrônica	31
3.3.3.3 Controlador	32
3.3.3.4 Válvula solenoide	33
3.3.3.5 Visor de líquido	34
3.3.3.6 Filtro secador	34
3.3.3.7 Pressostatos	35
3.3.3.8 Tubulações	36
3.4 Acessórios	37
3.4.1 <i>Cortinas de ar e prateleiras</i>	37
4 METODOLOGIA	39
4.1 Cálculo da carga térmica total de uma câmara frigorífica	39
4.1.1 <i>Carga térmica de transmissão de calor</i>	39
4.1.2 <i>Carga térmica para infiltração de calor</i>	43

4.1.3 Carga térmica para calor dos produtos	45
4.1.4 Carga térmica de ocupação	47
4.1.5 Carga térmica de iluminação	48
4.1.6 Carga térmica devido aos motores	49
4.1.7 Carga térmica de embalagem	50
4.1.8 Valor máximo dos produtos na câmara frigorífica	51
4.1.9 Valor rotativo diário na câmara frigorífica	54
4.1.10 Carga térmica total diária	54
4.1.11 Dimensionamento da carga térmica: capacidade de equipamento requerido e carga térmica total	54
4.2 Tempo de degelo	55
4.3 Seleção das unidades condensadora e evaporadora	56
4.3.1 Seleção da unidade condensadora	56
4.3.2 Seleção da unidade evaporadora	58
5 FORMULAÇÃO NUMÉRICA DO PROGRAMA	63
5.1 Digitalização das tabelas de dados em formato matricial	64
5.2 Cálculo da carga térmica de transmissão de calor	64
5.3 Cálculo da carga térmica de infiltração de calor	66
5.4 Cálculo da carga térmica dos produtos	71
5.5 Cálculo da carga térmica de ocupação	75
5.6 Cálculo da carga térmica de iluminação	76
5.7 Cálculo da carga térmica devido aos motores	76
5.8 Cálculo da carga térmica de embalagem	77
5.9 Cálculo do dimensionamento da carga térmica	79
5.10 Seleção da unidade evaporadora	80
5.11 Seleção da unidade condensadora	82
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	84
6.1 Verificação do programa desenvolvido	84
6.1.1 Verificação do programa para câmaras frigoríficas de congelados	84
6.1.2 Verificação do programa para câmaras frigoríficas de resfriados	86
6.2 Análise de cenários	88
6.2.1 Resultados obtidos para câmaras frigoríficas de resfriados utilizando o leite como produto	89

6.2.1.1 Variação de aumento do valor percentual da potência dos motores utilizando o leite como produto	89
6.2.2 Resultados obtidos para câmaras frigoríficas de congelados utilizando o bacalhau como produto	90
6.2.2.1 Variação de aumento do fator de segurança utilizando o bacalhau como produto	91
6.2.3 Resultados obtidos para câmaras frigoríficas de congelados utilizando aves como produto	91
6.2.3.1 Variação de aumento do tempo de degelo utilizando aves como produto	92
6.3 Considerações críticas dos resultados	93
6.3.1 Influência da variação de aumento do tempo de degelo	94
7 CONCLUSÕES	95
REFERÊNCIAS	97
APÊNDICE A – Certificado de Registro de Programa de Computador	102
ANEXO A - DADOS DE PRODUTOS: FRUTAS	103
ANEXO B - DADOS DE PRODUTOS: PEIXES	104
ANEXO C - DADOS DE PRODUTOS: VARIEDADES	104
ANEXO D - DADOS DE PRODUTOS: VERDURAS E LEGUMES	105

1 INTRODUÇÃO

As câmaras frigoríficas são instalações ou áreas de armazenamento refrigeradas, com isolamento térmico em seu interior para que as condições de temperatura e umidade sejam mantidas adequadamente, onde o principal objetivo é a conservação dos alimentos. Para manter essas condições, são utilizados sistemas de aquecimento e umidificação, juntamente com uma unidade de refrigeração. Com relação ao projeto de uma câmara frigorífica, é necessário calcular as parcelas de calor e realizar o dimensionamento da carga térmica, em que alguns parâmetros são essenciais para desenvolvimento desses cálculos, como: tempo de operação; tipo do produto; temperatura interna; temperatura externa; número de pessoas; dimensões da câmara frigorífica, entre outros (SILVA, 2014).

Para desenvolver os cálculos de um projeto de câmara frigorífica, de congelados e resfriados, é necessário realizar o dimensionamento da carga térmica, a partir das sete parcelas de calores: transmissão de calor; infiltração de calor; calor dos produtos; carga de ocupação; carga de iluminação; carga devido aos motores e carga de embalagem. Encontrando a carga térmica total, é possível selecionar as unidades condensadora e evaporadora. A utilização de catálogos e manuais para coleta de dados é primordial para a seleção desses equipamentos.

Para automatizar os cálculos do dimensionamento da carga térmica e seleção das unidades condensadora e evaporadora, será desenvolvido e implementado um modelo numérico, na plataforma MATLAB, para determinar a carga térmica total e, assim, selecionar os principais equipamentos.

1.1 Justificativa

Com relação à conservação de alimentos, as câmaras frigoríficas são fundamentais para um melhor armazenamento de produtos, sendo utilizadas em todo o mundo. Em geral, para redes de supermercados e estabelecimentos comerciais de mesmo seguimento, sua aplicação é indispensável para estocar os diversos alimentos de origem animal e vegetal, visto que existe uma ligação direta na cadeia do frio, e, portanto, é necessário a conservação dos produtos através das câmaras frigoríficas.

1.2 Motivação

Os estudos em relação às câmaras frigoríficas são explorados em todo o mundo, principalmente em empresas que atuam no âmbito comercial e industrial na área de refrigeração e climatização. Mesmo com a existência de empresas que possuem softwares próprios que realizem os cálculos de dimensionamento de carga térmica e selecionamento das unidades condensadora e evaporadora, foi desenvolvido um programa, na plataforma MATLAB. Com a implementação desse algoritmo, é possível inserir a quantidade desejada de dados, de catálogos e manuais de diferentes empresas, sem quaisquer limitações. Com isso, é possível realizar, nesse programa, diversos testes para sistemas frigoríficos de pequeno porte.

1.3 Grupo de pesquisa

Todas as atividades realizadas para este trabalho foram desenvolvidas em conjunto com o grupo de pesquisa Sistemas termo-fluido-mecânicos inteligentes (STFMI) da coordenação de Refrigeração e Climatização do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, no Bloco F, *campus* Recife. Esse grupo vem desenvolvendo vários trabalhos nesta área de refrigeração comercial, desde comparação de dispositivos de expansão visando a eficiência energética (Franco *et al.*, 2019), ou analisando experimentalmente as demandas e consumos elétricos de câmaras frigoríficas de mercados públicos, através da verificação do superaquecimento, e os valores elétricos de potência ativa, temperatura e consumo elétrico do sistema em carga total e parcial (Alves *et al.*, 2020), assim como a otimização de válvulas eletrônicas para atingir melhores valores de eficiência em função da abertura e superaquecimento do sistema de refrigeração através da utilização do controle PID (Franco *et al.*, 2022).

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo Geral*

O objetivo deste trabalho é realizar o desenvolvimento de um programa para dimensionamento da carga térmica e seleção das unidades condensadora e

evaporadora para sistemas frigoríficos de pequeno porte, especificamente câmaras frigoríficas.

1.4.2 *Objetivos Específicos*

- Realizar o levantamento do estado da arte sobre as câmaras frigoríficas, seus componentes, equipamentos e acessórios;
- Formulação de um modelo matemático para determinação da carga térmica e seleção das unidades condensadora e evaporadora para câmaras frigoríficas de pequeno porte;
- Desenvolvimento de um programa de análise de carga térmica e seleção de equipamentos utilizando a plataforma MATLAB;
- Análise e simulação de casos de estudos de carga térmica em câmaras frigoríficas reais;
- Elaboração de artigos científicos e material de propriedade intelectual.

2 ESTADO DA ARTE

Esta seção tem como objetivo abordar os trabalhos referentes as câmaras frigoríficas, sua importância e aplicação, visto que os estudos sobre os sistemas frigoríficos são desenvolvidos em todo o mundo.

Rosa (2000) elaborou uma dissertação para desenvolver uma ferramenta para os estudantes de refrigeração, com objetivo de realizar o dimensionamento de câmaras frigoríficas, denominado de sistema FRIGOFACIL. A utilização desta ferramenta proporciona o crescimento e aprendizado do aluno, buscando aprimoramento nas seguintes etapas: projeto, instalação, operação e manutenção de câmaras frigoríficas. Entre as conclusões obtidas, pode ser destacado:

- Com a implementação do sistema FRIGOFACIL, a disciplina de desenho da refrigeração tornou-se mais prática e interessante para o estudante, visto que o formato tradicional da matéria possui uma dificuldade maior por conta da grande quantidade existente de dados;
- A implementação de ferramentas computacionais nas escolas é essencial para a evolução e o aprendizado dos estudantes, tornando-se mais proativos.

Sousa, Faria e Neves (2003) realizaram a avaliação da temperatura de balcões e câmaras frias de armazenamento de queijos e embutidos em dois supermercados da cidade de Belém, no estado do Pará. Os resultados obtidos demonstram que:

- As temperaturas das câmaras frias estão dentro do padrão em ambos os supermercados, exceto nas temperaturas dos balcões refrigerados, onde possuem valores maiores que a temperatura máxima permitida de 10°C, inviabilizando a venda dos produtos analisados. Com isso, foi possível concluir que é necessário melhorar a inspeção dos balcões refrigerados, para que os queijos e embutidos possam ser mantidos em qualidade adequada para que possa ser realizada a comercialização de forma adequada;
- Com relação às temperaturas acima da faixa máxima permitida, foram observados pontos críticos tanto na parte inferior do balcão refrigerado interno como nas extremidades do balcão refrigerado externo.

Ferreira Neto *et al.* (2006) elaboraram um estudo com objetivo de realizar uma avaliação nas câmaras frias utilizadas para o armazenamento de frutas e hortaliças no entreposto terminal de São Paulo (CEAGESP). Entre as conclusões obtidas, pode ser destacado:

- Uma grande parcela das câmaras frias analisadas não estavam ideais com relação às condições de temperatura de armazenamento dos produtos. Com isso, os produtos podem perder a qualidade ao longo do tempo, como também ocasionar um custo de energia elevado por conta da utilização inadequada dos equipamentos frigoríficos;
- Com relação aos acessórios das câmaras frias, foi observado que as instalações das cortinas estavam inapropriadas. Com a instalação realizada de forma correta, é possível reduzir a troca do fluxo de ar na parte interna da câmara fria, e conseqüentemente, diminuir o consumo de energia elétrica. Como uma solução, foi considerada a possibilidade de realizar uma manutenção preventiva para um melhor desempenho dos equipamentos frigoríficos.

Pereira *et al.* (2010) elaboraram um trabalho com objetivo de realizar uma avaliação das temperaturas de câmaras frigoríficas de transporte urbano de alimentos congelados e resfriados enquanto os produtos são entregues e assim desenvolver o estudo da influência da abertura das portas da câmara frigorífica a partir da modificação da temperatura interna do ambiente refrigerado. Entre as conclusões obtidas, pode ser destacado:

- Foi observado que a temperatura interna da câmara frigorífica estava elevada, acima dos valores de *setpoint*, que pode ser explicado por conta da abertura das portas nas entregas dos produtos. Na câmara frigorífica de resfriados, a temperatura estava acima de 14°C. Já na câmara frigorífica de congelados, a temperatura atingiu um valor de -18°C, chegando todos os dias à valores de temperatura maiores do que 7°C. Também foi observado que a câmara frigorífica de resfriados representa uma antecâmara para a câmara frigorífica de congelados;

- Foram observados pontos críticos no aumento da temperatura interna a partir do instante em que os produtos eram descarregados do caminhão, que permanecia ligado e com o motor parado;
- Na superfície externa do piso da câmara frigorífica foram observadas as temperaturas mais elevadas, a partir do instante em que o caminhão trafegava na rodovia.

Couto *et al.* (2016) elaboraram um trabalho direcionado ao estudo das câmaras frigoríficas de um restaurante universitário (RU) da Universidade Federal de Uberlândia, operando com câmaras frigoríficas de congelados e resfriados. Entre as conclusões obtidas, pode ser destacado:

- A câmara frigorífica modular é mais adequada para desenvolver um projeto para o restaurante universitário, visto que a demanda do estabelecimento é alterada por semestre;
- As câmaras frigoríficas que estão no restaurante universitário não estão sendo utilizadas de forma adequada, visto que o consumo de energia elétrica é elevado por conta do uso incompleto do espaço interno da câmara;
- Foi desenvolvido um projeto para instalação de uma nova câmara frigorífica, juntamente com o custo necessário para a implementação no espaço que atende às necessidades do estabelecimento, a partir da demanda de utilização e do consumo, onde os serviços atuais do restaurante universitário são realizados de forma terceirizada.

Costa (2018) realizou uma avaliação de um sistema de refrigeração industrial para obter uma estimativa de carga térmica e de capacidade frigorífica. Entre as conclusões obtidas, pode ser destacado:

- Foram observadas variações na temperatura da câmara fria e na antecâmara por conta das condições utilizadas na operação e na manutenção. Mesmo assim, foi observado que a demanda de produção foi atendida, funcionando com metade da ocupação total, exceto para o túnel de resfriamento;

- Com relação ao túnel de resfriamento, considera-se utilizar um sistema com capacidade frigorífica mínima de 66,6 kW;
- Para o sistema de refrigeração industrial, foi observada uma faixa de trabalho maior na antecâmara, de 8°C à 14°C.

Nhamirre (2018) elaborou uma dissertação para realizar o dimensionamento de câmaras frigoríficas para conservação de atum em Moçambique, onde foram considerados os dados meteorológicos da cidade de Maputo. Porém, o projeto pode ser utilizado em outras províncias de Moçambique que possuem características semelhantes. É considerada uma grande quantidade de produto para uma frota em atividade, que possui um valor estimativo de 2/3 do total, representando 22 embarcações. Entre as conclusões obtidas, pode ser destacado:

- Foram utilizadas duas metodologias: realização de cálculos analíticos utilizando o Excel; uso do simulador da Centauro para determinar a carga térmica de instalação a partir da seleção dos equipamentos frigoríficos. Foi obtido um resultado para um desvio em torno de 9,5%, realizando uma comparação entre os valores obtidos nos cálculos analíticos e nos encontrados no software. A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que o desvio é considerado pequeno por conta da diferença dos dados utilizados para o calor específico do atum e da diferença de parâmetros usados nos cálculos do software;
- O trabalho não utiliza o dimensionamento de forma completa, realizando apenas a seleção dos equipamentos frigoríficos, da válvula de expansão eletrônica e da quantidade de paletes.

Severino *et al.* (2018) elaboraram um trabalho para desenvolver um projeto de câmara frigorífica para calcular a carga térmica com objetivo de armazenar 1200kg de carne bovina (carcaças) em uma rede de supermercado na cidade de Londrina, no estado do Paraná. Entre as conclusões obtidas, pode ser destacado:

- Com relação a carga térmica total e a unidade evaporadora, foi observada uma diferença acima de 60% de carga térmica total. Com isso, não foi possível realizar o selecionamento do equipamento frigorífico;
- Foi observada uma diminuição acima de 30% da carga térmica de iluminação por conta do acesso a parte interna da câmara frigorífica ser menor;
- O equipamento frigorífico que estava instalado está subdimensionado. Ou seja, pode ocasionar problemas no sistema frigorífico e, assim, elevar o consumo de energia elétrica da câmara frigorífica.

Campos (2021) elaborou um estudo sobre a conservação de alimentos por refrigeração, para realizar uma revisão e uma proposta de dimensionamento de uma câmara de armazenamento para massa de pão congelada. Entre as conclusões obtidas, pode ser destacado:

- É necessário realizar a manutenção e controle das condições de temperatura e umidade, para um melhor desempenho da câmara no armazenamento da massa de pão congelada;
- No dimensionamento da câmara frigorífica, foi desenvolvido o cálculo da carga térmica e realizada a seleção dos equipamentos do sistema frigorífico, mantendo as condições de temperatura e umidade dentro do padrão.

Ferreira (2021) realizou a análise do dimensionamento de câmaras frigoríficas de uma distribuidora de bebidas com relação à demanda de utilização, realizando uma verificação no projeto das câmaras frias do estabelecimento e analisando se os equipamentos estavam dimensionados de forma correta para a demanda que é utilizada atualmente. Entre as conclusões obtidas, pode ser destacado:

- Foi verificado que os evaporadores de duas câmaras do estudo estão subdimensionados. Sendo assim, foram sugeridos novos equipamentos, para que a demanda de utilização de bebidas seja atendida de forma adequada;
- Para a outra câmara, foi possível observar que o software utilizado não é uma ferramenta adequada para ser implementada no cálculo da carga térmica, visto que a opção do produto é inexistente, como também não existe nenhum outro

produto semelhante para que possa ser feita uma comparação, o que pode ocasionar um erro discrepante nos resultados obtidos, realizando assim uma seleção de equipamentos inadequada, gerando um subdimensionamento da câmara fria como um todo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

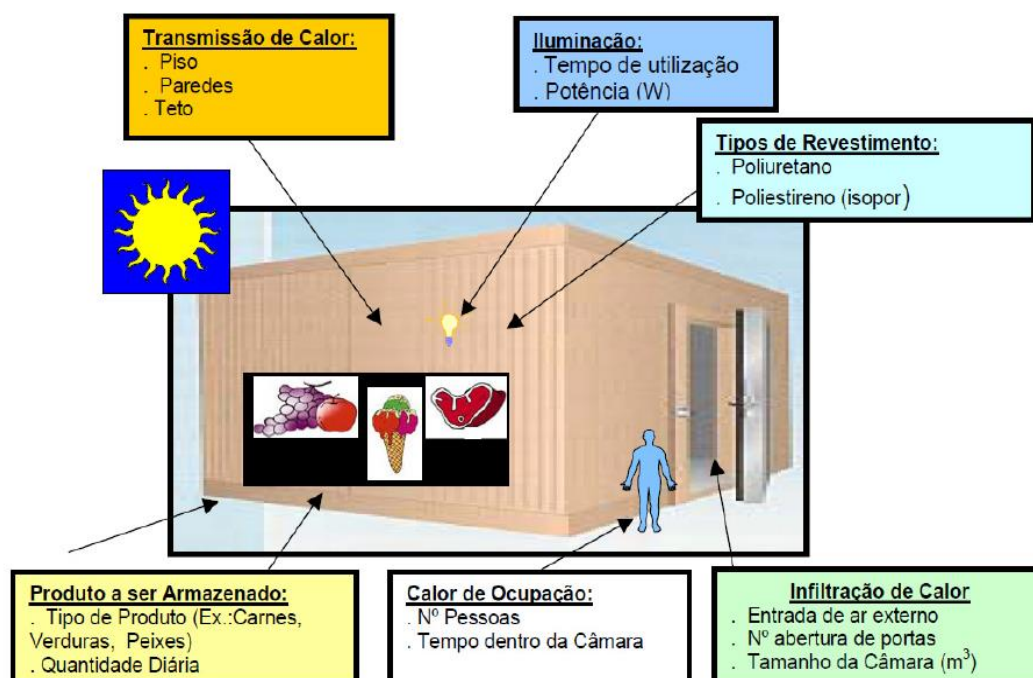
Para o desenvolvimento deste trabalho é importante realizar uma revisão bibliográfica sobre as câmaras frigoríficas, estudando os tipos, os componentes e equipamentos predominantes.

3.1 Introdução às câmaras frigoríficas

As câmaras frigoríficas são áreas de armazenamento que necessitam de condições internas adequadas, sendo monitoradas por um sistema de refrigeração. Basicamente, existem dois tipos de câmaras frigoríficas: congelados e resfriados. A câmara frigorífica de congelados tem o objetivo de armazenar os produtos em baixas temperaturas, geralmente com valores de -20°C a -30°C . Já a câmara frigorífica de resfriados tem o objetivo de armazenar os produtos com temperaturas em torno de 0°C . Para desenvolver um projeto de uma câmara frigorífica, é importante considerar os seguintes fatores: capacidade interna do compartimento refrigerado para realização do armazenamento; locais para recebimento e saída de produtos; ambiente adequado para operação no interior da câmara frigorífica. Sendo a câmara frigorífica de congelados ou resfriados, é necessário que a temperatura interna esteja abaixo da temperatura externa, para impedir que o funcionamento do sistema frigorífico seja prejudicado, a partir do método de operação e construção do projeto da câmara frigorífica (CHAGAS, 2023).

Na Figura 1 estão mostradas as principais parcelas de calor para realizar o cálculo da carga térmica em uma câmara frigorífica de congelados e resfriados.

Figura 1 - Principais parcelas de calor para realizar o cálculo de carga térmica em câmaras frigoríficas de congelados e resfriados



Fonte: SILVA (2014)

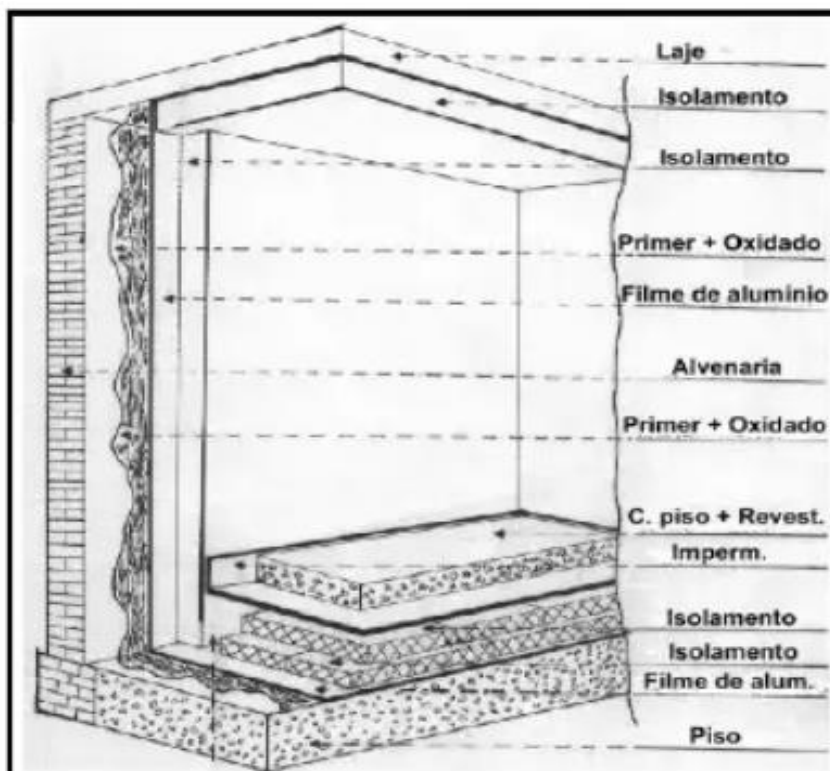
3.2 Tipos de câmaras frigoríficas

3.2.1 Câmaras frigoríficas em alvenaria

As câmaras frigoríficas em alvenaria são inspiradas em fundações ou construções convencionais de grandes perímetros, com objetivo de armazenar uma vasta quantidade de produto. Esse tipo de câmara frigorífica possui a necessidade de construção local de operação. No interior dessas câmaras, é possível realizar uma camada de pedras com a utilização de concreto e, assim, construir as bases. As portas frigoríficas das câmaras em alvenaria são isotérmicas e possuem um isolamento próximo ao realizado em paredes. As chapas de ferro, a madeira e o plástico são os principais materiais em que elas são produzidas. A porta de corredeira com acionamento mecânico automático é o tipo de porta frigorífica mais utilizado. Já com relação à proteção, podem ser utilizadas de plástico ou cortinas de ar, principalmente em portas de correr (SALES, 2019).

Na Figura 2 está representada uma câmara frigorífica em alvenaria.

Figura 2 - Representação de uma câmara frigorífica em alvenaria



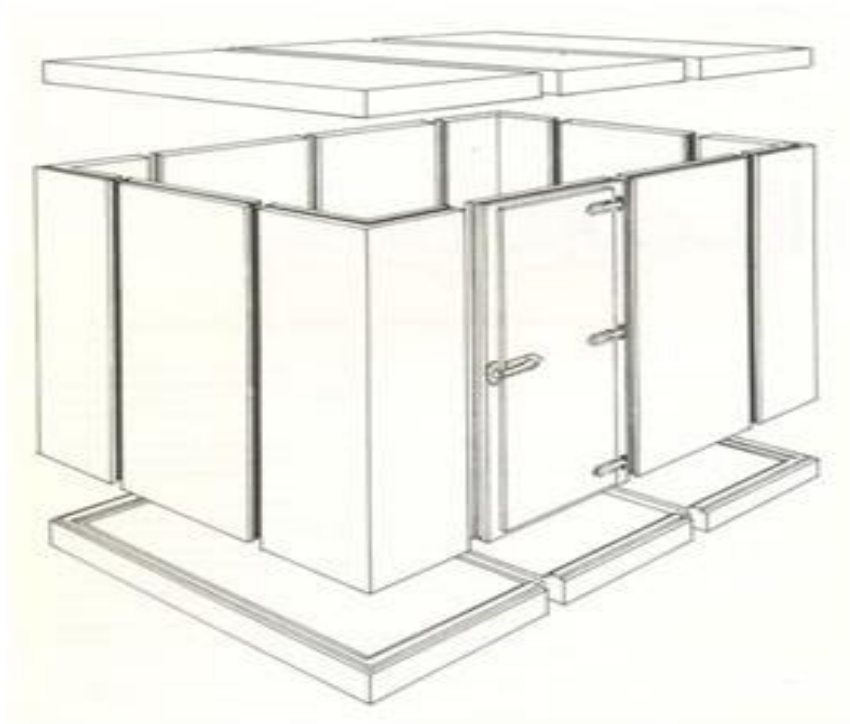
Fonte: TECTERMICA (2023)

3.2.2 Câmaras frigoríficas pré-moldadas ou modulares

As câmaras frigoríficas pré-moldadas ou modulares podem ser pré-montadas de forma separada, realizando a instalação no local de operação. Na atualidade, em comparação com a câmara frigorífica em alvenaria, a câmara frigorífica modular é mais utilizada, além de possuir um menor custo e uma maior facilidade na montagem. Esse tipo de câmara frigorífica tem uma grande aplicação em estabelecimentos comerciais e industriais. Com relação aos componentes, os principais são: fixação e vedação entre painéis; portas giratórias e portas de correr; controle eletrônico de temperatura na parte externa da câmara; iluminação interna de LED e cantos arredondados, facilitando a higiene do compartimento refrigerado (SALES, 2019).

Na Figura 3 está representada uma câmara frigorífica pré-moldada ou modular.

Figura 3 - Representação de uma câmara frigorífica pré-moldada ou modular



Fonte: GFRIO (2023)

3.3 Componentes e equipamentos de uma câmara frigorífica

Com relação aos componentes e equipamentos de uma câmara frigorífica, os principais são: módulo frigorífico; porta frigorífica; equipamentos de refrigeração e acessórios. Geralmente os componentes utilizados em uma câmara frigorífica são escolhidos por seleção, principalmente em relação aos produtos alimentícios, seguindo normas criteriosas e regulamentadas. As câmaras frigoríficas modulares são bastante flexíveis e as mais utilizadas no mercado para pequeno e médio porte, por proporcionarem uma facilidade na expansão e na locomoção de seus componentes e equipamentos. O painel frigorífico modular é o principal componente solicitado para câmaras frigoríficas pré-moldadas ou modulares (VILAIN, 2018).

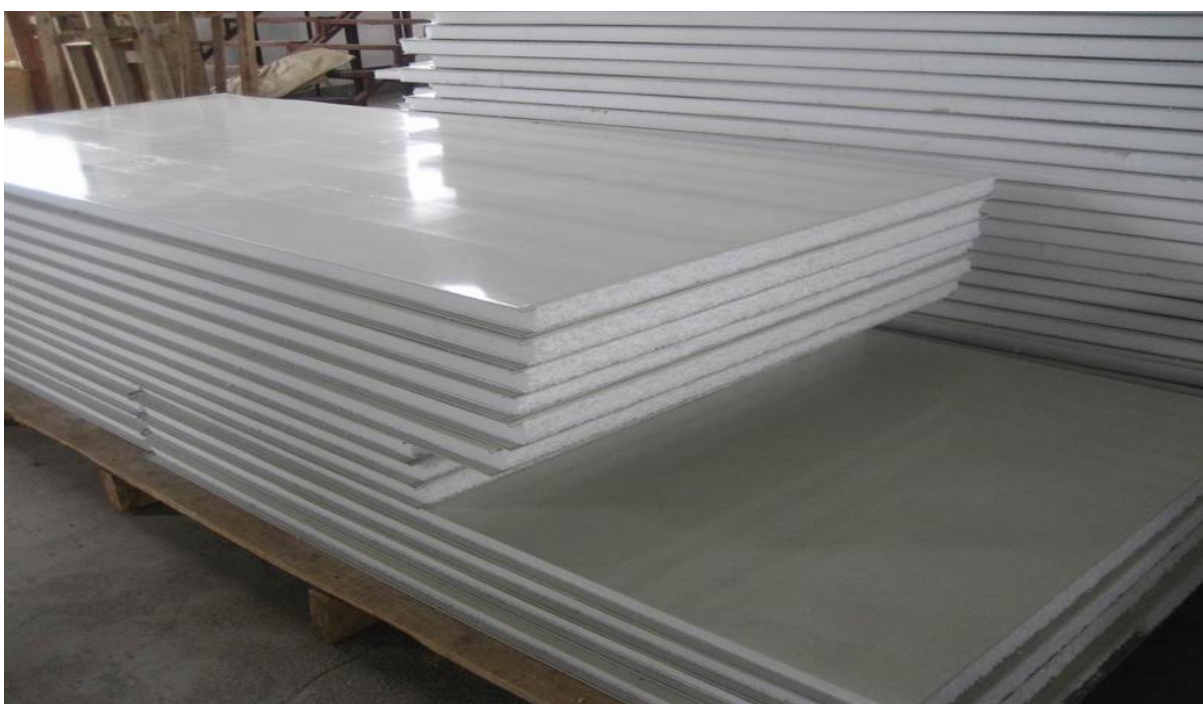
3.3.1 Módulo frigorífico

Com relação ao módulo frigorífico, os principais tipos de paredes das câmaras frigoríficas modulares são: poliuretano e poliestireno. Geralmente os painéis frigoríficos são revestidos com chapas de aço galvanizado com espessura de 50mm

e são previamente pintados com a cor branca. Os materiais dos painéis frigoríficos podem ser produzidos de outros tipos de revestimentos, dependendo da demanda solicitada. Já com relação aos tipos de isolamentos térmicos, os dois mais usuais são: poliestireno expandido (EPS) e espuma rígida de poliuretano (PUR). Para realizar o selecionamento dos painéis frigoríficos é necessário utilizar as tabelas com seleção de espessura, que possuem uma variação em relação à qualidade dos produtos dependendo do fabricante escolhido, mesmo que os dados fornecidos de transmissão térmica sejam próximos (VILAIN, 2018).

Na Figura 4 está mostrado um painel frigorífico isotérmico.

Figura 4 - Painel frigorífico isotérmico



Fonte: ZANOTTI (2023)

3.3.2 Porta frigorífica

Com relação às portas frigoríficas, os principais tipos são: giratória, correr e guilhotina. As portas frigoríficas possuem uma grande importância na funcionalidade e no desempenho adequado do tipo de câmara frigorífica, pela eficiência no isolamento térmico e na durabilidade do compartimento refrigerado, visto que o fluxo constante de ar externo interfere nas condições internas da câmara frigorífica por conta da má vedação, que acarretará em variações indesejadas da carga térmica

total, ocasionando descontrole nas análises de efetividade, aumentando os custos de energia elétrica da câmara frigorífica. O aço galvanizado é o material mais utilizado para revestimento da porta frigorífica por conta da facilidade na pintura e do aumento na resistência à oxidação após realização de tratamento térmico. As portas giratórias, que possuem fixação com dobradiças metálicas reforçadas e as portas de correr, que deslizam a partir da instalação de trilhos, são os tipos de portas frigoríficas mais usuais (VILAIN, 2018).

Na Figura 5 está mostrada uma porta frigorífica giratória, localizada na câmara frigorífica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, *campus* Recife, na sala F09, Bloco F.

Figura 5 - Porta frigorífica giratória



Fonte: AUTOR (2023)

3.3.3 Equipamentos de refrigeração

Com relação aos equipamentos de refrigeração, os principais tipos são: *Plug-in*, sendo fixado na lateral da câmara frigorífica; *Split system*, em formato remoto. O *Plug-in* possui um sistema de refrigeração conectado, não necessitando, na instalação, da utilização de carga de gás, de vácuo e da aplicação de soldas. Já o *Split system* é um equipamento de refrigeração que possui, em sua composição, os principais componentes de um sistema frigorífico, onde a seleção pode ser realizada de forma separada ou em conjunto. Os principais componentes que compõem um equipamento de refrigeração são: condensador; evaporador; válvula de expansão termostática; válvula de expansão eletrônica; controlador; válvula solenoide; visor de líquido; filtros secadores; pressostatos e tubulações. Geralmente, para realização da seleção dos equipamentos de refrigeração, é necessário considerar os cálculos da carga térmica, como também a utilização da temperatura de evaporação e da umidade relativa (VILAIN, 2018).

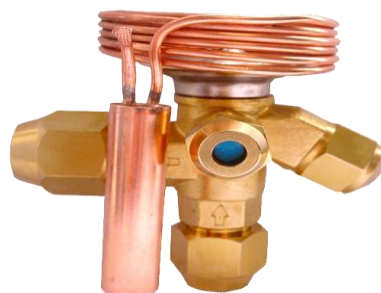
Nos próximos tópicos serão apresentados os componentes e equipamentos de refrigeração, exceto os condensadores e evaporadores, que serão detalhados na metodologia pela importância desses equipamentos para este trabalho.

3.3.3.1 Válvula de expansão termostática

Em câmaras frigoríficas, a válvula de expansão termostática é uma das mais utilizadas e tem como objetivo controlar o quantitativo de fluido refrigerante que é fornecido para o evaporador. A seleção da válvula de expansão termostática é realizada a partir da carga térmica, do tipo de fluido refrigerante de operação e das temperaturas de evaporação e condensação. A utilização de catálogos e manuais é essencial para determinar a capacidade nominal, a partir da escolha das temperaturas de evaporação e condensação de atuação da válvula (VILAIN, 2018).

Na Figura 6 está mostrada uma válvula de expansão termostática.

Figura 6 - Válvula de expansão termostática



Fonte: EMBRAR (2018)

3.3.3.2 Válvula de expansão eletrônica

As válvulas de expansão eletrônica são consideradas as mais eficientes, considerando o controle de fluxo para ajustar o superaquecimento frigorífico do evaporador. Elas possuem uma alta eficiência e precisão, facilitando no manuseio e na instalação, além de economizar o consumo de energia elétrica. Nesse tipo de válvula não é necessário a operação de um profissional da área para realizar o monitoramento ou regular manualmente. No caso da válvula de expansão termostática é essencial esse formato de operação. Em contrapartida, considerando as desvantagens do equipamento, o superaquecimento impacta diretamente no aumento do consumo de energia elétrica do sistema frigorífico, visto que o compressor necessita estar ligado (FRIGELAR, 2022).

Na Figura 7 está mostrada uma válvula de expansão eletrônica da linha valex, da empresa Full Gauge Controls.

Figura 7 - Válvula de expansão eletrônica da linha valex



Fonte: FRIGELAR (2022)

3.3.3.3 Controlador

Em câmaras frigoríficas, o controlador tem a função de realizar a automatização de todo o funcionamento dos equipamentos de refrigeração, além de obter os sinais de entrada dos sensores de temperatura externa e temperatura interna, além da formação de gelo, que determina o acionamento do tempo de degelo e também dos equipamentos de refrigeração, realizando o comando das saídas a partir da forma como o sistema é configurado. Com relação à seleção do controlador, que é geralmente selecionado juntamente com contadores e sensores, o controlador depende dos seguintes fatores: custo do componente; carências no desenvolvimento do projeto; falta de operador para trabalhar no quadro de comando e de um profissional com capacitação para realizar o projeto. Geralmente, a localização do quadro de comando do controlador é na porta de entrada, na parte externa da câmara frigorífica (VILAIN, 2018).

Na Figura 8 está mostrado um controlador Full Gauge TC900E Power.

Figura 8 - Controlador Full Gauge TC900E Power



Fonte: FRIGELAR (2022)

3.3.3.4 Válvula solenoide

A principal função da válvula solenoide é controlar o fluxo do fluido refrigerante pelo sistema frigorífico, sendo comandada pelo controlador. Em relação à seleção do componente, os principais parâmetros são: capacidade, onde os valores são acima do limite, dependendo da linha de líquido instalada, por conta de ser utilizada uma chave simples; diâmetro da linha de líquido, sendo um fator facilitador por conta da baixa dificuldade implementada na seleção (VILAIN, 2018).

Na Figura 9 está mostrada uma válvula solenoide da empresa Elgin.

Figura 9 - Válvula solenoide da empresa Elgin



Fonte: SARDANHA (2023)

3.3.3.5 Visor de líquido

O visor de líquido representa uma parcela do duto, que é destinada para verificar o estado do fluido refrigerante no sistema frigorífico. Com isso, esse componente tem como objetivo analisar as modificações na coloração do fluido refrigerante por conta da presença do indicador de umidade. Caso a visualização indicar uma coloração verde, significa que a umidade está adequada. Já se indicar uma coloração amarela, significa que o sistema está saturado e, com isso, será trocado o filtro secador. Para selecionar o visor de líquido, é necessário analisar o diâmetro da linha de líquido instalado (VILAIN, 2018).

Na Figura 10 está mostrado um visor de líquido.

Figura 10 - Visor de líquido



Fonte: ESCOLA DO HVAC (2020)

3.3.3.6 Filtro secador

A principal função do filtro secador é realizar a filtração da umidade e de elementos sólidos nos sistemas de refrigeração. Em relação à composição do componente, a parte interna é revestida de tela grossa na entrada e tela fina na saída. Entre essas duas telas são inseridos dessecantes, que têm a função de absorver a umidade do sistema frigorífico (VILAIN, 2018).

Na Figura 11 está mostrado um filtro secador da empresa Danfoss.

Figura 11 - Filtro secador da empresa Danfoss



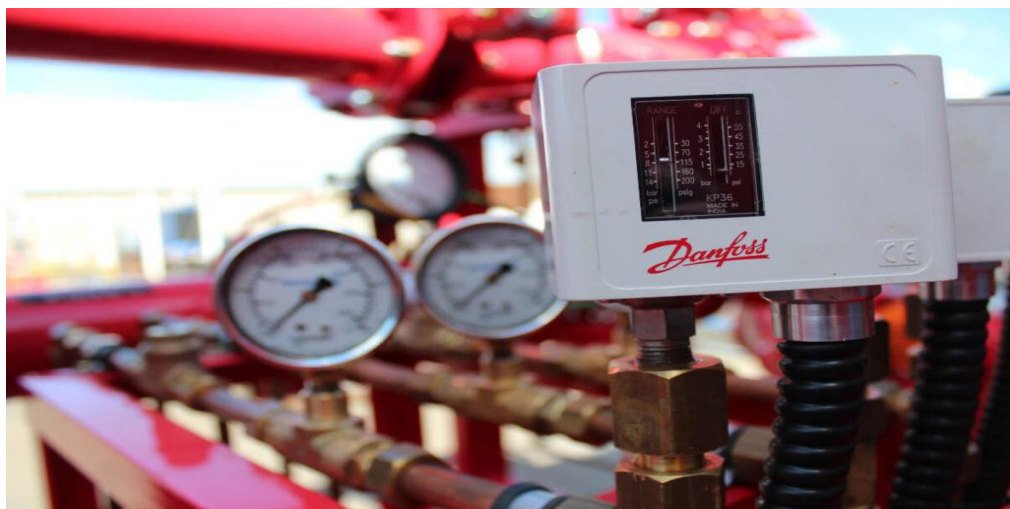
Fonte: SARDANHA (2023)

3.3.3.7 Pressostatos

A principal função do pressostato é proteger os equipamentos industriais e os processos do sistema frigorífico, realizando o controle da pressão para não danificar os equipamentos, podendo atuar como um instrumento de medição. Em relação à localização, o pressostato é interligado aos equipamentos de refrigeração que operam pressurizados, podendo ser manuseado manualmente pelo operador ou atuar automaticamente dependendo do valor elétrico emitido (SANTOS, 2022).

Na Figura 12 está mostrado um pressostato da empresa Danfoss.

Figura 12 - Pressostato da empresa Danfoss



Fonte: SANTOS (2022)

3.3.3.8 Tubulações

Em relação às tubulações dos equipamentos de refrigeração, os principais diâmetros são: linha de líquido ou linha de alta pressão, que representa a entrada do evaporador; linha de vapor ou linha de baixa pressão, que representa a linha de sucção. Em ambos os casos, os diâmetros estão relacionados com a redução da pressão, conhecido como perda de carga, podendo atuar tanto em acessórios como em espaços retos das tubulações. A temperatura de evaporação e a carga térmica são parâmetros que influenciam no dimensionamento da tubulação (VILAIN, 2018).

Na Figura 13 está mostrada a tubulação da unidade evaporadora da câmara frigorífica localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, *campus* Recife, na sala F09, Bloco F.

Figura 13 - Tubulação da unidade evaporadora



Fonte: AUTOR (2023)

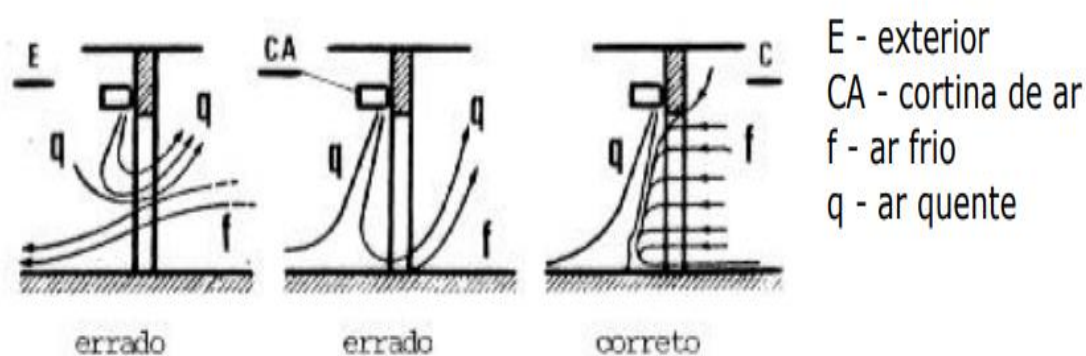
3.4 Acessórios

3.4.1 Cortinas de ar e prateleiras

Uma das funções das cortinas de ar é diminuir a circulação de ar quente e úmido na parte interna da câmara frigorífica, utilizando baixas temperaturas, especificamente no caso de grande fluxo de entrada e saída dos produtos, como também na frequência recorrente da abertura de portas. O objetivo das cortinas de ar, em relação à utilização, é preservar a câmara frigorífica do acréscimo de cargas térmicas indesejadas, interferindo nas condições internas do compartimento refrigerado, causando uma condensação excessiva. Para o sistema frigorífico se tornar eficiente e protegido de interferências externas do ar, é importante, além da utilização de cortinas de ar, que existam os seguintes fatores: distribuição do ar, velocidade e direção do ar (CHAGAS, 2023).

Na Figura 14 está representado o comportamento do fluxo de ar da cortina à entrada da câmara, em função da velocidade e direção do fluxo adotado, onde estão sendo mostrados: fluxos de ar frio, o fluxo de ar quente e cortina de ar.

Figura 14 - Representação do comportamento do fluxo de ar da cortina à entrada da câmara, em função da velocidade e direção do fluxo adotado



Fonte: CHAGAS (2023)

A principal função das prateleiras para câmaras frigoríficas é manter o armazenamento adequado dos produtos, impedindo que os alimentos toquem o piso

do compartimento refrigerado. Com a utilização das prateleiras, é possível melhorar o acesso ao produto, além de manter a parte interna da câmara frigorífica mais organizada (PRATECOM, 2023).

Na Figura 15 estão mostradas prateleiras na parte interna de uma câmara frigorífica, juntamente com uma unidade evaporadora com quatro ventiladores.

Figura 15 - Prateleiras na parte interna de uma câmara frigorífica



Fonte: PASCHOAL (2022)

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho será necessário realizar os estudos sobre o dimensionamento da carga térmica e a seleção das unidades condensadora e evaporadora.

Com relação ao dimensionamento da carga térmica, é necessário calcular as sete parcelas de calor da câmara frigorífica (carga térmica de transmissão de calor, carga térmica de infiltração de calor, carga térmica dos produtos, carga térmica de ocupação, carga térmica de iluminação, carga térmica devido aos motores e carga térmica de embalagem). Realizando o somatório de todas essas parcelas de calor, é possível encontrar o valor da carga térmica total diária, em kcal/dia. Com isso, é calculada a capacidade de equipamento requerido, em kcal/h. Por fim, é possível obter o resultado da carga térmica total, em kcal/h.

Com a determinação do valor da carga térmica total, é possível realizar a seleção das unidades condensadora e evaporadora, utilizando os seguintes parâmetros: temperatura de evaporação; temperatura ambiente externa; diferencial de temperatura; resistência de degelo; quantidade de ventiladores; potência consumida; tempo de degelo, entre outros.

Os estudos foram desenvolvidos no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), localizado na cidade de Recife, Pernambuco (8° 03' 31" S 34° 57' 3" W). Nos próximos tópicos serão apresentados, de forma detalhada, o dimensionamento da carga térmica e a seleção das unidades condensadora e evaporadora.

4.1 Cálculo da carga térmica total de uma câmara frigorífica

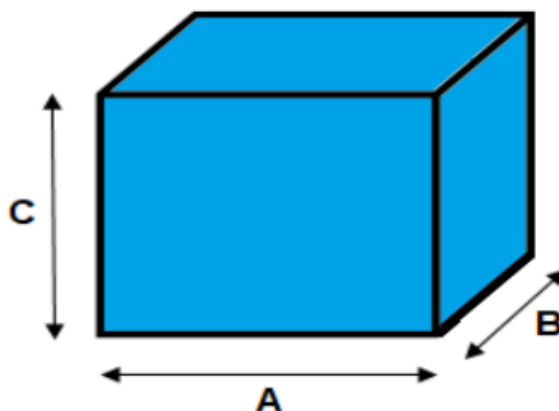
4.1.1 *Carga térmica de transmissão de calor*

Para calcular a carga térmica de transmissão de calor (Q_1), é necessário obter a variação de temperatura, sendo determinada pela diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna, ambas em °C, que acontece por conta do calor que ultrapassa as paredes, o teto e o piso da parte interna do compartimento refrigerado. Com isso, a quantidade de calor do processo depende dos seguintes parâmetros: tipo

de isolamento; espessura; variação de temperatura e dimensões da câmara frigorífica (SILVA, 2014).

Na Figura 16 está mostrado um esquema representativo de uma câmara frigorífica com suas dimensões, sendo elas: largura, profundidade e altura.

Figura 16 - Esquema representativo de uma câmara frigorífica



Fonte: AUTOR (2023)

Inicialmente, é necessário calcular as áreas de todas as paredes, do teto e do piso, como estão mostradas nas equações (1), (2) e (3), respectivamente.

Paredes Laterais: $P_{lat} = 2 \times (A \times B)$ (1)

Frente + Verso: $P_{fv} = 2 \times (B \times C)$ (2)

Piso + Teto: $P_{pt} = 2 \times (A \times C)$ (3)

Onde:

A - Largura (m).

B - Profundidade (m).

C - Altura (m).

Com isso, a área total será calculada a partir do somatório entre as paredes, o piso e o teto, como mostrado na equação (4).

$$A_T = 2 \times (A \times B + B \times C + A \times C) \quad (4)$$

Onde:

A_T - Área da superfície externa da parede ou área total da superfície (m^2).

Para encontrar o fator de dispersão das paredes da câmara (FT_1), utiliza-se os dados da Tabela 1. Inicialmente, é necessário escolher o tipo do material isolante e a espessura, em mm. Com isso, será calculada a variação de temperatura, que é representada pela diferença entre as temperaturas externa e interna, como mostrado na equação (5). A unidade da variação de temperatura é expressa em °C.

$$\Delta T = T_{(externa)} - T_{(interna)} \quad (5)$$

Encontrando o resultado dos três dados, será selecionado o valor do fator de dispersão, com unidade de kcal/ m^2 24h.

Tabela 1 - Fatores de dispersão das paredes da câmara

Tabela 1: Fatores de Dispersão das Paredes da Câmara (kcal/m²24h)												
Material		EPS (Isopor)					Poliuretano de Placa			Poliuretano de Painel		
Espessura (mm)		50	75	100	150	200	50	75	100	50	75	100
Diferença de Temperatura (°C)	1	14	9,5	7,2	4,8	3,6	9,5	6,4	4,8	8,3	5,5	4,2
	10	143	95	72	48	36	95	64	48	83	55	42
	15	215	143	107	72	54	143	95	72	125	83	62
	20	286	191	143	95	72	191	127	95	166	111	83
	23	329	220	165	110	82	220	146	110	191	128	96
	25	358	239	179	119	89	239	159	119	208	139	104
	28	401	267	200	134	100	267	178	134	233	155	116
	30	429	286	215	143	107	286	191	143	250	166	125
	33	472	315	236	157	118	315	210	157	275	183	137
	35	501	334	251	167	125	334	223	167	291	194	140
	38	544	363	272	181	136	363	242	181	316	211	158
	40	573	382	286	191	143	382	255	191	333	222	166
	43	616	410	308	205	154	410	274	205	358	238	179
	45	644	429	322	215	161	429	286	215	374	250	187
	48	687	458	344	229	172	458	305	229	399	266	200
	50	716	477	358	239	179	477	318	239	416	277	208
	53	759	506	379	253	190	506	337	253	441	294	220
	55	787	525	394	262	197	525	350	262	458	305	229
	58	830	554	415	277	208	554	369	277	483	322	241
	60	859	573	429	286	215	573	382	286	499	333	250
63	902	600	451	300	225	600	401	300	524	349	262	
65	931	620	465	310	233	620	414	310	541	361	270	
68	974	650	487	325	243	650	433	325	566	377	283	
70	1000	668	500	335	250	668	445	335	582	388	290	

Fonte: SILVA (2014)

Encontrando o valor da área total e do fator de dispersão das paredes da câmara, é possível calcular a carga térmica de transmissão de calor, como mostrado na equação (6).

$$Q_1 = A_T \times FT_1 \quad (6)$$

Onde:

Q_1 - Quantidade de calor transferido (kcal/24h).

FT_1 - Coeficiente total de transmissão de calor (kcal/m²24h).

4.1.2 Carga térmica para infiltração de calor

Para calcular a carga térmica para infiltração de calor (Q_2), é necessário encontrar o volume da câmara frigorífica, como mostrado na equação (7).

$$V = A \times B \times C \quad (7)$$

Encontrando o resultado do volume, é possível obter os fatores FT_2 e FT_3 , utilizando os dados das Tabelas 2 e 3, respectivamente.

- **Obtenção do valor de FT_2 :** Para determinar o fator FT_2 (número de aberturas de porta), é necessário relacionar o volume com a temperatura de chegada do produto, utilizando os dados da Tabela 2 (troca de ar/24h por abertura de porta e infiltração). Também é necessário selecionar qual o tipo de câmara frigorífica que será analisada, sendo de dois tipos: congelados e resfriados. Caso uso seja intenso, é preciso multiplicar o fator de troca de ar (FT_2) por dois.
- **Obtenção do valor de FT_3 :** Para determinar o fator FT_3 (Calor Necessário para Resfriar o Ar Externo até a Temperatura da Câmara), é necessário relacionar as condições externas (temperatura externa e umidade relativa) com a temperatura interna, utilizando os dados da Tabela 3 (Ganho de energia por m³ de câmara). Fazendo uma relação entre os três parâmetros da Tabela 3, é possível encontrar o valor do fator FT_3 .

Tabela 2 - Troca de ar/24h por abertura de porta e infiltração

Tabela 2: Troca de Ar/24h por Abertura de Porta e Infiltração							
2A - Para Câmaras de Conservação c/ Temp. > 0°C				2B - Para Câmaras de Conservação c/ Temp. < 0°C			
Volume (m³)	Nº da Troca de Ar (24h)	Volume (m³)	Nº da Troca de Ar (24h)	Volume (m³)	Nº da Troca de Ar (24h)	Volume (m³)	Nº da Troca de Ar (24h)
5	47	200	6	5	36	200	4,5
7	39	300	5	7	30	300	3,7
10	32	400	4,1	10	24	400	3,2
15	26	500	3,6	15	20	500	2,8
20	22	700	3	20	17	700	2,3
25	19	1000	2,5	25	15	1000	1,9
30	17	1200	2,2	30	13	1200	1,7
40	15	1500	2	40	11	1500	1,5
50	13	2000	1,7	50	10	2000	1,3
60	12	3000	1,4	60	9	3000	1,1
80	10	4000	1,2	80	8	4000	1,1
100	9	5000	1,1	100	7	5000	1
125	8	10000	0,95	125	6	10000	0,8
150	7	15000	0,9	150	5,5	15000	0,8

Observação: Para uso intenso, multiplicar o fator por "2".

Fonte: SILVA (2014)

Tabela 3 - Calor para resfriar o ar externo até a temperatura da câmara

Tabela 3: Calor Necessário para Resfriar o Ar Externo até a Temperatura da Câmara (kcal/m³)																		
Temperatura da Câmara em °C	Condições Externas (Temperaturas Bulbo Seco e Umidade Relativa)																	
	15°C			20°C			25°C			30°C			35°C			40°C		
	40%	50%	60%	40%	50%	60%	40%	50%	60%	40%	50%	60%	40%	50%	60%	40%	50%	60%
10	0,2	1	1,8	2,9	4	5,1	6	7,4	8,9	9,5	11,5	13,6	13,6	16,5	19,2	18,7	22,3	26
5	2,7	3,5	4,3	5,5	6,6	7,7	8,6	10	11,7	12,3	14,4	16,5	16,5	19,4	22,2	21,7	25,4	29,2
0	5,4	6,2	7	8,1	9,3	10,5	11,4	13	14,5	15,1	17,2	19,4	19,4	22,4	25,2	24,7	28,4	32,3
-5	8	8,8	9,7	10,8	12	13,2	14,1	16	17,3	18	20,1	22,3	22,3	25,3	28,2	27,7	31,5	35,5
-10	10,2	11,1	12	13,1	14,3	15,5	16,5	18	19,7	20,4	22,5	24,8	24,8	27,9	30,8	30,3	34,2	38,2
-15	12,7	13,5	14,4	15,6	16,8	18,1	19	21	22,3	23	25,2	27,5	27,5	30,7	33,7	33,2	37,1	41,2
-20	14,8	15,7	16,6	17,9	19,1	20,4	21,3	23	24,7	25,4	27,6	30	30	33,2	36,3	35,7	39,8	43,9
-25	17	17,9	18,8	20,1	21,3	22,6	23,6	25	27	27,7	30	32,4	32,4	35,7	38,8	38,3	42,4	46,7
-30	19,2	20,2	21,1	22,4	23,7	25	26	28	29,5	30,2	32,5	35	35	38,4	41,6	41	45,2	49,5
-35	21,6	22,5	23,5	24,8	26,1	27,4	28,5	30	32	32,8	35,1	37,7	37,7	41,1	44,3	43,7	48	52,5
-40	23,8	24,8	25,8	27,1	28,5	29,8	30,9	33	34,5	35,3	37,7	40,3	40,3	43,8	47,1	46,5	50,9	55,4

Fonte: SILVA (2014)

Encontrando o volume da câmara frigorífica e os fatores FT_2 e FT_3 , é possível calcular a carga térmica para infiltração de calor, como mostrado na equação (8).

$$Q_2 = V \times FT_2 \times FT_3 \quad (8)$$

Onde:

Q_2 – Quantidade de calor infiltrado (kcal/24h).

V – Volume da câmara frigorífica (m³).

FT_2 – Número de abertura de portas (Nº de Troca de Ar em 24h).

FT_3 – Ganho de energia por m³ de câmara, em função da temperatura e umidade relativa interna e externa (kcal/m³).

4.1.3 Carga térmica para calor dos produtos

Na equação (9) está descrita a fórmula para determinar a carga térmica para calor dos produtos (Q_3).

$$Q_3 = Q_{3(\text{antes})} + Q_{3(\text{latente})} + Q_{3(\text{apos})} \quad (9)$$

Onde:

Q_3 – Quantidade de calor do produto (kcal/24h).

$Q_{3(\text{antes})}$ – Calor cedido antes do congelamento (calor sensível), com unidade de kcal/24h.

$Q_{3(\text{latente})}$ – Calor cedido pelo produto em congelamento (calor latente), com unidade de kcal/24h.

$Q_{3(\text{apos})}$ – Calor cedido pelo produto após o congelamento (calor sensível), com unidade de kcal/24h.

Caso o tipo da câmara frigorífica seja de congelados, as três parcelas de calor dos produtos serão calculadas, como mostrado na equação (9). Já se o tipo da câmara frigorífica for de resfriados, apenas a parcela de calor cedido antes do congelamento

será calculada, visto que o calor latente e o calor cedido após o congelamento serão iguais a zero. Nas equações (10), (11) e (12) estão descritas as fórmulas para calcular cada uma das três parcelas de carga térmica do produto.

$$Q_{3(antes)} = m \times C_{p(antes)} \times \Delta T_{(antes)} \quad (10)$$

$$Q_{3(latente)} = m \times L_v \quad (11)$$

$$Q_{3(apos)} = m \times C_{p(apos)} \times \Delta T_{(apos)} \quad (12)$$

Onde:

m – Massa do produto (kg).

$C_{p(antes)}$ – Calor específico antes do congelamento (kcal/kg°C).

L_v – Calor específico latente (sem variação de temperatura), com unidade de kcal/kg.

$C_{p(apos)}$ – Calor específico após o congelamento (kcal/kg°C).

$\Delta T_{(antes)}$ – Variação de temperatura antes do congelamento (°C).

$\Delta T_{(apos)}$ – Variação de temperatura após o congelamento (°C).

Todos os valores de calores específicos sensíveis e latentes, como também o ponto de congelamento, são encontrados na Tabela 4A, especificada para cada tipo de produto. As Tabelas 4B, 4C, 4D e 4E foram apresentadas no tópico de anexos, na parte final deste trabalho. Para calcular as variações de temperatura antes e após o congelamento, é necessário utilizar, respectivamente, as equações (13) e (14).

$$\Delta T_{(antes)} = T_{(entrada\ do\ produto)} - T_{(congelamento)} \quad (13)$$

$$\Delta T_{(apos)} = T_{(congelamento)} - T_{(interna)} \quad (14)$$

Tabela 4A - Dados de carnes e derivados

Tabela 4A: Dados de Produtos - Carnes e Derivados				
Produto	Calor Específico Antes do Congelamento (kcal/kg°C)	Calor Específico Pós-Congelamento (kcal/kg°C)	Calor Latente (kcal/kg)	Ponto de Congelamento (°C)
Aves Congeladas e Frescas	0,79	0,37	59	-2,8
Bacon	0,38	0,26	16	-1,7
Camarão	0,84	0,44	64	-2,2
Carne Bovina Gorda Congelada e Fresca	0,6	0,35	44	-2,2
Carne Bovina Magra Congelada e Fresca	0,77	0,4	56	-1,7
Carneiro	0,77	0,41	56	-1,7
Coelho	0,75	0,4	55	-2,5
Cordeiro Congelado e Fresco	0,67	0,3	46	-1,7
Fígado	0,72	0,4	52	-1,7
Frango e Galinha	0,8	0,42	60	-2,8
Lagosta	0,83	0,44	63	-2,2
Linguiça	0,53	0,31	31	-1,7
Lombo	0,68	0,38	48	-2,8
Ostra	0,89	0,46	70	-2,2
Pato	0,76	0,41	56	-2,8
Peru	0,72	0,39	52	-2,8
Porco	0,57	0,33	33	-2,2
Presunto	0,68	0,38	48	-2,8
Salame Defumado	0,86	0,56	48	-3,9
Salame Fresco	0,89	0,56	52	-3,3
Salame Seco	0,39	0,56	52	-3,3
Suíno Congelado e Fresco	0,68	0,38	48	-2,2
Vitela	0,74	0,4	53	-1,7

Fonte: SILVA (2014)

4.1.4 Carga térmica de ocupação

Para calcular a carga térmica de ocupação (Q_4), é necessário encontrar o valor do fator FT_5 .

- **Obtenção do valor de FT_5 :** O fator FT_5 é encontrado a partir dos dados fornecidos pela Tabela 5 (carga de ocupação), como sendo o calor equivalente por pessoa, fazendo uma relação com a temperatura da câmara, que é igual ao valor da temperatura interna, em °C.

Tabela 5 - Carga de ocupação

Tabela 5: Carga de Ocupação	
Temperatura da Câmara (°C)	Calor Equivalente por Pessoa (kcal/h)
10	181
5	208
0	233
-5	258
-10	279
-15	313
-20	338
-25	358

Fonte: SILVA (2014)

Encontrando o fator FT_5 , é possível calcular a carga térmica de ocupação, como mostrado na equação (15).

$$Q_4 = N_{(pessoas)} \times FT_5 \times t_{(permanencia)} \quad (15)$$

Onde:

Q_4 – Carga de ocupação (kcal/24h).

$N_{(pessoas)}$ – Quantidade de funcionários que estejam operando no funcionamento da câmara frigorífica.

FT_5 – Calor equivalente por pessoa (kcal/h).

$t_{(permanencia)}$ – Tempo necessário de operação do sistema realizado pelos funcionários, com unidade em horas (h).

4.1.5 Carga térmica de iluminação

Inicialmente é necessário calcular a potência, como mostrado na equação (16), sendo expressa pela multiplicação da iluminação, da largura e da profundidade no numerador, dividindo por mil no denominador, obtendo a unidade da potência em kW.

$$P = \frac{I \times A \times B}{1000} \quad (16)$$

Encontrando a potência, é possível calcular a carga térmica de iluminação (Q_5), como mostrado na equação (17).

$$Q_5 = P \times 860^{(kcal/h)} \times t_{(utilizacao)} \quad (17)$$

Onde:

Q_5 – Quantidade de calor devido à iluminação (kcal/24h).

P – Potência (kW).

$860^{(kcal/h)}$ – Fator de conversão (kW/kcal).

$t_{(utilizacao)}$ – Tempo de utilização (h).

4.1.6 Carga térmica devido aos motores

A equação (18) descreve a fórmula para calcular a carga térmica devido aos motores ($Q_{6(estimado)}$).

$$Q_6 = N^{(CV)} \times 632,4^{(\frac{kcal}{h})} \times t_{(uso)} \quad (18)$$

Onde:

Q_6 – Carga devido aos motores (kcal/24h).

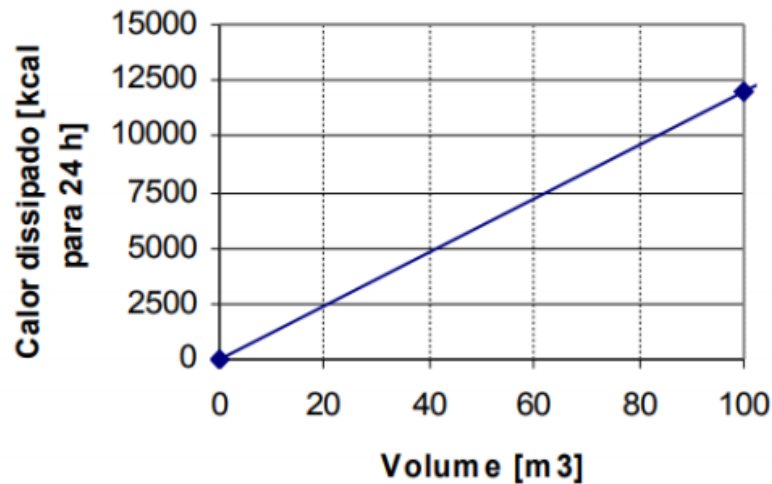
N – Potência dos motores (CV), descrita como porcentagem do motor.

$632,4^{(\frac{kcal}{h})}$ – Fator de conversão (CV/kcal).

$t_{(uso)}$ – Tempo necessário para utilização do motor (h).

Para calcular a carga térmica devido aos motores, também pode ser feita uma relação entre a carga térmica e o volume, como mostrado no gráfico da Figura 17, onde o eixo y representa o calor dissipado, em kcal/dia, e o eixo x representa o volume, em m³.

Figura 17 - Gráfico do calor devido a motores internos



Fonte: VILAIN (2018)

A equação (19) pode ser utilizada para calcular a carga térmica devido aos motores, realizando uma multiplicação entre o valor percentual da potência dos motores com a carga térmica para calor dos produtos.

$$Q_{6(\text{estimado})} = N_{(\text{percentual})} \times Q_3 \quad (19)$$

Onde o valor percentual da potência dos motores será em uma faixa de 40% a 70%, onde esses valores estão dentro de uma tolerância adequada. É recomendado que seja utilizado um valor de 60% para este parâmetro. Por representar a maior parcela numérica dentre todas as cargas térmicas calculadas, a carga térmica para calor dos produtos foi escolhida para calcular a carga térmica devido aos motores da equação (19). O valor encontrado para Q_6 é considerado estimativo, sendo comparado a carga térmica devido aos motores do fabricante, que representa o valor real, sendo encontrado na seleção da unidade evaporadora.

4.1.7 Carga térmica de embalagem

Na Tabela 6 estão mostrados os calores específicos dos tipos de embalagens. A partir da seleção do tipo de embalagem, é encontrado o calor específico da embalagem correspondente ao material.

Tabela 6 - Calores específicos e tipos de embalagem

Tabela 6: Calores Específicos e Tipos de Embalagem	
Tipo de Embalagem	Calor Específico (kcal/kg°C)
Alumínio	0,2
Vidro	0,2
Ferro ou Aço	0,1
Madeira	0,6
Papel Cartão	0,35
Caixa de Plástico	0,4 (Peixes ou Cerveja)

Fonte: SILVA (2014)

- **Obtenção do valor de $\Delta T_{(embalagem)}$** : A variação de temperatura da embalagem é calculada pela diferença entre a temperatura de entrada do produto e a temperatura interna, como mostrado na equação (20). A temperatura de entrada do produto também é chamada de temperatura de chegada do produto.

$$\Delta T_{(embalagem)} = T_{(entrada\ do\ produto)} - T_{(interna)} \quad (20)$$

Encontrando todos os parâmetros necessários, é possível calcular a carga térmica de embalagem (Q_7), como mostrado na equação (21).

$$Q_7 = m \times C_{p(embalagem)} \times \Delta T_{(embalagem)} \quad (21)$$

Onde:

Q_7 – Carga de embalagem (kcal/24h).

m – Massa do produto (kg).

$C_{p(embalagem)}$ – Calor específico da embalagem (kcal/kg°C).

$\Delta T_{(embalagem)}$ – Variação de temperatura da embalagem (°C).

4.1.8 Valor máximo dos produtos na câmara frigorífica

Para que o armazenamento dos produtos seja realizado de forma adequada na parte interna da câmara frigorífica, é importante utilizar 70% do ambiente interno,

enquanto que os 30% restantes de ambiente interno são separados para realizar as trocas de ar necessárias (HEATCRAFT, 2014).

Na equação (22) está descrita a fórmula para encontrar o valor máximo dos produtos na câmara frigorífica (C_T).

$$C_T = V \times \rho \times 70\% \quad (22)$$

Onde:

C_T - Valor máximo dos produtos (kg).

V - Volume total da câmara (m^3).

ρ - Densidade dos produtos (kg/m^3).

Na Tabela 7 estão mostradas as densidades para cada tipo de produto, com unidade de kg/m^3 .

Tabela 7 - Densidade dos produtos

Tabela 7: Densidade dos Produtos (kg/m³)	
Produto	Densidade
Abacate	330
Abacaxi	450
Alface	110
Ameixa	320
Aves	250
Bacalhau	300
Bacon	700
Banana	200
Batata	300
Camarão	450
Caqui	300
Carne Bovina	330
Carne Suína	300
Carneiro	450
Cebola	220
Coelho	300
Nata	600
Figo	300
Lagosta	300
Laranja	400
Leite	350
Lima	400
Limão	400
Maçã	300
Manga	250
Manteiga	600
Melão	160
Morango	250
Peixe	300
Pêra	350
Queijo Prato	600
Sorvete	400
Tangerina	400
Tomate	450
Uva	500

Fonte: HEATCRAFT (2014)

4.1.9 Valor rotativo diário na câmara frigorífica

Para calcular a carga térmica total, não é interessante utilizar o valor máximo dos produtos na câmara frigorífica. Com isso, é utilizado o valor rotativo diário na câmara frigorífica (C_R), que representa 30% do valor máximo dos produtos (HEATCRAFT, 2014).

Na equação (23) está descrita a fórmula para calcular o valor rotativo diário dos produtos na câmara frigorífica.

$$C_R = C_T \times 30\% \quad (23)$$

Onde o C_R representa o valor rotativo diário na câmara frigorífica, com unidade expressa em kg. Com esse resultado obtido, é encontrada a massa do produto (m), que é igual ao valor rotativo diário na câmara frigorífica.

4.1.10 Carga térmica total diária

Para calcular a carga térmica total diária, é necessário realizar um somatório de todas as sete parcelas de calor.

Na equação (24) está descrita a fórmula para calcular a carga térmica total diária ($Q_{T(diaría)}$), com unidade expressa em kcal/dia.

$$Q_{T(diaría)} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_{6(estimado)} + Q_7 \quad (24)$$

Para todas as parcelas de calor, com suas respectivas equações e conceitos, são aplicadas para as câmaras frigoríficas de congelados e resfriados.

4.1.11 Dimensionamento da carga térmica: capacidade de equipamento requerido e carga térmica total

Para encontrar a carga térmica total é necessário transformar a unidade para kcal/h. Na equação (25) está descrita a fórmula para calcular a capacidade de equipamento requerido (Q_R).

$$Q_R = \frac{Q_{T(diaria)}}{t_{(operacao)}} \quad (25)$$

Onde:

Q_R – Capacidade de equipamento requerido (kcal/h).

$Q_{T(diaria)}$ – Calor total diário do sistema (kcal/24h).

$t_{(operacao)}$ – Tempo de operação (h).

Para encontrar o tempo de operação é necessário calcular a diferença entre o total de horas em um dia com o tempo de degelo, como mostrado na equação (26).

$$t_{(operacao)} = (24h) - t_{(degelo)} \quad (26)$$

Com isso, encontrando o resultado da capacidade de equipamento requerido e determinando o fator de segurança, é calculada a carga térmica total (Q_T), com unidade expressa em kcal/h, como mostrado na equação (27).

$$Q_T = Q_R \times F_{(seguranca)} \quad (27)$$

O fator de segurança possui uma faixa estabelecida de valores, de 6% até 10%. Com o valor da carga térmica total encontrado, é possível realizar a seleção das unidades condensadora e evaporadora.

4.2 Tempo de degelo

Com relação ao tempo de degelo, geralmente são utilizados quatro a seis ciclos diários, ou seja, essa quantidade de ciclos é considerada satisfatória para períodos completos em um dia. Podem ocorrer variações nesses valores, dependendo do funcionamento da câmara frigorífica. É recomendado que os testes sejam realizados, para o tempo de degelo, no sistema frigorífico de duas formas: intervalos de 4 horas, com duração em torno de 15 à 20 minutos; intervalos de 6 horas, com duração em torno de 25 à 30 minutos (HEATCRAFT, 2014).

Para este trabalho, serão considerados três casos diferentes para o tempo de degelo, com objetivo de realizar testes, sendo eles: 2 horas, 4 horas e 6 horas. Variando o tempo de degelo, será possível observar uma variação no resultado da carga térmica total e, conseqüentemente, no selecionamento dos equipamentos.

4.3 Seleção das unidades condensadora e evaporadora

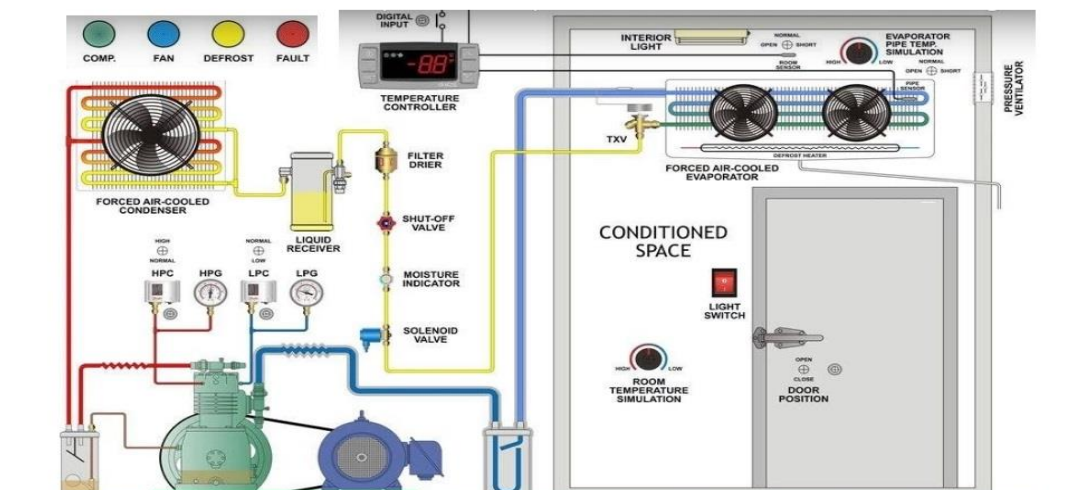
Para realizar a seleção das unidades condensadora e evaporadora é necessário a utilização dos seguintes parâmetros: temperatura externa, temperatura interna e carga térmica total. É essencial a utilização de catálogos de fabricantes para aplicação de valores reais, como: capacidade de refrigeração e potência consumida (VILAIN, 2018).

4.3.1 Seleção da unidade condensadora

Para realizar a seleção da unidade condensadora, é necessário obter os seguintes parâmetros: capacidade da unidade condensadora, em kcal/h; temperatura de evaporação, em °C; temperatura ambiente externa, em °C (VILAIN, 2018).

Na Figura 18 estão mostrados os principais componentes para uma unidade condensadora, sendo eles: evaporador, dispositivo de expansão, compressor e condensador.

Figura 18 - Principais componentes para uma unidade condensadora



Neste trabalho será utilizado o catálogo da Danfoss, como mostrado na Tabela 8, para realizar a seleção da unidade condensadora. Os fluidos refrigerantes considerados, para baixas temperaturas, são: R404A e R507.

Inicialmente, é necessário calcular a temperatura de evaporação em °C, a partir da diferença entre a temperatura interna e o diferencial de temperatura, como mostrado na equação (28). O valor do diferencial de temperatura (*DTI*), fornecido pelo catálogo da Elgin, como mostrado na Tabela 9, é igual a 6°C.

$$T_{(evaporacao)} = T_{(interna)} - DTI \quad (28)$$

Encontrando o resultado da temperatura de evaporação, pode ser escolhida a temperatura ambiente externa, em °C, e, em seguida, selecionar na tabela os valores da capacidade da unidade condensadora (CC) em kcal/h e do consumo da unidade condensadora (PC) em W. O resultado obtido para a capacidade da unidade condensadora será relacionado com o valor da carga térmica total. Com isso, é possível selecionar o modelo da unidade condensadora correspondente aos resultados encontrados.

Tabela 8 - Capacidade na temperatura de evaporação para realizar a seleção da unidade condensadora

Tabela 8: Capacidade de Refrigeração na Temperatura de Evaporação (kcal/h)															
Modelos	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura de Evaporação (°C)													
		-40		-35		-30		-25		-20		-15		-10	
		CC	PC	CC	PC	CC	PC	CC	PC	CC	PC	CC	PC	CC	PC
OP-LJZ048D	32	717	1089	1063	1355	1469	1622	1937	1887	2466	2143	3057	2388	3710	2616
	35	646	1067	975	1343	1360	1622	1803	1899	2304	2169	2864	2428	3483	2671
	38	576	1041	887	1327	1251	1617	1669	1906	2142	2190	2671	2462	3257	2720
	43	-	-	744	1287	1072	1595	1448	1904	1874	2209	2352	2504	2883	2786
OP-LJZ068D	32	1219	1782	1683	2070	2216	2381	2813	2723	3470	3105	4183	3536	4943	4027
	35	1116	1788	1558	2088	2062	2412	2629	2768	3252	3165	3928	3611	4651	4119
	38	1019	1792	1437	2105	1914	2443	2449	2813	3039	3225	3678	3688	4363	4212
	43	-	-	1246	2128	1678	2489	2161	2884	2693	3326	3273	3817	3896	4370
OP-LJZ096D	32	1451	2530	2138	2993	2947	3482	3881	3997	4941	4544	6128	5128	7440	5759
	35	1271	2471	1931	2953	2705	3465	3599	4010	4614	4589	5751	5211	7010	5883
	38	1092	2404	1724	2902	2464	3438	3317	4010	4287	4622	5374	5279	6580	5991
	43	-	-	1383	2798	2065	3368	2852	3983	3746	4645	4750	5360	5869	6135
OP-LJZ108D	32	1661	2992	2490	3419	3496	3900	4684	4433	6054	5018	6794	5808	8170	6587
	35	1527	2982	2316	3421	3269	3919	4392	4473	5688	5082	6364	5868	7660	6667
	38	1388	2965	2137	3414	3037	3927	4096	4500	5317	5132	5933	5916	7148	6734
	43	-	-	1830	3384	2642	3917	3594	4519	4690	5185	5212	5971	6297	6821
OP-LJZ136D	32	2264	3647	3260	4251	4430	4911	5778	5634	7305	6426	9008	7297	10880	8257
	35	2056	3621	3009	4241	4128	4920	5415	5666	6873	6483	8500	7382	10290	8372
	38	1850	3588	2760	4223	3826	4922	5051	5690	6440	6532	7991	7458	9703	8477
	43	-	-	2349	4177	3325	4907	4446	5710	5718	6592	7141	7464	8719	8631
OP-LGZ215D	32	3612	5638	5053	6633	6748	7691	8704	8812	10920	9998	13400	10850	16140	12050
	35	3268	5715	4649	6672	6267	7684	8131	8751	10240	9877	12610	11070	15220	12340
	38	2918	5638	4235	6633	5775	7691	7547	8812	9554	9998	11800	11260	14280	12590
	43	-	-	3534	6515	4940	7644	6553	8848	8381	10120	10430	11490	12700	12940
OP-LGZ271D	32	4895	7266	6700	8403	8796	9613	11170	10910	13810	12310	16690	13840	19790	15510
	35	4506	7262	6223	8438	8209	9690	10460	11030	12960	12480	15680	14050	18610	15770
	38	4114	7239	5740	8457	7617	9751	9737	11140	12090	12630	14660	14250	17430	16010
	43	-	-	4931	8448	6620	9813	8523	11270	10640	12840	12940	14540	15440	16380

Fonte: DANFOSS (2023)

4.3.2 Seleção da unidade evaporadora

O modelo da unidade evaporadora será selecionado a partir dos dados de capacidade da Tabela 9, como também os dados dos motores e das resistências da Tabela 10, relacionando com a potência consumida em W, de cada um deles juntamente com o número de ventiladores. A partir do resultado obtido para a

temperatura de evaporação em °C, é selecionado um valor na tabela para determinar a capacidade em kcal/h, como também o modelo de unidade evaporadora e o número de ventiladores para o equipamento selecionado. O resultado obtido para a capacidade da unidade evaporadora será relacionado com o valor encontrado da carga térmica total.

Tabela 9 - Capacidade para realizar a seleção da unidade evaporadora

Tabela 9: Dados de Capacidade (kcal/h) / DTI = 6°C - 60Hz												
Modelos	Temperatura de Evaporação (°C)											Dados dos Ventiladores
	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	Número de Ventiladores
FLA017	1985	1970	1927	1883	1880	1891	1856	1853	1845	1811	1781	1
FLA018	2301	2281	2219	2164	2159	2163	2127	2117	2102	2092	2092	2
FLA028	3391	3342	3258	3187	3176	3187	3150	3152	3150	3102	3044	2
FLA031	3904	3801	3651	3501	3444	3404	3329	3271	3212	3161	3082	2
FLA039	4944	4837	4676	4496	4432	4390	4331	4274	4217	4140	4036	3
FLA048	5900	5764	5570	5406	5335	5298	5237	5154	5092	4956	4768	3
FLA053	6952	6820	6616	6344	6123	6082	6023	5959	5890	5742	5534	4
FLA065	8021	7842	7573	7216	6923	6859	6770	6676	6584	6266	5890	4
FLA086	10589	10388	10078	9660	9323	9262	9161	9064	8971	8913	8426	5
FLA096	11734	11529	11199	10757	10403	10337	10237	10139	10039	9961	9808	6
FLA114	13909	13680	13319	12835	12448	12384	12278	12182	12086	11949	11815	7
FLA129	15796	15526	15088	14511	14049	13964	13837	13704	13584	13304	12897	8

Fonte: ELGIN (2021)

Encontrando a capacidade da unidade evaporadora, será selecionado os valores das potências consumidas dos motores e das resistências, assim como o número de ventiladores correspondente. A partir do catálogo da Elgin, o valor da resistência de degelo é igual a 1, ou seja, o equipamento possui uma serpentina.

Tabela 10 - Potência consumida dos motores e das resistências

Tabela 10: Dados da Potência Consumida dos Motores e das Resistências		
Número de Ventiladores	Motores	Resistências
	Potência Consumida (W)	Potência Consumida (W)
1	100	800
2	200	1334
3	300	1868
4	400	2402
5	500	2936
6	600	3400
7	700	4006
8	800	4672

Fonte: ELGIN (2021)

Os valores mostrados na Tabela 10, para a potência consumida dos motores e das resistências, já estão multiplicados pelo número de ventiladores.

Com os resultados obtidos, será necessário calcular as potências totais dos motores e das resistências por dia e por hora. As equações (29) e (30) representam as potências totais dos motores e as equações (31) e (32) representam as potências totais das resistências.

$$Pt_{motores(hora)} = \frac{Pc(motores) \times N(ventiladores)}{1000} \quad (29)$$

$$Pt_{motores(dia)} = Pt_{motores(hora)} \times t_{operacao} \quad (30)$$

$$Pt_{resistencias(hora)} = \frac{Pc(resistencias) \times R(degelo)}{1000} \quad (31)$$

$$Pt_{resistencias(dia)} = Pt_{resistencias(hora)} \times t_{degelo} \quad (32)$$

Onde:

$Pt_{motores(hora)}$ - Potência total dos motores em horas (kW/h).

$Pc(motores)$ - Potência consumida dos motores (W).

$N(ventiladores)$ - Número de ventiladores.

$Pt_{motores(dia)}$ - Potência total dos motores por dia (kW/dia).

$Pt_{resistencias(hora)}$ - Potência total das resistências em horas (kW/h).

$PC_{(resistencias)}$ - Potência consumida das resistências (W).

$R_{(degelo)}$ - Resistência de degelo.

$Pt_{resistencias(dia)}$ - Potência total das resistências por dia (kW/dia).

Com isso, é necessário calcular a carga térmica devido aos motores do fabricante por dia e por hora, ou seja, representa a carga térmica com valores reais a partir da utilização de dados obtidos em catálogos e manuais. As equações (33) e (34) representam, respectivamente, a carga térmica devido aos motores do fabricante por dia, em kcal/24h, e por hora, em kcal/h.

$$Q_{\delta_{real}(dia)} = (Pt_{motores(dia)} \times 860) + (Pt_{resistencias(dia)} \times 860) \quad (33)$$

$$Q_{\delta_{real}(hora)} = \frac{Q_{\delta_{real}(dia)}}{24} \quad (34)$$

Por fim, para realizar a seleção da unidade evaporadora, será feita uma relação matemática de desigualdade para que o modelo do equipamento seja encontrado, a partir dos resultados obtidos.

Inicialmente, é necessário considerar que o valor da carga térmica devido aos motores do fabricante (valor real) por dia tem que ser menor que o valor estimativo da carga térmica devido aos motores, em que ambos possuem a unidade de kcal/24h. Para transformar a unidade para kcal/h, é necessário realizar a divisão entre a diferença dessas cargas térmicas com o tempo de operação em horas. Com isso, é calculado o somatório do resultado obtido na operação matemática de divisão com o valor da carga térmica total, onde o valor encontrado no somatório precisa ser menor que o valor da capacidade da unidade evaporadora, a partir do catálogo mostrado na Tabela 9.

Na equação (35) está descrita a fórmula para calcular a relação matemática de desigualdade.

$$\frac{Q_{\delta_{real}(dia)} - Q_{\delta_{(estimado)}}}{t_{(operacao)}} + Q_T < Capacidade_{(evaporadora)} \quad (35)$$

Caso a relação matemática de desigualdade da equação (35) seja atendida, o modelo da unidade evaporadora é selecionado e, assim, os equipamentos de refrigeração da câmara frigorífica são escolhidos. Caso a relação matemática de desigualdade não seja atendida, dentre os dados fornecidos no catálogo utilizado, será realizado um novo procedimento para encontrar a quantidade desejada para selecionar os equipamentos de refrigeração.

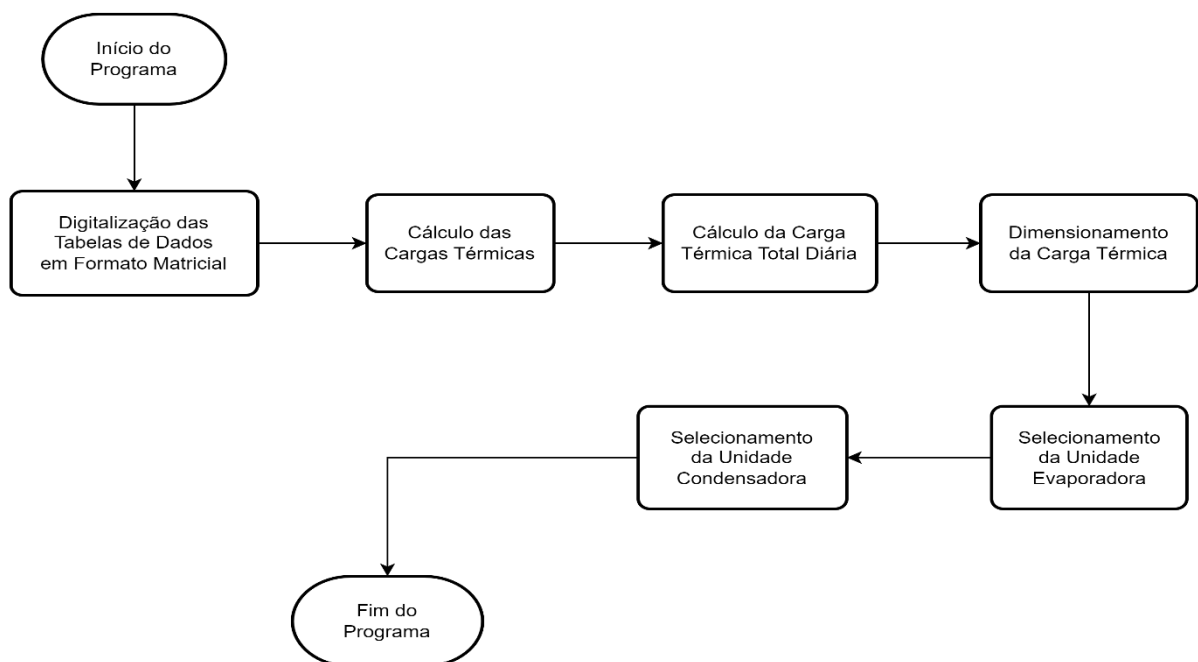
5 FORMULAÇÃO NUMÉRICA DO PROGRAMA

Nesta seção será mostrado o método escolhido para o desenvolvimento da formulação numérica do programa para as câmaras frigoríficas. Para calcular a carga térmica total diária é necessário realizar o somatório de todas as sete parcelas de calor e, com isso, será calculado o dimensionamento da carga térmica, onde a unidade da carga térmica total será transformada para kcal/h. Encontrando os resultados desejados, é realizada a seleção das unidades condensadora e evaporadora, obtendo também os seus respectivos modelos.

Para automatizar os cálculos e realizar testes de forma prática, foi escolhida a plataforma MATLAB para desenvolvimento do algoritmo. Com a utilização dessa ferramenta, é possível utilizar estruturas condicionais como *if* e *else*, realizar a criação de *menu* para fornecer a opção de escolher o parâmetro desejado, como também utilizar matrizes para digitalização das tabelas com objetivo de fornecer dados ao programa desenvolvido.

Na Figura 19 está mostrado um fluxograma geral de desenvolvimento do programa, sendo necessário realizar diversas etapas para que seja possível obter os resultados desejados.

Figura 19 - Fluxograma geral de desenvolvimento do programa no MATLAB



Com o desenvolvimento do programa finalizado, é possível realizar testes para condições diferentes da câmara frigorífica, analisando os resultados obtidos, como: realizar variações de aumento no tempo de degelo, no fator de segurança e no valor percentual da potência dos motores.

Este trabalho é desenvolvido a partir de uma formulação numérica. Ou seja, não foram realizados experimentos na prática em câmaras frigoríficas reais. Mesmo assim, é necessária a realização de testes para analisar se o programa está funcionando de forma adequada. Nos próximos tópicos serão detalhados os métodos utilizados para o desenvolvimento do algoritmo.

5.1 Digitalização das tabelas de dados em formato matricial

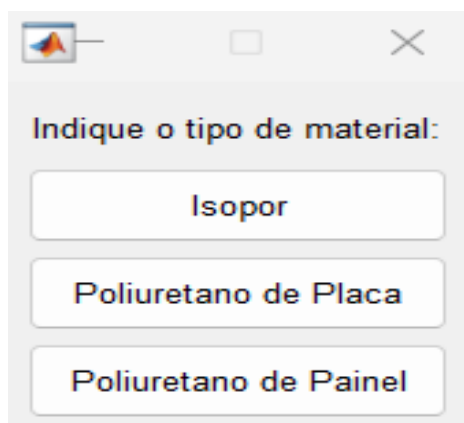
Inicialmente foram digitalizadas as tabelas necessárias para utilização dos dados. Para o cálculo do fator de dispersão das paredes da câmara (FT_1), foram utilizadas três tabelas, com três tipos de isolamento diferentes: isopor, poliuretano de placa e poliuretano de painel. Para o cálculo do fator do número de troca de ar (FT_2), foram utilizadas duas tabelas, com dois tipos de câmara frigorífica: congelados e resfriados. Para o cálculo do fator da carga de infiltração de calor (FT_3), foram utilizadas cinco tabelas, com cinco temperaturas externas diferentes: 15°C, 20°C, 25°C, 30°C, 35°C e 40°C. Para o cálculo do fator da carga de ocupação (FT_5), foi utilizada uma tabela, relacionando a temperatura da câmara com o calor equivalente por pessoa. Com relação as tabelas para a carga dos produtos (Q_3), foram utilizadas cinco tabelas, com cinco tipos de produtos, em categorias diferentes: carnes e derivados, frutas, peixes, variedades em geral, verduras e legumes. Por fim, com relação as tabelas para calcular o calor específico da carga térmica de embalagem (Q_7), foi utilizada uma tabela, com seis tipos de embalagem diferentes: alumínio, vidro, ferro ou aço, madeira, papel cartão e caixa de plástico. Todas as tabelas digitalizadas no programa foram desenvolvidas em formato matricial.

5.2 Cálculo da carga térmica de transmissão de calor

Inicialmente, foi criado um *menu*, como mostrado na Figura 20, para fazer a escolha do tipo de material isolante da câmara frigorífica, sendo eles: isopor,

poliuretano de placa e poliuretano de painel. Dentre as três opções, ao clicar no botão do material escolhido, o algoritmo seleciona a tabela correspondente.

Figura 20 - Menu para escolha do tipo de material isolante



Fonte: AUTOR (2023)

Após a escolha do tipo de material, é necessário indicar a espessura em mm, a temperatura externa e interna, ambas em °C. Nos três parâmetros, foi utilizado o laço de repetição *while* para indicar o valor de cada situação e evitar erros inesperados. No caso da espessura, foi criada uma condição para que fosse maior ou igual a 0mm e menor ou igual a 200mm. Já para o caso da temperatura externa, foi criada uma condição para que fosse maior ou igual a 15°C e menor ou igual a 40°C. E para o caso da temperatura interna, foi criada uma condição para que fosse maior ou igual a -40°C e menor ou igual a 15°C. Caso as condições não sejam atendidas, o algoritmo informa uma mensagem na tela do usuário para que seja indicado um valor válido para o parâmetro selecionado.

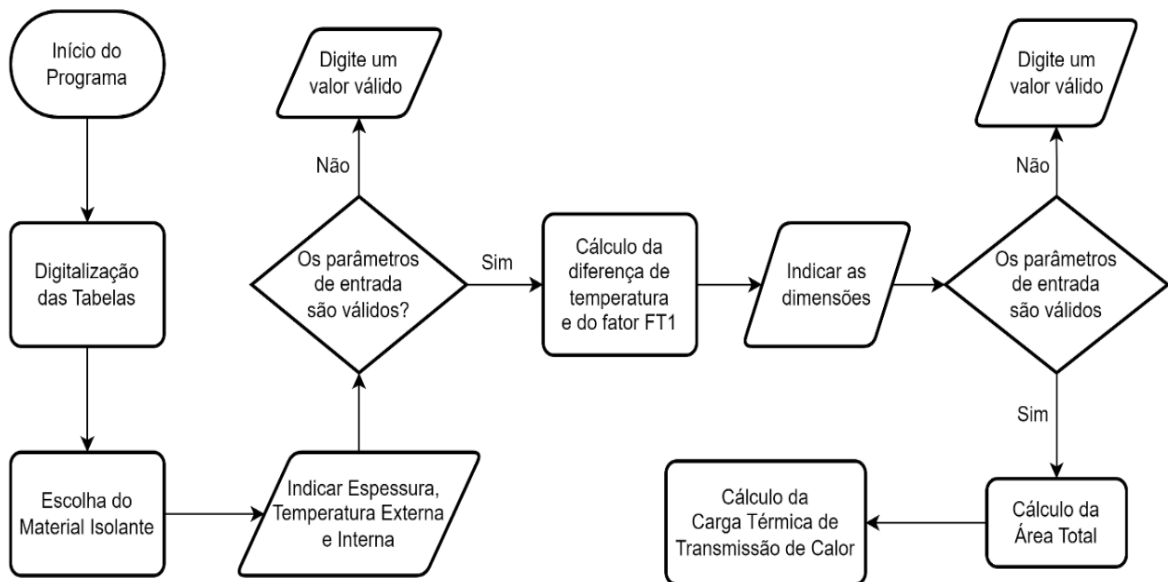
Encontrando os valores das temperaturas externa e interna, é calculada uma diferença de temperatura, em °C. Obtendo o valor do ΔT , juntamente com o tipo de material isolante e a espessura, é possível determinar o fator de dispersão das paredes da câmara (FT_1), utilizando os valores descritos na Tabela 1, onde as linhas da tabela são representadas pela diferença de temperatura e as colunas da tabela pela espessura. Em todos os parâmetros necessários para obter o valor de FT_1 , são utilizadas estruturas condicionais *if* e *else*.

Com relação as dimensões da câmara frigorífica, são utilizados laços de repetição *while*, onde os três parâmetros precisam ser maiores do que zero. Por fim,

é possível encontrar a área total da superfície e, assim, calcular a carga térmica de transmissão de calor.

Na Figura 21 está mostrado o fluxograma de procedimento do programa para encontrar o resultado de Q_1 .

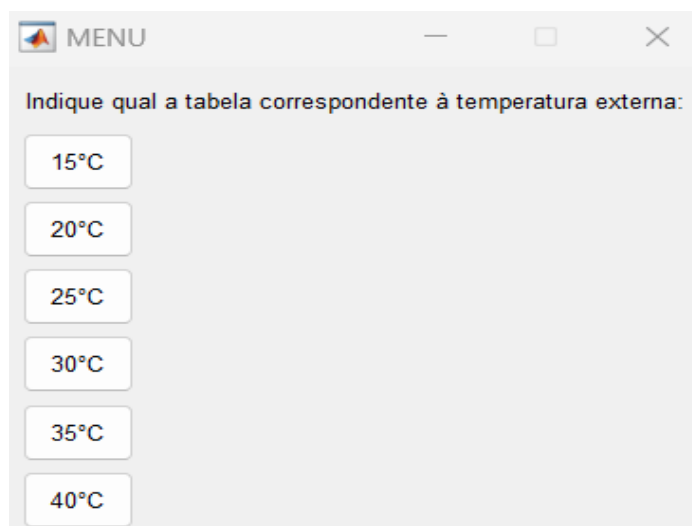
Figura 21 - Fluxograma para determinar a carga térmica de transmissão de calor



Fonte: AUTOR (2023)

5.3 Cálculo da carga térmica de infiltração de calor

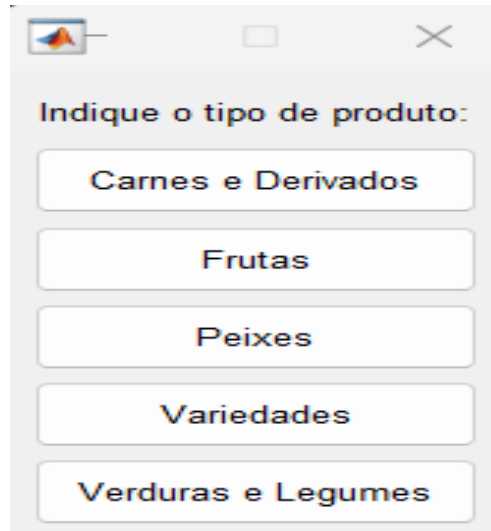
Inicialmente, é necessário calcular o fator de ganho de energia por m^3 de câmara (FT_3). Com o valor escolhido para a temperatura externa, foi criado um *menu*, como mostrado na Figura 22, para selecionar a opção desejada. Ao clicar no botão para a temperatura externa escolhida, o algoritmo seleciona a tabela correspondente.

Figura 22 - Menu para selecionar a temperatura externa

Fonte: AUTOR (2023)

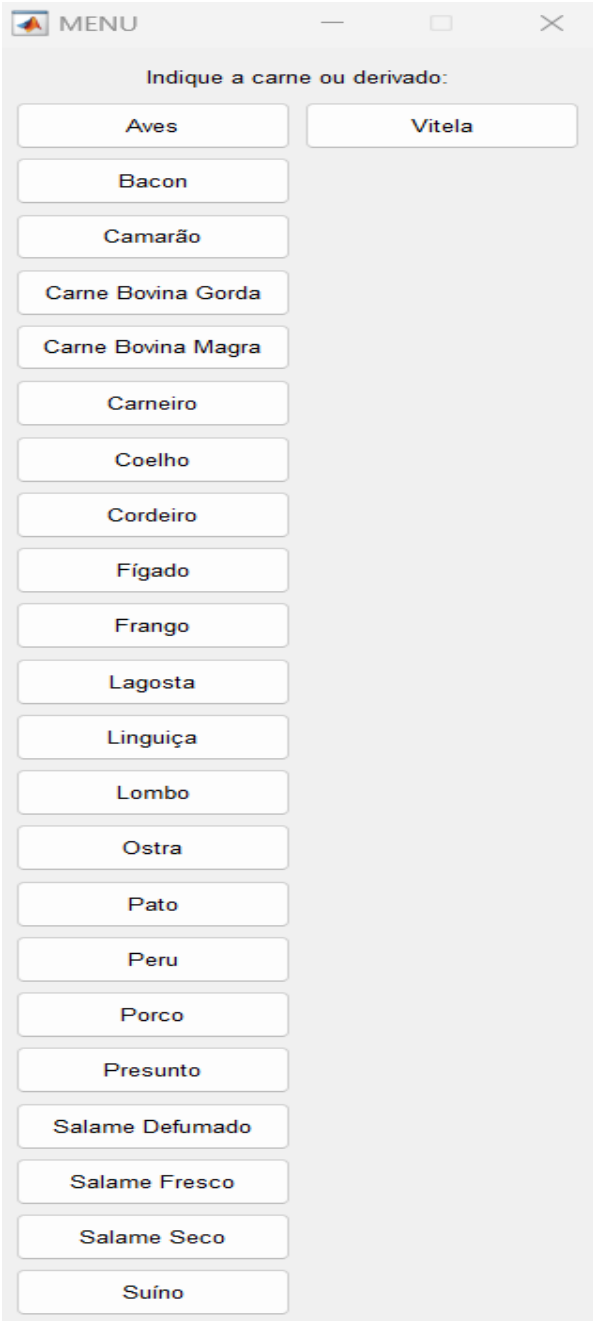
Com relação à umidade relativa, foi criado um laço de repetição *while* para indicar valores percentuais de 0% até 100%. Quaisquer valores fora da faixa estabelecida, é informada uma mensagem na tela do usuário para que seja inserido um valor válido para o parâmetro selecionado. Como as tabelas são descritas em formato matricial, para obtenção do fator FT_3 , será feita uma relação das colunas com a umidade relativa e das linhas com a temperatura interna, utilizando as estruturas condicionais *if* e *else*, como também a opção selecionada para a temperatura externa. Também é necessário calcular os parâmetros do produto escolhido. Com isso, foi criado um *menu*, como mostrado na Figura 23, para selecionar o tipo de produto desejado, sendo eles: carnes e derivados, frutas, peixes, variedades, verduras e legumes. Ao clicar no botão do tipo de produto escolhido, o algoritmo seleciona a tabela correspondente.

Figura 23 - Menu para a escolha do tipo de produto



Fonte: AUTOR (2023)

A partir da opção escolhida para o tipo de produto, foi criado um *menu* para cada produto. Caso o usuário selecione a primeira opção, ou seja, carnes e derivados, será mostrado na tela do usuário os produtos dessa categoria, como mostrado na Figura 24. Ao clicar no botão do produto escolhido, o algoritmo seleciona a tabela correspondente.

Figura 24 - Menu para selecionar o produto desejado

A screenshot of a software application window titled "MENU". The window contains a form with the instruction "Indique a carne ou derivado:". Below this instruction, there are two columns of buttons. The first column contains buttons for "Aves", "Bacon", "Camarão", "Carne Bovina Gorda", "Carne Bovina Magra", "Carneiro", "Coelho", "Cordeiro", "Fígado", "Frango", "Lagosta", "Linguiça", "Lombo", "Ostra", "Pato", "Peru", "Porco", "Presunto", "Salame Defumado", "Salame Fresco", "Salame Seco", and "Suíno". The second column contains a button for "Vitela".

Fonte: AUTOR (2023)

A partir do produto selecionado, é possível obter os cinco parâmetros do produto, sendo eles: calor específico antes do congelamento, calor específico após o congelamento, calor específico latente, ponto de congelamento do produto e densidade do produto.

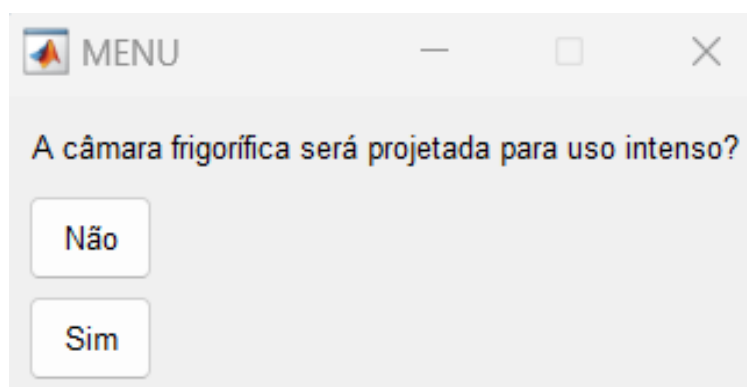
É necessário calcular o volume, realizando a multiplicação das três dimensões da câmara frigorífica, sendo elas: largura, profundidade e altura. Com o valor encontrado, é selecionada a coluna da matriz da tabela correspondente para obter o

fator do número da abertura de portas, a partir do tipo de câmara frigorífica selecionado, sendo de congelados ou resfriados.

O ponto de congelamento do produto é essencial para selecionar o tipo de câmara frigorífica de forma adequada. Caso a temperatura interna for maior que o ponto de congelamento do produto, a câmara frigorífica será de resfriados (acima do ponto de congelamento). Já para o caso de a temperatura interna ser menor que o ponto de congelamento do produto, a câmara frigorífica será de congelados (abaixo do ponto de congelamento). Ambas as condições foram desenvolvidas a partir das estruturas condicionais *if* e *else*.

Foi criado um *menu*, como mostrado na Figura 25, para escolher as opções de uso intenso ou não intenso, para o projeto da câmara frigorífica. Caso for selecionado o uso intenso, o valor de FT_2 será multiplicado por dois.

Figura 25 - Menu para selecionar o uso intenso ou não intenso

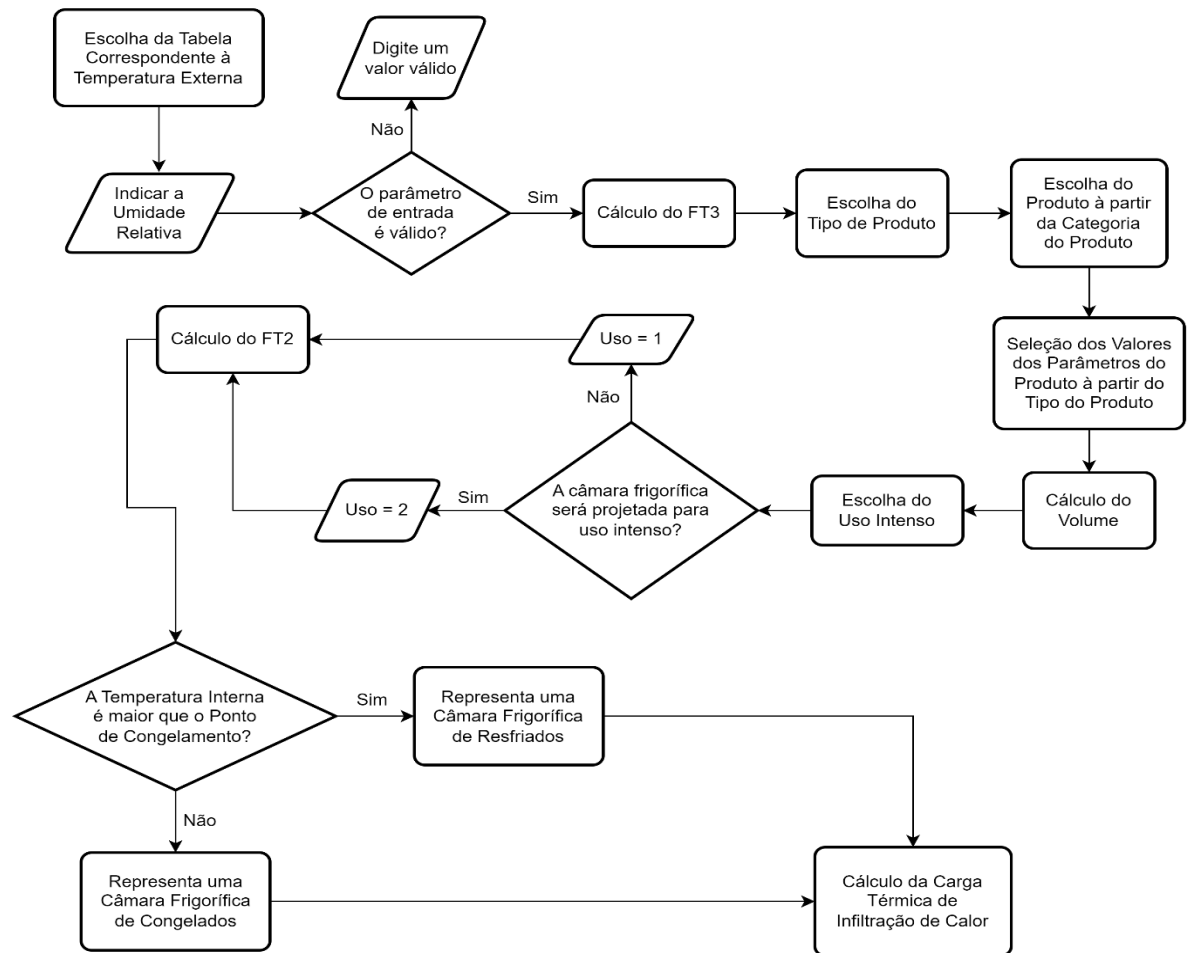


Fonte: AUTOR (2023)

Com os resultados obtidos do volume da câmara frigorífica, do fator do número da abertura de portas e do fator de ganho de energia por volume da câmara, é possível calcular a carga térmica de infiltração de calor.

Na Figura 26 está mostrado o fluxograma de procedimento do programa para encontrar o resultado de Q_2 .

Figura 26 - Fluxograma para determinar a carga térmica de infiltração de calor



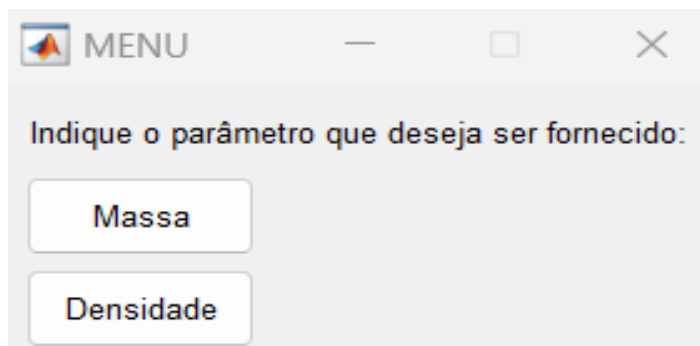
Fonte: AUTOR (2023)

5.4 Cálculo da carga térmica dos produtos

Inicialmente, é necessário determinar o valor da temperatura de entrada do produto em °C. Com isso, foi criada uma condição para que a temperatura de entrada do produto fosse maior ou igual a -25°C e menor ou igual a 30°C. Caso a condição não seja atendida, o algoritmo apresenta uma mensagem na tela do usuário para que seja inserido um valor válido para o parâmetro selecionado. Também foi criada uma condição para que a temperatura de entrada do produto seja maior ou igual a temperatura interna, para que as cargas térmicas de produto não possuam valores negativos. Caso essa condição não seja atendida, o algoritmo apresenta uma mensagem na tela do usuário informando que a temperatura de entrada do produto não deve ser menor que a temperatura interna.

É necessário realizar uma análise em relação a massa e a densidade. Inicialmente, foi criado um *menu*, como mostrado na Figura 27, para determinar qual dos dois parâmetros será selecionado.

Figura 27 - Menu para selecionar a massa ou a densidade



Fonte: AUTOR (2023)

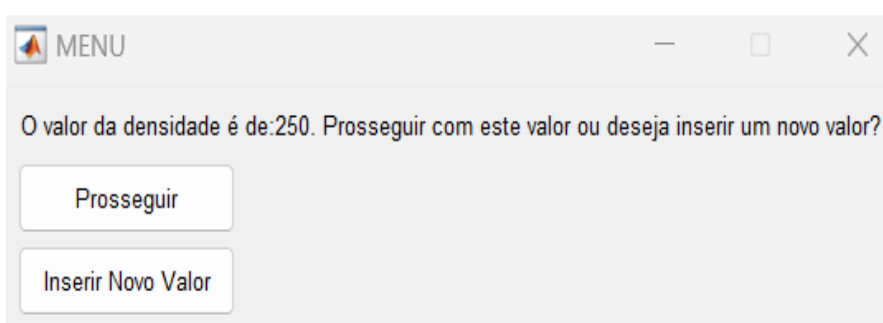
Caso a primeira opção seja selecionada, será utilizado o laço de repetição *while* para que a massa seja maior do que zero. Caso a condição não seja atendida, o algoritmo apresenta na tela do usuário uma mensagem para que seja inserido um valor válido para o parâmetro selecionado.

Caso a segunda opção seja selecionada, será utilizada as estruturas condicionais *if* e *else*, como também o laço de repetição *while*. Se a densidade for igual a zero, o algoritmo informa uma mensagem na tela do usuário que não foi possível obter um resultado válido e que seja inserido um valor desejado. Os valores de densidade foram obtidos a partir do catálogo da Heatcraft (2014), como mostrado na Tabela 7, onde foram utilizados alguns produtos por conta da tabela não possuir os dados de todos os produtos inseridos. Com isso, é necessário que seja inserido um valor desejado para a densidade do produto selecionado.

Caso a densidade for diferente de zero, para valores de densidade do catálogo utilizado ou para novos valores inseridos, foi criada uma função chamada *strcat*, a partir de uma variável *txt*, que serve para concatenar um texto. Ou seja, será selecionado uma parte do texto, depois inserido um número e, assim, colocada mais uma parte do texto, formando um único texto. Já a função *num2str(densidade)* tem o objetivo de converter o número da densidade em uma *string*, ou seja, converter o valor numérico em texto. Com isso, foi criado um *menu*, como mostrado na Figura 28, para que seja escolhida a opção de o produto prosseguir com o valor de densidade

estabelecido na tabela ou será inserido um novo valor para o parâmetro. Ou seja, caso a primeira opção seja escolhida, o algoritmo utiliza o valor determinado pelo usuário. Caso a segunda opção seja escolhida, o algoritmo informa uma mensagem na tela do usuário para que seja inserido um valor desejado para o parâmetro. No caso da Figura 28, foi selecionada a opção da densidade para aves, onde o produto possui uma densidade de 250 kg/m^3 . Com isso, o usuário pode prosseguir com esse valor ou digitar um novo valor.

Figura 28 - Menu para seleção da densidade



Fonte: AUTOR (2023)

Caso a densidade seja menor ou igual a zero, o algoritmo apresenta na tela do usuário uma mensagem informando que o valor desse parâmetro não pode ser menor do que zero e, com a utilização do laço de repetição *while*, o algoritmo informa para ser inserido um valor válido na faixa estabelecida. Com isso, é calculado o valor máximo dos produtos na câmara frigorífica e o valor rotativo diário de produtos, obtendo assim a massa do produto selecionado.

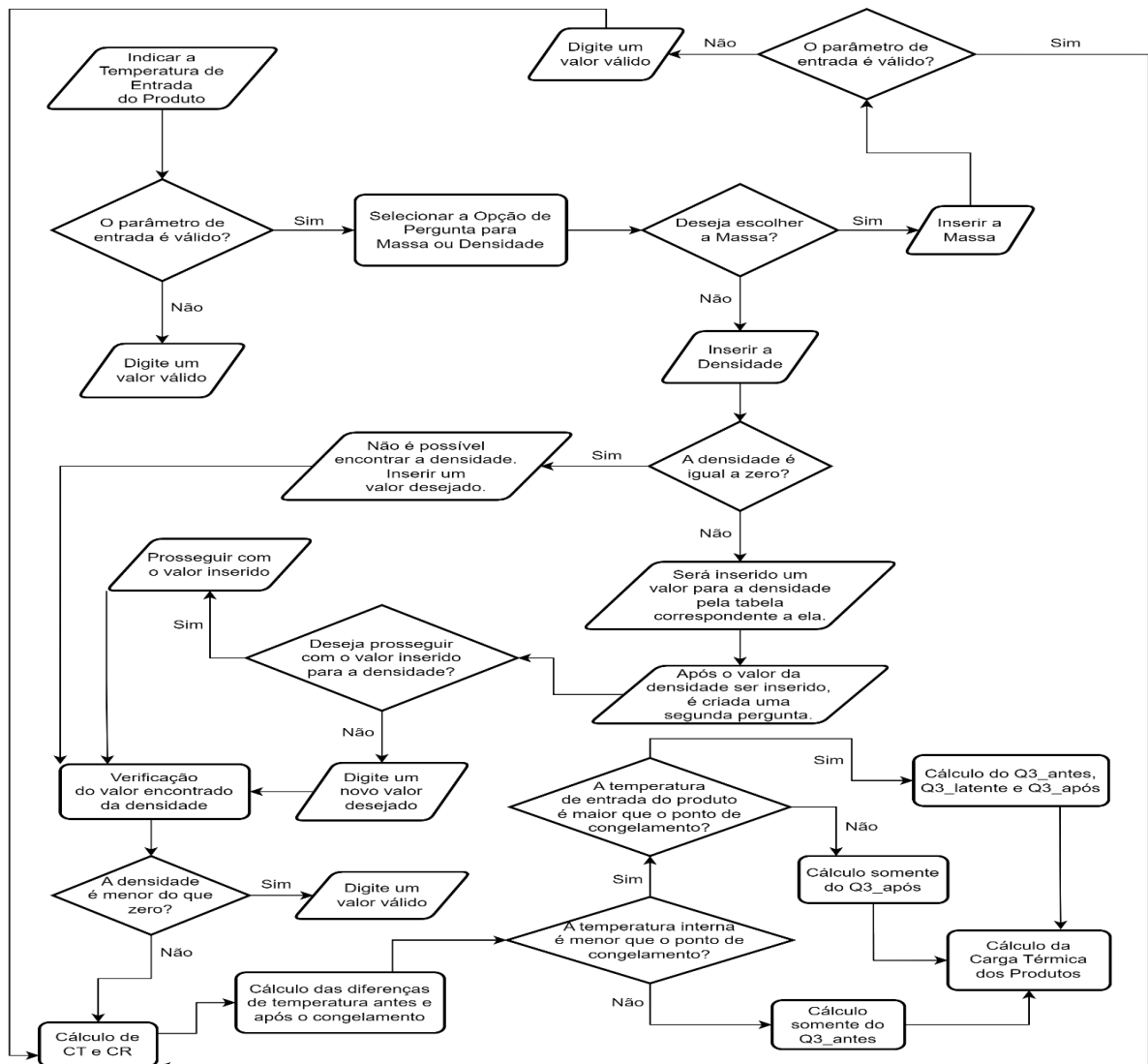
Em seguida, é necessário calcular a diferença de temperatura antes do congelamento e a diferença de temperatura após o congelamento. Com os resultados obtidos, são utilizadas as estruturas condicionais *if* e *else* para calcular a carga térmica para calor dos produtos. Caso a temperatura interna seja menor que o ponto de congelamento do produto, o algoritmo apresenta uma mensagem na tela do usuário informando que, para essa condição, representa uma câmara frigorífica de congelados. Dentro dessa condição, caso a temperatura de entrada do produto seja maior que o ponto de congelamento, são calculadas as três cargas térmicas de produto: $Q_{3(antes)}$; $Q_{3(latente)}$; $Q_{3(apos)}$. Caso a condição não seja atendida, para a temperatura de entrada do produto menor que o ponto de congelamento do produto,

é calculado apenas o $Q_{3(\text{apos})}$, sendo as outras parcelas iguais a zero. Para o caso de a temperatura interna ser maior que o ponto de congelamento do produto, o algoritmo apresenta uma mensagem na tela do usuário informando que, para essa condição, representa uma câmara frigorífica de resfriados. Com isso, é calculado apenas o $Q_{3(\text{antes})}$, sendo as outras parcelas iguais a zero.

Por fim, com todos os resultados obtidos, é possível calcular a carga térmica para calor dos produtos.

Na Figura 29 está mostrado o fluxograma de procedimento do programa para encontrar o resultado de Q_3 .

Figura 29 - Fluxograma para determinar a carga térmica dos produtos



5.5 Cálculo da carga térmica de ocupação

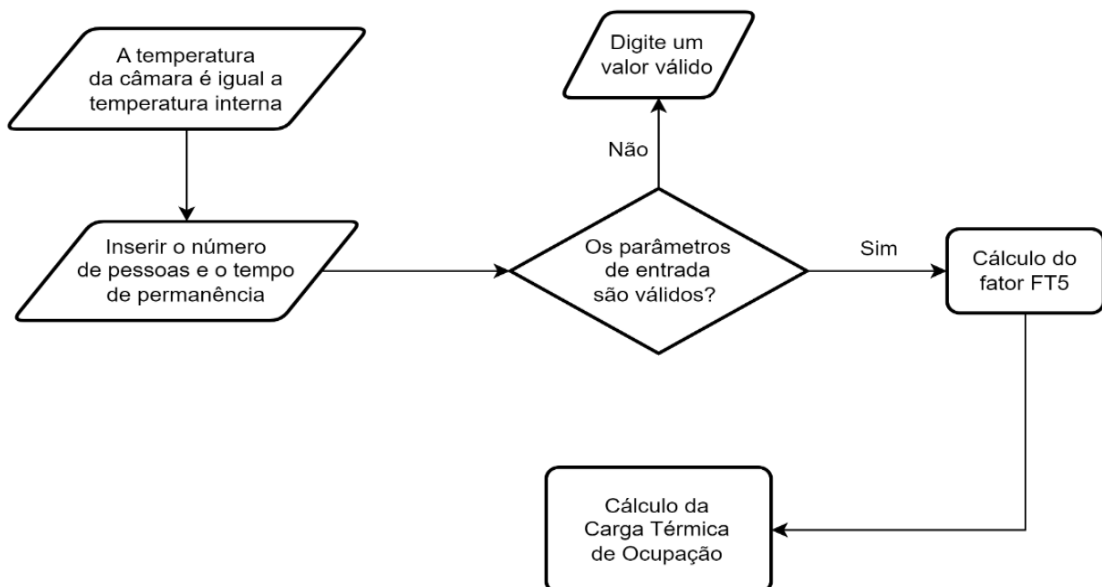
Para calcular a carga térmica de ocupação é necessário indicar os seguintes parâmetros: temperatura da câmara em °C, número de pessoas e tempo de permanência em horas.

A temperatura da câmara é igual a temperatura interna. Em relação ao número de pessoas, foi criada uma condição para que fosse maior ou igual a 1 pessoa e menor ou igual a 5 pessoas. Já em relação ao tempo de permanência, foi criada uma condição para que fosse maior ou igual a 1 hora e menor ou igual a 4 horas. Caso as condições não sejam atendidas, o algoritmo informa uma mensagem na tela do usuário para que seja indicado um valor válido para o parâmetro selecionado. Para o número de pessoas e o tempo de permanência, é utilizado o laço de repetição *while* para obter os resultados desejados.

Encontrando os resultados acima, é necessário obter o fator da carga de ocupação (FT_5), a partir da relação entre a temperatura da câmara e o calor equivalente por pessoa. Com isso, é possível calcular a carga térmica de ocupação.

Na Figura 30 está mostrado o fluxograma de procedimento do programa para encontrar o resultado de Q_4 .

Figura 30 - Fluxograma para determinar a carga térmica de ocupação



5.6 Cálculo da carga térmica de iluminação

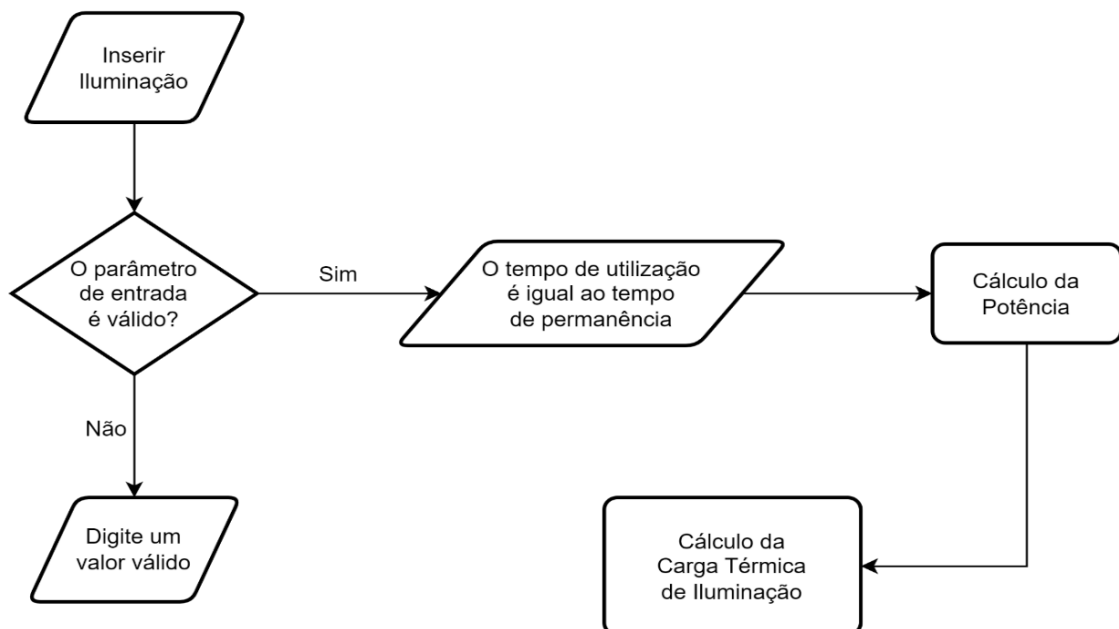
Para calcular a carga térmica de iluminação é necessário indicar os valores da iluminação em W/m^2 e do tempo de utilização em horas.

Com relação à iluminação, foi criada uma condição para que fosse maior ou igual a 1. Caso a condição não seja atendida, o algoritmo mostra uma mensagem na tela do usuário para que seja indicado um valor válido para o parâmetro selecionado. O tempo de utilização é igual ao tempo de utilização.

Por fim, é necessário calcular a potência em kW e, em seguida, realizar o cálculo da carga térmica de iluminação.

Na Figura 31 está mostrado o fluxograma de procedimento do programa para encontrar o resultado de Q_5 .

Figura 31 - Fluxograma para determinar a carga térmica de iluminação



Fonte: AUTOR (2023)

5.7 Cálculo da carga térmica devido aos motores

Para calcular a carga térmica devido aos motores é necessário indicar a porcentagem da potência dos motores, em formato decimal, na faixa de valores de 0,40 até 0,70. Caso a condição não seja atendida, o algoritmo mostra uma mensagem na tela do usuário para que seja indicado um valor válido para o parâmetro

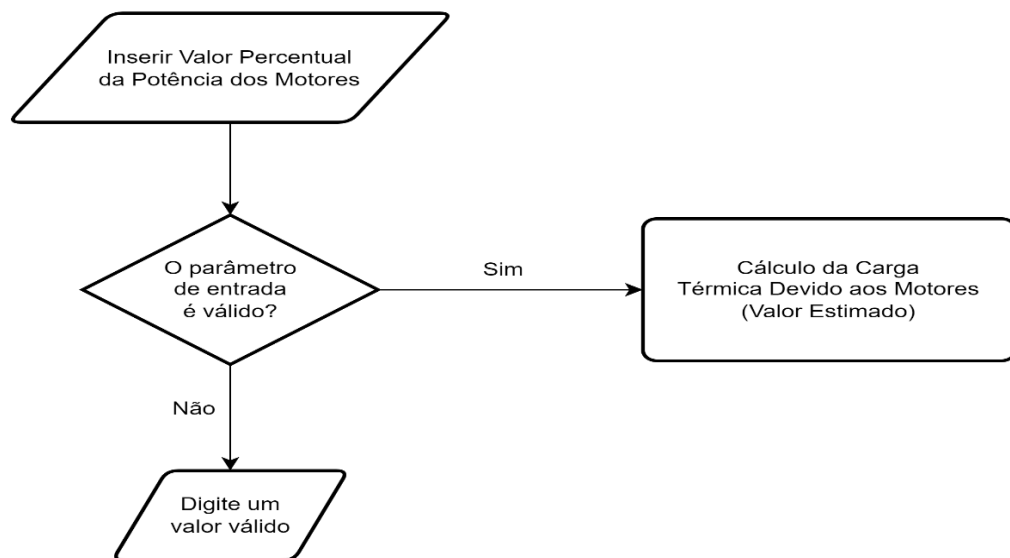
selecionado. Para este programa, foi recomendado utilizar um valor percentual de 0,60 para a potência dos motores.

Por fim, é calculada a carga térmica devido aos motores, sendo considerado um valor estimativo por não representar um valor real para uma câmara frigorífica.

A carga térmica dos produtos (Q_3), que tem influência no cálculo da carga térmica devido aos motores, representa em torno de 70% a 80% da carga térmica total diária da câmara frigorífica. Por isso, a carga térmica dos produtos foi selecionada para o cálculo da carga térmica devido aos motores. A faixa de valores escolhida para a percentagem da potência dos motores estão na tolerância estabelecida para utilização desse algoritmo.

Na Figura 32 está mostrado o fluxograma de procedimento do programa para encontrar o resultado de $Q_{6(estimado)}$.

Figura 32 - Fluxograma para determinar a carga térmica devido aos motores



Fonte: AUTOR (2023)

5.8 Cálculo da carga térmica de embalagem

Inicialmente foi necessário criar um *menu*, como mostrado na Figura 33, para o usuário selecionar o tipo de embalagem desejado, entre eles: alumínio, vidro, ferro ou aço, madeira, papel cartão e caixa de plástico.

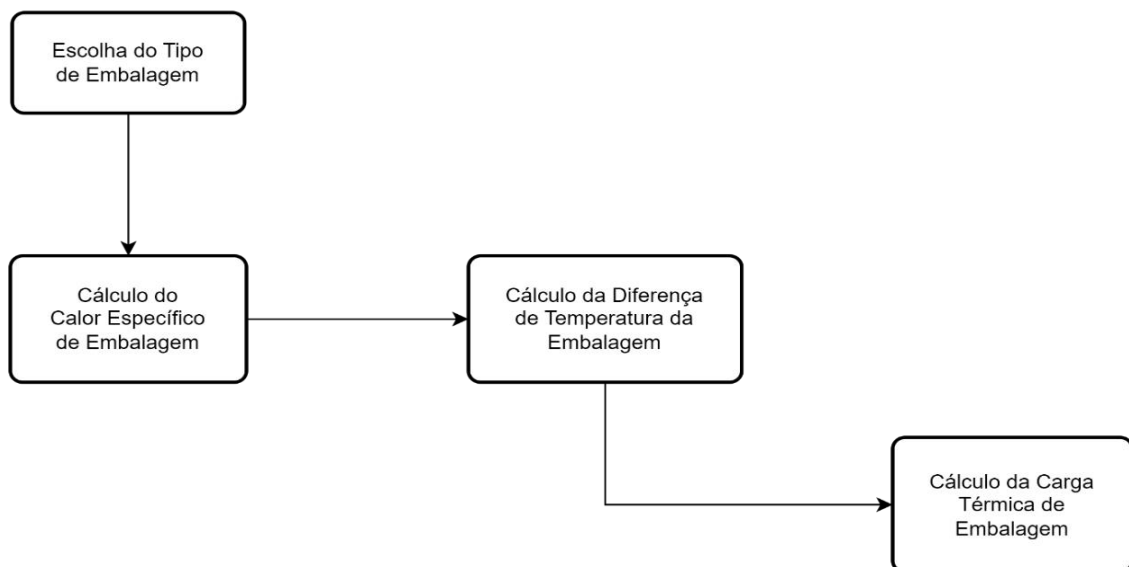
Figura 33 - Menu para selecionar o tipo de embalagem

Fonte: AUTOR (2023)

O valor do calor específico da embalagem será determinado a partir da escolha do tipo de embalagem.

Por fim, é possível calcular a diferença de temperatura da embalagem e, em seguida, determinar a carga térmica de embalagem.

Na Figura 34 está mostrado o fluxograma de procedimento do programa para encontrar o resultado de Q_7 .

Figura 34 - Fluxograma para determinar a carga térmica de embalagem

Fonte: AUTOR (2023)

5.9 Cálculo do dimensionamento da carga térmica

Para calcular a carga térmica total diária é necessário realizar o somatório de todas as sete parcelas de calor, encontrando o resultado com unidade em kcal/24h. Para calcular o dimensionamento da câmara frigorífica e obter a carga térmica total, juntamente com a capacidade de equipamento requerido, é necessário indicar o tempo de degelo em horas e o fator de segurança, sendo utilizado, em ambos os casos, o laço de repetição *while*.

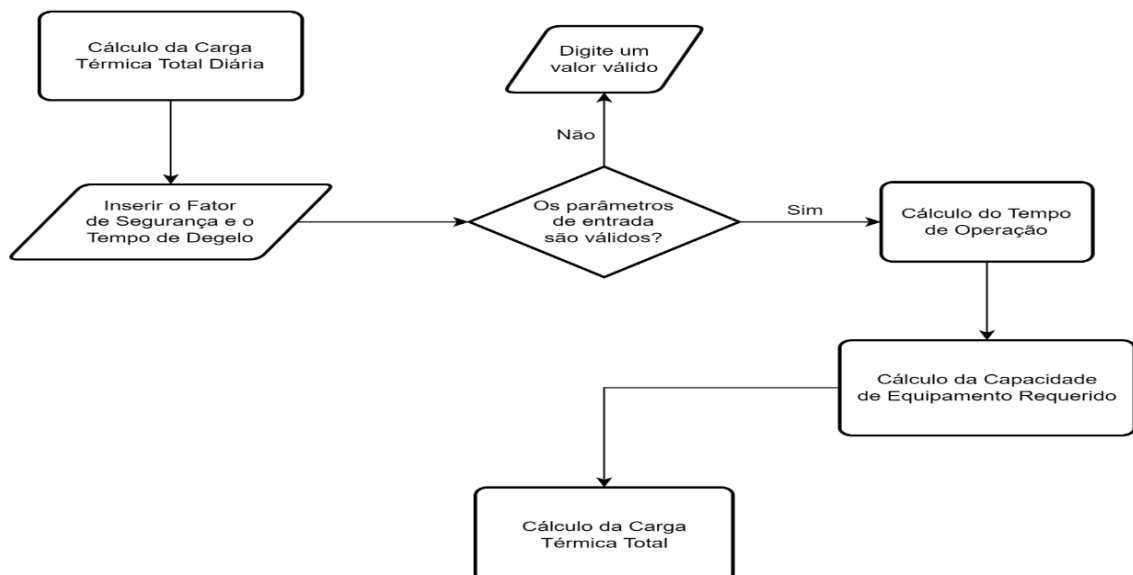
Para o fator de segurança, foi criada uma condição para que fosse maior ou igual a 1,06 e menor ou igual a 1,10. Já para o tempo de degelo, foi criada uma condição para que fosse maior ou igual a 2 horas e menor ou igual a 6 horas. Caso as condições não sejam atendidas, o algoritmo mostra uma mensagem na tela do usuário para que seja indicado um valor válido para o parâmetro selecionado.

Em seguida, é necessário calcular o tempo de operação em horas e a capacidade de equipamento requerido em kcal/h.

Por fim, é calculada a carga térmica total em kcal/h, obtendo o dimensionamento da carga térmica.

Na Figura 35 está mostrado o fluxograma de procedimento do programa para encontrar os resultados de $Q_{T(diaria)}$ e Q_T .

Figura 35 - Fluxograma para determinar o dimensionamento da carga térmica



5.10 Seleção da unidade evaporadora

Inicialmente, foram digitalizadas as tabelas dos modelos da unidade evaporadora, da capacidade em kcal/h e do número de ventiladores. A resistência de degelo, que representa a quantidade de serpentinas do equipamento de refrigeração, é igual a 1. Todos os dados foram utilizados do catálogo da Elgin, como mostrado nas Tabelas 9 e 10.

Foi criada, no programa desenvolvido, a tabela 3, para realizar uma busca na coluna da matriz da tabela correspondente para encontrar o valor da capacidade da unidade evaporadora, a partir do resultado encontrado para a temperatura de evaporação. Com isso, foi utilizado o laço de repetição *while* para selecionar a capacidade da unidade evaporadora que seja maior que a carga térmica total. Para encontrar o modelo da unidade evaporadora da câmara frigorífica, foram estabelecidas duas condições:

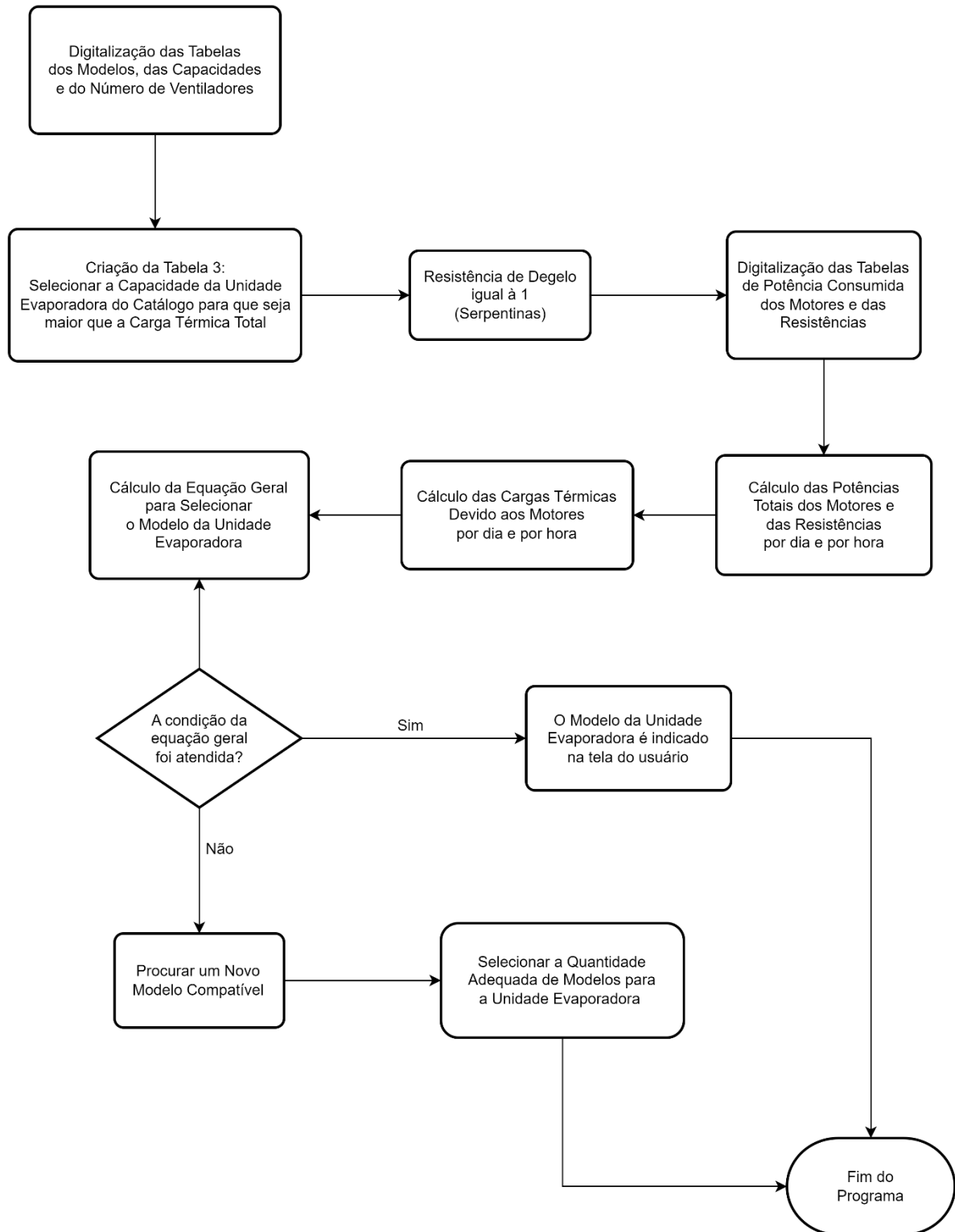
- A carga térmica devido aos motores do fabricante por dia, que representa o valor real, tem que ser menor que a carga térmica devido aos motores, de valor estimativo;
- A relação matemática de desigualdade da equação (35) tem que ser verdadeira para que o modelo da unidade evaporadora seja selecionado.

Foi utilizado, para as duas condições acima, o laço de repetição *while*. Inicialmente, foram digitalizadas as tabelas com os valores das potências consumidas dos motores e das resistências. Com isso, foi possível calcular a potência total dos motores e das resistências em dia e em horas, como também a carga térmica devido aos motores do fabricante em dia e em horas.

No laço de repetição *while*, foi criada uma estrutura condicional *if* e *else*, para que a relação matemática de desigualdade da equação (35) seja verdadeira. Caso a condição seja atendida, o algoritmo apresenta uma mensagem na tela do usuário, utilizando a função *fprintf*, descrevendo o modelo da unidade evaporadora que foi escolhido. Caso a condição não seja atendida, o algoritmo informa que o modelo da unidade evaporadora não é válido e que seja encontrado um modelo compatível, sendo então selecionada a quantidade adequada de unidades evaporadoras, com seus respectivos modelos.

Na Figura 36 está mostrado o fluxograma de procedimento do programa para realizar a seleção da unidade evaporadora.

Figura 36 - Fluxograma para realizar a seleção da unidade evaporadora



5.11 Seleção da unidade condensadora

Inicialmente, foram digitalizadas as tabelas dos modelos da unidade condensadora, das capacidades em kcal/h e dos consumos em W.

Foi criado um *menu*, como mostrado na Figura 37, para selecionar a temperatura ambiente externa desejada, sendo elas: 32°C, 35°C, 38°C e 43°C.

Figura 37 - Menu para selecionar a temperatura ambiente externa



Fonte: AUTOR (2023)

A partir da utilização do catálogo da Elgin, como mostrado na Tabela 9, o valor do diferencial de temperatura (*DTI*) é igual a 6°C. Os outros valores digitados na Tabela 8, para selecionar a unidade condensadora, foram utilizados do catálogo da Danfoss para baixas temperaturas, em que os equipamentos possuem dois tipos de fluidos refrigerantes: R404A e R507.

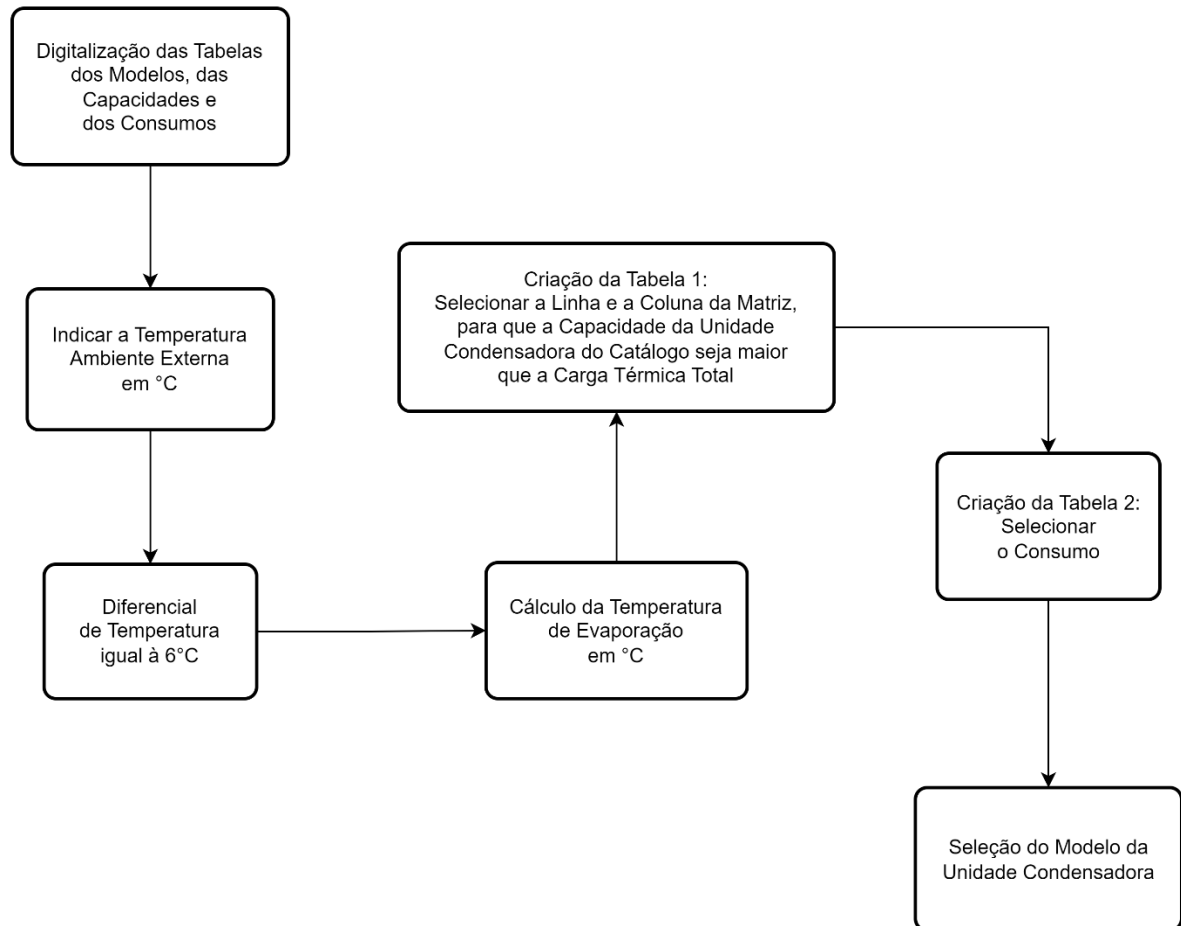
Foram criadas, no programa desenvolvido, as tabelas 1 e 2 que representam, respectivamente, os valores das capacidades e dos consumos, a partir da coluna da matriz da tabela correspondente. Encontrando a temperatura de evaporação em °C, são selecionados os seguintes parâmetros: capacidade, consumo e modelo da unidade condensadora.

Com isso, foi utilizado o laço de repetição *while*, a partir dos dados da tabela 1, para selecionar o valor da capacidade da unidade condensadora que seja maior do que a carga térmica total. Ou seja, até que a condição seja atendida, o algoritmo realiza uma busca na coluna da matriz da tabela correspondente para encontrar o

resultado desejado. Com isso, o algoritmo apresenta na tela do usuário as informações necessárias para a seleção do equipamento.

Na Figura 38 está mostrado o fluxograma de procedimento do programa para realizar a seleção da unidade condensadora.

Figura 38 - Fluxograma para realizar a seleção da unidade condensadora



Fonte: AUTOR (2023)

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção serão mostradas a verificação do programa desenvolvido, assim como a análise dos cenários de dimensionamento da carga térmica e seleção de unidades condensadora e evaporadora a partir da variação de parâmetros, sendo eles: valor percentual da potência dos motores, fator de segurança e tempo de degelo.

6.1 Verificação do programa desenvolvido

Para realizar a verificação do programa desenvolvido na plataforma MATLAB é necessário comparar os resultados obtidos nos estudos de autores que analisem as câmaras frigoríficas, de congelados e resfriados.

Para realizar a verificação do programa desenvolvido para câmaras frigoríficas de congelados e resfriados, foram selecionados dois trabalhos diferentes, coletando os dados utilizados por cada um deles e comparando os resultados encontrados pelos autores com os resultados obtidos através do software.

6.1.1 Verificação do programa para câmaras frigoríficas de congelados

Nos estudos desenvolvidos por Silva (2014), foi realizado o dimensionamento da carga térmica utilizando o peixe como produto. Já em relação aos estudos desenvolvidos por Vilain (2018), foi realizado o dimensionamento da carga térmica utilizando o limão como produto. Para ambos os casos, foi utilizada uma câmara frigorífica de congelados.

Nas Tabelas 11 e 12 estão mostrados os resultados obtidos para as parcelas de calor, carga térmica total diária, capacidade de equipamento requerido e carga térmica total, para peixe e limão, respectivamente. A partir dos resultados obtidos por Silva (2014) e Vilain (2018), foram inseridos os dados de cada um deles no software desenvolvido, obtendo assim os resultados mostrados em trabalho proposto. Por fim, é calculado o erro relativo para cada um dos parâmetros escolhidos.

Com relação as abordagens utilizadas em Silva (2014) e em Vilain (2018), é possível observar aplicações, em termos de equações e conceitos, semelhantes ao que foi implementado neste trabalho. Nos dois trabalhos, as parcelas de calor de motores e de embalagem são iguais a zero e, com isso, não interferem no dimensionamento da carga térmica. Utilizando a carga térmica total para analisar o valor percentual do erro relativo, é possível observar que houve uma variação de 1,63% em Silva (2014) e uma variação de 2,99% em Vilain (2018), sendo considerado um excelente resultado em ambos os casos. Com isso, pode-se concluir que não ocorrem interferências na seleção das unidades condensadora e evaporadora.

Tabela 11 - Resultados da comparação dos trabalhos e verificação de desenvolvimento do programa utilizando o peixe como produto

Tabela 11: Resultados - Comparativo de Trabalhos e Verificação do Programa - 1º Trabalho - Câmara Frigorífica de Congelados			
Produto: Peixe			
Parcelas de Calor	Trabalho Proposto	Resultados de (SILVA, 2014)	Erro Relativo (%)
Carga Térmica de Transmissão de Calor (kcal/dia)	11210	11210	0,00
Carga Térmica de Infiltração de Calor (kcal/dia)	14157	13767	2,83
Carga Térmica de Produtos (kcal/dia)	22005	21600	1,88
Carga Térmica de Ocupação (kcal/dia)	2028	2028	0,00
Carga Térmica de Iluminação (kcal/dia)	309,58	309,60	0,01
Carga Térmica devido aos Motores (kcal/dia)	0,001	0,001	0,00
Carga Térmica de Embalagem (kcal/dia)	0,001	0,001	0,00
Carga Térmica Total Diária (kcal/dia)	49709,58	48914,60	1,63
Capacidade de Equipamento Requerido (kcal/h)	2485,48	2445,73	1,63
Carga Térmica Total (kcal/h)	2734,03	2690,30	1,63
Observação: As parcelas de calor de motores e de embalagem são iguais a zero.			

Fonte: AUTOR (2023)

Tabela 12 - Resultados da comparação dos trabalhos e verificação de desenvolvimento do programa utilizando o limão como produto

Tabela 12: Resultados - Comparativo de Trabalhos e Verificação do Programa - 2º Trabalho - Câmara Frigorífica de Congelados			
Produto: Limão			
Parcelas de Calor	Trabalho Proposto	Resultados de (VILAIN, 2018)	Erro Relativo (%)
Carga Térmica de Transmissão de Calor (kcal/dia)	8080	9722,38	16,89
Carga Térmica de Infiltração de Calor (kcal/dia)	9894	9669,3	2,32
Carga Térmica de Produtos (kcal/dia)	27439	24729,6	10,96
Carga Térmica de Ocupação (kcal/dia)	466	420	10,95
Carga Térmica de Iluminação (kcal/dia)	206	206,9	0,43
Carga Térmica devido aos Motores (kcal/dia)	0,001	0,001	0,00
Carga Térmica de Embalagem (kcal/dia)	0,001	0,001	0,00
Carga Térmica Total Diária (kcal/dia)	46085,00	44748,18	2,99
Capacidade de Equipamento Requerido (kcal/h)	2880,31	2796,76	2,99
Carga Térmica Total (kcal/h)	2880,31	2796,76	2,99
Observação: As parcelas de calor de motores e de embalagem são iguais a zero.			

Fonte: AUTOR (2023)

6.1.2 Verificação do programa para câmaras frigoríficas de resfriados

Nos estudos desenvolvidos por Silva (2014), foi realizado o dimensionamento da carga térmica utilizando a carne bovina como produto. Já em relação aos estudos desenvolvidos por Vilain (2018), foi realizado o dimensionamento da carga térmica utilizando o morango como produto. Para ambos os casos, foi utilizada uma câmara frigorífica de resfriados. Especificamente no trabalho de Vilain (2018), não foi selecionado um tipo de produto específico, sendo descrito o valor da massa total de verduras e frutas. Portanto, foi escolhido o morango por causa das propriedades desse produto serem semelhantes ao que foi implementado nos estudos do autor citado.

Nas Tabelas 13 e 14 estão mostrados os resultados obtidos para as parcelas de calor, carga térmica total diária, capacidade de equipamento requerido e carga térmica total, para carne bovina e morango, respectivamente. A partir dos resultados obtidos por Silva (2014) e Vilain (2018), foram inseridos os dados de cada um deles no software desenvolvido, obtendo assim os resultados mostrados em trabalho proposto. Por fim, é calculado o erro relativo para cada um dos parâmetros escolhidos.

Com relação as abordagens utilizadas em Silva (2014) e em Vilain (2018), é possível observar aplicações, em termos de equações e conceitos, semelhantes ao que foi implementado neste trabalho. Nos dois trabalhos, as parcelas de calor de motores e de embalagem são iguais a zero e, com isso, não interferem no dimensionamento da carga térmica. Utilizando a carga térmica total para analisar o valor percentual do erro relativo, é possível observar que houve uma variação de 8,55% em Silva (2014) e uma variação de 9,47% em Vilain (2018), sendo considerado um bom resultado em ambos os casos. Mesmo que os valores percentuais de erro relativo estejam mais acentuados que os resultados obtidos nas câmaras frigoríficas de congelados, pode-se concluir que não haverá interferência na seleção das unidades condensadora e evaporadora.

Tabela 13 - Resultados da comparação dos trabalhos e verificação de desenvolvimento do programa utilizando a carne bovina como produto

Tabela 13: Resultados - Comparativo de Trabalhos e Verificação do Programa - 1° Trabalho - Câmara Frigorífica de Resfriados			
Produto: Carne Bovina			
Parcelas de Calor	Trabalho Proposto	Resultados de (SILVA,2014)	Erro Relativo (%)
Carga Térmica de Transmissão de Calor (kcal/dia)	5056	4800	5,33
Carga Térmica de Infiltração de Calor (kcal/dia)	8798,4	7862,4	11,90
Carga Térmica de Produtos (kcal/dia)	5405,4	5082	6,36
Carga Térmica de Ocupação (kcal/dia)	774	699	10,73
Carga Térmica de Iluminação (kcal/dia)	154,8	154,8	0,00
Carga Térmica devido aos Motores (kcal/dia)	0	0	0,00
Carga Térmica de Embalagem (kcal/dia)	0	0	0,00
Carga Térmica Total Diária (kcal/dia)	20189	18598	8,55
Capacidade de Equipamento Requerido (kcal/h)	1009,43	929,91	8,55
Carga Térmica Total (kcal/h)	1110,373	1023	8,55
Observação: As parcelas de calor de motores e de embalagem são iguais a zero.			

Fonte: AUTOR (2023)

Tabela 14 - Resultados da comparação dos trabalhos e verificação de desenvolvimento do programa utilizando o morango como produto

Tabela 14: Resultados - Comparativo de Trabalhos e Verificação do Programa - 2º Trabalho - Câmara Frigorífica de Resfriados			
Produto: Morango			
Parcelas de Calor	Trabalho Proposto	Resultados de (VILAIN,2018)	Erro Relativo (%)
Carga Térmica de Transmissão de Calor (kcal/dia)	7906,00	9722,38	18,68
Carga Térmica de Infiltração de Calor (kcal/dia)	11322,00	9669,30	17,09
Carga Térmica de Produtos (kcal/dia)	27556,00	24729,60	11,43
Carga Térmica de Ocupação (kcal/dia)	466,00	420,00	10,95
Carga Térmica de Iluminação (kcal/dia)	206,40	206,90	0,24
Carga Térmica devido aos Motores (kcal/dia)	0,00	0,00	0,00
Carga Térmica de Embalagem (kcal/dia)	0,00	0,00	0,00
Carga Térmica Total Diária (kcal/dia)	48986,00	44748,18	9,47
Capacidade de Equipamento Requerido (kcal/h)	2226,64	2034,01	9,47
Carga Térmica Total (kcal/h)	2449,30	2237,41	9,47
Observação: As parcelas de calor de motores e de embalagem são iguais a zero.			

Fonte: AUTOR (2023)

6.2 Análise de cenários

Com o desenvolvimento do algoritmo, utilizando a plataforma MATLAB, para sistemas frigoríficos de pequeno porte, mais especificamente as câmaras frigoríficas, foi possível obter um programa automatizado, encontrando resultados satisfatórios e assim realizar as análises necessárias, para o cálculo do dimensionamento da carga térmica e, portanto, a seleção das unidades condensadora e evaporadora.

Para desenvolver os testes, foram utilizadas as câmaras frigoríficas de congelados e resfriados, a partir dos seguintes produtos: leite, bacalhau e aves. Para realizar as análises dos cenários utilizando o leite como produto, foi escolhida a câmara frigorífica de resfriados, a partir da variação de aumento do valor percentual da potência dos motores. Já para realizar as análises dos cenários utilizando o bacalhau e as aves, foi escolhida a câmara frigorífica de congelados, a partir da variação de aumento do fator de segurança e do tempo de degelo, respectivamente.

6.2.1 Resultados obtidos para câmaras frigoríficas de resfriados utilizando o leite como produto

O cenário para realização dos testes está descrito a seguir: Determine a carga térmica total diária em kcal/24h, o dimensionamento para obter a carga térmica total em kcal/h e a seleção das unidades condensadora e evaporadora, em uma câmara frigorífica de resfriados, necessária para armazenar leite, com densidade de 350 litros/m³. A câmara possui 2m de largura, 3m de profundidade e 2,5m de altura. O tipo de isolamento utilizado é o poliuretano de painel, com espessura de 100mm. As condições externas são de 25°C de temperatura externa e 60% de umidade relativa. A temperatura interna de armazenamento do produto é igual a 0°C, sendo que o produto chega com temperatura de 5°C, representando assim a temperatura de entrada do produto. O produto possui embalagem do tipo caixa de plástico, com calor específico de 0,4 kcal/kg. Essa câmara terá uma pessoa operando durante 4 horas para o abastecimento da mesma. Considere a iluminação de 12 W/m². Será utilizado o uso não intenso para o projeto da câmara frigorífica. Para realizar a seleção das unidades condensadora e evaporadora, será considerado o diferencial de temperatura igual a 6°C, a resistência de degelo igual a 1, com temperatura ambiente externa de 35°C. Todos os valores citados para seleção das unidades condensadora e evaporadora foram utilizados dos catálogos da Danfoss e Elgin.

6.2.1.1 Variação de aumento do valor percentual da potência dos motores utilizando o leite como produto

Para a variação de aumento do valor percentual da potência dos motores, serão utilizados dois casos: 50% e 70%, para o tempo de degelo de 4h e o fator de segurança de 10%. Na Tabela 15 estão mostrados os resultados obtidos com a realização dos testes para a variação de aumento do valor percentual da potência dos motores, sendo descrita de forma decimal.

Tabela 15 - Resultados da variação de aumento do valor percentual da potência dos motores utilizando leite como produto

Tabela 15: Resultados - Variação de Aumento do Valor Percentual da Potência dos Motores - Câmara Frigorífica de Resfriados		
Produto: Leite		
Parâmetros	N_Percentual = 50%	N_Percentual = 70%
Carga Térmica Total	1174,1 kcal/h	1236,1 kcal/h
Capacidade da Unidade Condensadora	2864 kcal/h	2864 kcal/h
Capacidade da Unidade Evaporadora	1883 kcal/h	1883 kcal/h
Modelo da Unidade Condensadora	OP-LJZ048D	OP-LJZ048D
Modelo da Unidade Evaporadora	FLA017	FLA017

Fonte: AUTOR (2023)

6.2.2 Resultados obtidos para câmaras frigoríficas de congelados utilizando o bacalhau como produto

O cenário para realização dos testes está descrito a seguir: Determine a carga térmica total diária em kcal/24h, o dimensionamento para obter a carga térmica total em kcal/h e a seleção das unidades condensadora e evaporadora, em uma câmara frigorífica de congelados, necessária para armazenar bacalhau, com densidade de 300 kg/m³. A câmara possui 2m de largura, 3m de profundidade e 2,5m de altura. O tipo de isolamento utilizado é o isopor, com espessura de 150mm. As condições externas são de 30°C de temperatura externa e 60% de umidade relativa. A temperatura interna de armazenamento do produto é igual a -18°C, sendo que o produto chega com temperatura de 0°C, representando assim a temperatura de entrada do produto. O produto possui embalagem do tipo caixa de plástico, com calor específico de 0,4 kcal/kg. Essa câmara terá uma pessoa operando durante 2 horas para o abastecimento da mesma. Considere a iluminação de 15 W/m². Será utilizado o uso não intenso para o projeto da câmara frigorífica. Para realizar a seleção das unidades condensadora e evaporadora, será considerado o diferencial de temperatura igual a 6°C, a resistência de degelo igual a 1, com temperatura ambiente externa de 35°C. Todos os valores citados para seleção das unidades condensadora e evaporadora foram utilizados dos catálogos da Danfoss e Elgin.

6.2.2.1 Variação de aumento do fator de segurança utilizando o bacalhau como produto

Para a variação de aumento do fator de segurança, serão utilizados dois casos: 6% e 10%, para o tempo de degelo de 4h e o valor percentual da potência dos motores de 60% da carga térmica dos produtos. Na Tabela 16 estão mostrados os resultados obtidos com a realização dos testes para a variação de aumento do fator de segurança, sendo descrita de forma decimal.

Tabela 16 - Resultados da variação de aumento do fator de segurança utilizando bacalhau como produto

Tabela 16: Resultados - Variação de Aumento do Fator de Segurança - Câmara Frigorífica de Congelados		
Produto: Bacalhau		
Parâmetros	Fator de Segurança = 1,06	Fator de Segurança = 1,10
Carga Térmica Total	7326,6 kcal/h	7603,1 kcal/h
Capacidade da Unidade Condensadora	8131 kcal/h	8131 kcal/h
Capacidade da Unidade Evaporadora	9064 kcal/h	9064 kcal/h
Modelo da Unidade Condensadora	OP-LGZ215D	OP-LGZ215D
Modelo da Unidade Evaporadora	FLA086	FLA086

Fonte: AUTOR (2023)

6.2.3 Resultados obtidos para câmaras frigoríficas de congelados utilizando aves como produto

O cenário para realização dos testes está descrito a seguir: Determine a carga térmica total diária em kcal/24h, o dimensionamento para obter a carga térmica total em kcal/h e a seleção das unidades condensadora e evaporadora, em uma câmara frigorífica de congelados, necessária para armazenar aves, com densidade de 250 kg/m³. A câmara possui 2m de largura, 3m de profundidade e 2,5m de altura. O tipo de isolamento utilizado é o poliuretano de placa, com espessura de 100mm. As condições externas são de 25°C de temperatura externa e 60% de umidade relativa. A temperatura interna de armazenamento do produto é igual a -18°C, sendo que o produto chega com temperatura de 0°C, representando assim a temperatura de entrada do produto. O produto possui embalagem do tipo caixa de plástico, com calor específico de 0,4 kcal/kg. Essa câmara terá uma pessoa operando durante 4 horas para o abastecimento da mesma. Considere a iluminação de 10 W/m². Será utilizado

o uso não intenso para o projeto da câmara frigorífica. Para realizar a seleção das unidades condensadora e evaporadora, será considerado o diferencial de temperatura igual a 6°C, a resistência de degelo igual a 1, com temperatura ambiente externa de 35°C. Todos os valores citados para seleção das unidades condensadora e evaporadora foram utilizados dos catálogos da Danfoss e Elgin.

6.2.3.1 Variação de aumento do tempo de degelo utilizando aves como produto

Para a variação de aumento do tempo de degelo, serão utilizados três casos: 2h, 4h e 6h, com fator de segurança de 10% e valor percentual da potência dos motores de 60% da carga térmica dos produtos. Na Tabela 17 estão mostrados os resultados obtidos com a realização dos testes para a variação de aumento do tempo de degelo.

Tabela 17 - Resultados da variação de aumento do tempo de degelo utilizando aves como produto

Tabela 17: Resultados - Variação de Aumento do Tempo de Degelo - Câmara Frigorífica de Congelados			
Produto: Aves			
Parâmetros	Tempo de Degelo = 2h	Tempo de Degelo = 4h	Tempo de Degelo = 6h
Carga Térmica Total	5321,8 kcal/h	5854 kcal/h	6504,5 kcal/h
Capacidade da Unidade Condensadora	5415 kcal/h	8131 kcal/h	8131 kcal/h
Capacidade da Unidade Evaporadora	5959 kcal/h	5959 kcal/h	6676 kcal/h
Modelo da Unidade Condensadora	OP-LJZ136D	OP-LGZ215D	OP-LGZ215D
Modelo da Unidade Evaporadora	FLA053	FLA053	FLA065

Fonte: AUTOR (2023)

Na Figura 39 está mostrada a janela de comando do programa desenvolvido na plataforma MATLAB com os dados de entrada que são inseridos, para um tempo de degelo de 2h utilizando aves como produto.

Figura 39 - Janela de comando do programa desenvolvido para um tempo de degelo de 2h utilizando aves como produto

```

Command Window
>> Dimensionamento_Camaras_Frigorificas_Versao_INPI
Indique a espessura, de 0mm até 200mm: 100
Indique a temperatura externa, de 15°C até 40°C: 25
Indique a temperatura interna, de -40°C até 15°C: -18
Indique a largura em metros: 2
Indique a profundidade em metros: 3
Indique a altura em metros: 2.50
Indique o valor percentual da umidade relativa, de 0% até 100%: 60
Indique a temperatura de entrada do produto, de -25°C até 30°C: 0
Esta condição representa uma câmara frigorífica de congelados.
Indique o número de pessoas, de 1 pessoa até 5 pessoas: 1
Indique o tempo de permanência, de 1h até 4h: 4
Indique a iluminação em W/m^2: 10
Indique a percentagem da potência dos motores, escrita em forma decimal, de 0.5 até 0.7: 0.6
Indique o fator de segurança, de 1.06 até 1.10: 1.10
Indique o tempo de degelo, de 2h até 8h: 2
A partir do catálogo utilizado, o valor do DTI é igual a 6°C.
A partir do catálogo utilizado, o valor da resistência de degelo é igual a 1, para representar a quantidade de serpentinas do equipamento.
O modelo escolhido foi: FLA053.
fx >>

```

Fonte: AUTOR (2023)

6.3 Considerações críticas dos resultados

Foram realizados testes em câmaras frigoríficas de congelados e resfriados, com três produtos diferentes, sendo eles: leite, bacalhau e aves, classificados nas categorias de variedades, peixes, carnes e derivados, respectivamente.

Com isso, foram selecionados os principais parâmetros para a realização da análise dos resultados obtidos do dimensionamento da carga térmica e da seleção das unidades condensadora e evaporadora, sendo eles: carga térmica total; capacidade e modelos das unidades condensadora e evaporadora.

Para analisar os testes, a partir do programa desenvolvido no MATLAB, foram realizadas variações de aumento em três parâmetros: valor percentual da potência dos motores; fator de segurança e tempo de degelo. Dentre esses parâmetros, o tempo de degelo é essencial na análise operacional da câmara frigorífica. O parâmetro do valor percentual da potência dos motores representa uma técnica numérica de estimativa. Já o parâmetro do fator de segurança representa um método de dimensionamento. Com isso, será mostrado no próximo tópico a influência da variação de aumento do tempo de degelo.

6.3.1 Influência da variação de aumento do tempo de degelo

Para os três casos realizados de tempo de degelo (2h, 4h e 6h) foi possível observar que os parâmetros influenciados diretamente são: carga térmica total; capacidades e modelos das unidades condensadora e evaporadora.

Na Tabela 18 estão mostrados os resultados obtidos para as cargas térmicas totais para os tempos de degelo de 2h e 6h, utilizando aves como produto. A partir dos valores encontrados, é possível observar um percentual de aumento de 22,2% de carga térmica total.

Tabela 18 - Resultados para o percentual de aumento da carga térmica total a partir da variação de aumento do tempo de degelo

Tabela 18: Análise e Discussão dos Resultados - Percentual de Aumento (%)			
Parâmetros: Tempo de Degelo e Carga Térmica Total			
Tipo de Produto	Tempo de Degelo = 2h	Tempo de Degelo = 6h	Percentual de Aumento (%)
Aves	5321,8 kcal/h	6504,5 kcal/h	22,2

Fonte: AUTOR (2023)

Com isso, é possível concluir que o aumento da formação de gelo na serpentina do evaporador está ligado ao aumento da umidade relativa dentro da câmara frigorífica, ou seja, com a diminuição do diferencial de temperatura, a umidade relativa internamente à câmara aumenta, impactando no aumento do tempo de degelo, que influencia diretamente no aumento da carga térmica total. Conseqüentemente, com o aumento da carga térmica total, o consumo de energia elétrica da câmara frigorífica também aumenta.

7 CONCLUSÕES

A implementação de um algoritmo para estudar as câmaras frigoríficas de congelados e resfriados é essencial para o dimensionamento adequado de um sistema frigorífico. Com o programa desenvolvido neste trabalho, é possível calcular o dimensionamento da carga térmica e realizar a seleção das unidades condensadora e evaporadora.

Em relação aos resultados obtidos durante o trabalho, é possível concluir que, a partir do aumento do tempo de degelo, foi evidente observar variações em diferentes fatores, sendo a carga térmica total o principal deles, por influenciar diretamente no cálculo do dimensionamento e, portanto, na seleção das unidades condensadora e evaporadora.

Dentre os parâmetros analisados, o tempo de degelo possui influência no método operacional do sistema frigorífico, que pode ser evidenciado pelo aumento de carga térmica, com percentual de aumento de 22,2%, a partir dos testes realizados para tempos de degelo de 2h e 6h. Já em relação aos outros dois parâmetros analisados, valor percentual da potência dos motores e fator de segurança, possuem influência na formulação numérica desenvolvida no programa.

Desta forma, pode-se concluir que o programa desenvolvido no MATLAB apresenta um excelente desempenho, atingindo os resultados almejados e com todos os objetivos alcançados. É esperado que este trabalho, juntamente com o algoritmo desenvolvido, possa ser utilizado em trabalhos futuros na área de refrigeração e climatização. Por fim, a pesquisa como um todo é essencial para o desenvolvimento acadêmico do estudante de graduação para construir e desenvolver os conhecimentos científicos, visto que, na engenharia, é primordial conquistar conhecimentos teóricos com experiências práticas.

7.1 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, em relação às câmaras frigoríficas, pode ser estudado e implementado os seguintes temas e análises:

- Inserir mais catálogos no programa, desenvolvido na plataforma MATLAB, para diferentes empresas que atuam na área de refrigeração e climatização;

- Desenvolver o cálculo do dimensionamento de tubulações para seleção do diâmetro da linha de líquido e linha de sucção;
- Análise orçamentária com objetivo de avaliar um menor custo com maior eficiência para um sistema frigorífico;
- Realizar a seleção de componentes de uma câmara frigorífica;
- Instalação do sistema elétrico de uma câmara frigorífica;
- Realizar o dimensionamento de acessórios de uma câmara frigorífica.

REFERÊNCIAS

ALVES, Antônio Henrique Braga *et al.* Análise experimental do consumo de energia em câmaras frigoríficas: estudo da influência do ajuste da temperatura interna final (setpoint). In: I CONGRESSO NACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, EXERGIA E SUSTENTABILIDADE, 1., 2020, Natal/RN. **Artigo científico**. Natal: Ceres: Congresso Nacional de Energias Renováveis, Exergia e Sustentabilidade, 2020. p. 1-12.

CAMPOS, Mariana Barbosa. **A conservação de alimentos por refrigeração: uma revisão e uma proposta de dimensionamento de uma câmara de armazenamento para massa de pão congelada**. 2021. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/61546/3/2021_tcc_mbcampos.pdf. Acesso em: 10 nov. 2023.

CHAGAS, José Augusto Castro. **Projeto e construção de câmaras frigoríficas**. YORK Refrigeration. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/9/98/Projetocamaras.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2023.

COSTA, Mariana Alves da. **Estudo e avaliação de um sistema de refrigeração industrial: estimativa de carga térmica e capacidade frigorífica**. 2018. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2018. Disponível em: https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1401/1/tcc_marianaalvesdacosta.pdf. Acesso em: 05 set. 2023.

COUTO, Lara Cristina Resende Silva *et al.* Estudo das câmaras frigoríficas de um restaurante universitário. In: CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 14., 2016, Uberlândia. **XIV CEEL – Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica**. Uberlândia: Ceel, 2016. p. 1-5. Disponível em: https://www.peteletricaufu.com.br/static/ceel/doc/artigos/artigos2016/ceel2016_artigo_153_r01.pdf. Acesso em: 05 set. 2023.

DANFOSS. **Unidades condensadoras OPTYMA TM**: mais leves e compactas instalação rápida e manutenção simples. Mais leves e compactas instalação rápida e manutenção simples. 2023. Catálogo. Disponível em: <https://assets.danfoss.com/documents/latest/259368/AF121386439414pt-BR0801.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2023.

ELGIN. **Evaporador flexcold de baixo perfil**. 2021. Catálogo. Disponível em: https://www.refrimarket.com.co/wp-content/uploads/2022/06/imgCard_adab4adf-7a56-4e70-94d7-9534d2d34c76_Evaporador-FL-Julho-2021.pdf. Acesso em: 14 nov. 2023.

EMBRAR. **Válvula de Expansão Termostática Equalização Externa 3/8" e 1/2" R404A/R507 Rosca SAE (TES2)**. 2018. Fotografia. Disponível em:

<https://www.embrar.com.br/valvula-expanso-equalizacao-externa-tes2/p>. Acesso em: 04 nov. 2023.

ESCOLA DO HVAC. Visor de Líquido, o que é este componente de refrigeração e para que serve? 2020. **Blog**. Disponível em: <https://escoladohvac.com.br/2020/12/13/visor-de-liquido/>. Acesso em: 04 nov. 2023.

FERREIRA, Alex Duarte. **Análise do dimensionamento de câmaras frigoríficas de uma distribuidora de bebidas com relação à demanda de utilização**. 2021. 85 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/3378/6/MONOGRRAFIA_An%C3%A1liseDimensionamentoC%C3%A2maras.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.

FERREIRA NETO, Josué *et al.* Avaliação das câmaras frias usadas para o armazenamento de frutas e hortaliças no entreposto terminal de São Paulo (CEAGESP). **Associação Brasileira de Engenharia Agrícola - Sbea**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 832-839, set./dez. 2006. Bimestral. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/xnXjr4BGdbvtpksSQGcCZ4y/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 set. 2023.

FRANCO, S.s. *et al.* Análise experimental do desempenho de um protótipo de refrigeração por compressão mecânica para conservação de alimentos através do uso de dispositivos de expansão termostática e eletrônica. In: XVI CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR, 16., 2019, São Paulo. **Artigo científico**. São Paulo: Conbrava, 2019. p. 1-11.

FRANCO, S.s. *et al.* Thermal analysis and development of PID control for electronic expansion device of vapor compression refrigeration systems. **Applied Thermal Engineering**, Recife, v. 206, p. 118130, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118130>.

FRIGELAR. **Por que optar por válvula de expansão eletrônica?** 2022. Blog Frigelar. Disponível em: <https://blog.frigelar.com.br/por-que-optar-por-valvula-de-expansao-eletronica/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

GFRIO. **Principais vantagens de uma câmara frigorífica modular**. Disponível em: <https://www.gfrio.com.br/camara-frigorifica-modular>. Acesso em: 01 jul. 2023.

HEATCRAFT. **Treinamento técnico avançado**. São José dos Campos: Heatcraft, 2014. 114 p. Apostila. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Documents/Downloads/Apostila%20-%20Treinamento%20T%C3%A9cnico%20Avan%C3%A7ado.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2020.

NHAMIRRE, Dionísio Simão. **Dimensionamento de câmaras frigoríficas para conservação de atum em Moçambique**. 2018. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Máquinas Marítimas, Departamento de Engenharia Marítima,

Escola Superior Náutica Infante D. Henrique, Paço de Arcos, 2018. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/40922/1/Tese%20Final.%20Dionisio%20Nhamirre.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

OLIVEIRA, Marcio de; PAIVA, Vinicius Tineli. **Análise de desempenho das câmaras frigoríficas do RU-UFES**. 2016. 103 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2016-1_colocar_no_site_marcio_de_oliveira_e_vinicius_tineli_paiva_.pdf. Acesso em: 11 nov. 2023.

PASCHOAL, Blog do Seu. **Preserve a sua câmara frigorífica com 10 dicas**. 2022. Disponível em: <https://seupaschoal.blog.br/preserve-a-sua-camara-frigorifica-com-10-dicas/>. Acesso em: 15 out. 2023.

PEREIRA, Vítor de Freitas *et al.* Avaliação de temperaturas em câmaras frigoríficas de transporte urbano de alimentos resfriados e congelados. **Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 158-165, jan./mar. 2010. Bimestral. Congresso Internacional de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/3yWZ3bw78MR9QYhWqdDTQyL/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 set. 2023.

PRATECOM. **Prateleiras para câmara fria**. Disponível em: <https://www.pratecom.com.br/prateleiras-para-camara-fria>. Acesso em: 15 out. 2023.

ROSA, Ademar Evandro. **Frigofácil: Sistema de dimensionamento de câmaras frigoríficas**. 2000. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/78216/153110.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 nov. 2023.

SALES, Wilian. **Conheça os tipos de câmaras frigoríficas**. 2019. Friomilia Refrigeração. Disponível em: <https://friomilia.com.br/conheca-os-tipos-de-camaras-frigorificas/>. Acesso em: 02 nov. 2023.

SANTOS, Guilherme. **Pressostato: O que é, para que serve e tipos**. 2022. Automação Industrial. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/pressostato/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

SARDANHA. **Filtro secador Danfoss 3/8 Dml 083 023z5040 rosca**. Sardanha Comércio de Peças e Acessórios Eletroeletrônicos LTDA. Disponível em: <https://sardanharefrigeracao.com.br/produto/filtro-danfoss-dml083r-3-8-rosca-023z5040-refrigeracao/>. Acesso em: 04 nov. 2023.

SARDANHA. **Válvula solenoide Vse012 1/2 rosca (com bobina) Elgin**. Sardanha Comércio de Peças e Acessórios Eletroeletrônicos LTDA. Disponível em:

<https://sardanharefrigeracao.com.br/produto/valvula-solenoides-elgin-1-2-solda-com-bobina/>. Acesso em: 05 nov. 2023.

SEVERINO, João Victor *et al.* Projeto de câmara frigorífica para armazenamento de carne bovina. In: ANAIS DO XVIII CONEMI - CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA E INDUSTRIAL, 18., 2018, Joinville. **Anais eletrônicos**. Campinas: Galoá, 2018. p. 3-10. Disponível em: <https://proceedings.science/anais-do-conemi/conemi-2018/trabalhos/projeto-de-camara-frigorifica-para-armazenamento-de-carne-bovina?lang=pt-br#>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SILVA, Alessandro da. **Câmaras frigoríficas - aplicação, tipos, cálculo da carga térmica e boas práticas de utilização visando a racionalização da energia elétrica**. (2014), 1-22. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Documents/Downloads/C%C3%A2maras%20Frigor%C3%ADficas%20%C2%AD%20Aplica%C3%A7%C3%A3o,%20tipos,%20c%C3%A1lculo%20da%20carga%20t%C3%A9rmica%20e%20boas%20pr%C3%A1ticas%20de%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20visando%20a%20racionaliza%C3%A7%C3%A3o%20da%20energia%20el%C3%A9trica.pdf>. Acesso em: 10 maio 2020.

SILVA, Ivanilson Inácio da. **Porta giratória para câmara fria 70MM 1,80X0,80 4BAT D/E**. Fotografia. Disponível em: <https://bcminterservice.com.br/refrigeracao-comercial/painel-frigo-pir/porta-giratoria-para-camara-fria-70mm-1-80x0-80-4bat-d-e-99708.html>. Acesso em: 14 nov. 2023.

SOUSA, Consuelo L.; FARIA, Cláudia Puerari; NEVES, Elisa Cristina Andrade. Avaliação da temperatura de balcões e câmaras frias de armazenamento de queijos e embutidos em supermercados da cidade de Belém - PA (Brasil). **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 21, n. 1, p. 181-192, jan./jun. 2003. Semestral. Diário. Disponível em: <https://docplayer.com.br/18822052-Avaliacao-da-temperatura-de-balcoes-e-camaras-frias-de-armazenamento-de-queijos-e-embutidos-em-supermercados-da-cidade-de-belem-pa-brasil.html>. Acesso em: 01 jul. 2023.

TÉCNICO, Blog Desenho. **PIR – Projeto de câmaras frias**. Disponível em: <https://blogdesenhotecnico.wordpress.com/pir-projeto-de-camaras-frias/>. Acesso em: 10 nov. 2023.

TECTERMICA. **Isolamento térmico tradicional para câmara fria e câmara frigorífica**. Fotografia. Disponível em: https://www.tectermica.com.br/assets/camara-frigorifica-alvenaria_camara-fria-alvenaria_isolamento-termico-tradicional_catalogo-tecnico.pdf. Acesso em: 01 jul. 2023.

VILAIN, Rogério (org.). **Projeto de câmaras frias de pequeno porte**. São José: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (If-Sc), 2018. 79 p. Apostila revisada e ampliada por: Jesué Graciliano Silva e Vitor Farias de Borba. Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/9/94/Apostila_parte_1.pdf. Acesso em: 03 jul. 2023.

ZANOTTI. **Painel isotérmico: aprenda o que é e onde pode ser aplicado.** 2023. Blog Zanotti Refrigeração. Disponível em: <https://blog.zanottirefrigeracao.com.br/painel-isotermico/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

APÊNDICE A – Certificado de Registro de Programa de Computador



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512023003389-8**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 02/11/2023, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: PUSECOCAFRIPEPO - Programa utilizado na seleção de evaporadoras e condensadoras de câmaras frigoríficas de pequeno porte

Data de publicação: 02/11/2023

Data de criação: 31/10/2023

Titular(es): INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Autor(es): ALVARO ANTONIO OCHOA VILLA; KILVIO ALESSANDRO FERRAZ; LUCAS RAMOS DE SOUZA LIMA

Linguagem: MATLAB

Campo de aplicação: EN-01; EN-02; EN-04; IN-03

Tipo de programa: AV-01; FA-01; FA-04; SM-01; TC-01

Algoritmo hash: SHA-256

Resumo digital hash: d3acf57ea7740ef626c3e272e058721c0b880f8a23e248052827947cc7edc4c6

Expedido em: 14/11/2023

Aprovado por:

Carlos Alexandre Fernandes Silva
Chefe da DIPTO

ANEXO A - DADOS DE PRODUTOS: FRUTAS

Tabela 4B: Dados de Produtos - Frutas				
Produto	Calor Específico Antes do Congelamento (kcal/kg°C)	Calor Específico Pós-Congelamento (kcal/kg°C)	Calor Latente (kcal/kg)	Ponto de Congelamento (°C)
Abacate	0,91	0,49	76	-2,7
Abacaxi	0,88	0,45	68	-1,4
Acerola Congelada	0,87	0,45	64	-1,7
Ameixa	0,88	0,45	68	-2
Ameixa Seca	0,88	0,45	68	-2,2
Amora Tradicional e Preta	0,88	0,46	68	-1,7
Ananás	0,88	0,45	68	-1,4
Banana	0,8	0,42	60	-2,2
Caqui	0,84	0,43	62	-2
Cereja Congelada e Fresca	0,87	0,45	68	-3,3
Cidra	0,89	0,46	68	-1,7
Damasco	0,88	0,4	68	-2,2
Figo Fresco	0,82	0,43	62	-2,7
Framboesa	0,85	0,45	68	-1
Groselha	0,88	0,45	67	-1
Laranja	0,9	0,46	69	-2,2
Lima	0,89	0,46	68	-1,7
Limão	0,92	0,46	71	-2,2
Maça	0,86	0,45	67	-2
Manga	0,9	0,46	74	0
Melancia	0,97	0,48	73	-1,6
Melão	0,84	0,48	73	-1,7
Morango Congelado e Fresco	0,92	0,47	72	-1,2
Nectarina	0,9	0,49	66	-1,7
Pêra	0,86	0,45	66	-2
Polpas	0,91	0,46	70	-2,2
Romã	0,87	0,48	62	-2,2
Tâmara Fresca	0,82	0,43	62	-2,7
Tâmara Seca	0,36	0,26	16	-20
Tangerina	0,93	0,51	70	-2,2
Toranja	0,91	0,46	70	-2
Uva Itália	0,9	0,46	70	-3,2
Uva Niágara	0,86	0,44	64	-1,7

Fonte: SILVA (2014)

ANEXO B - DADOS DE PRODUTOS: PEIXES

Tabela 4C: Dados de Produtos - Peixes				
Produto	Calor Específico Antes do Congelamento (kcal/kg°C)	Calor Específico Pós-Congelamento (kcal/kg°C)	Calor Latente (kcal/kg)	Ponto de Congelamento (°C)
Arenque	0,7	0,38	49	-2,2
Atum	0,77	0,4	56	-2,2
Bacalhau	0,85	0,44	66	-2,2
Merlusa	0,9	0,49	66	-2,2
Peixe Gordo Tradicional e Congelado	0,7	0,38	50	-2,2
Peixe Magro Congelado e Fresco	0,86	0,45	68	-1,7
Salmão	0,72	0,39	52	-2,2

Fonte: SILVA (2014)

ANEXO C - DADOS DE PRODUTOS: VARIEDADES

Tabela 4D: Dados de Produtos - Variedades				
Produto	Calor Específico Antes do Congelamento (kcal/kg°C)	Calor Específico Pós-Congelamento (kcal/kg°C)	Calor Latente (kcal/kg)	Ponto de Congelamento (°C)
Água	1	0,5	80	0
Cerveja	0,92	0,47	72	-2,2
Crustáceos	0,83	0,45	66	-2,2
Doces em Geral	0,7	0,34	30	-1,2
Laticínios	0,85	0,42	64	-0,6
Leite A/B	0,93	0,49	69	-0,5
Leite Integral	0,93	0,46	70	-0,5
Lixo	0,85	0,45	75	0
Manteiga	0,64	0,34	8	-1
Mel	0,35	0,26	14	0
Nata	0,85	0,4	50	-2,2
Ostra	0,83	0,44	64	-2,8
Ovos Líquidos Congelados e Frescos	0,76	0,4	56	-2,8
Queijo Camembert	0,7	0,4	48	-8
Queijo Prato	0,52	0,31	30	-13
Queijo Suíço	0,64	0,36	44	-10
Sangue	0,92	0,45	62	-1,1
Sorvete	0,78	0,45	53	-2,8

Fonte: SILVA (2014)

ANEXO D - DADOS DE PRODUTOS: VERDURAS E LEGUMES

Tabela 4E: Dados de Produtos - Verduras e Legumes				
Produto	Calor Específico Antes do Congelamento (kcal/kg°C)	Calor Específico Pós-Congelamento (kcal/kg°C)	Calor Latente (kcal/kg)	Ponto de Congelamento (°C)
Abóbora	0,92	0,47	72	-1
Alpo	0,95	0,48	75	-1,3
Alcachofra Congelada e Fresca	0,87	0,45	67	-1,6
Alface Americana	0,96	0,48	76	-0,4
Aspargos Congelados e Frescos	0,94	0,48	74	-1,2
Azeitonas	0,8	0,42	60	-2
Batata	0,82	0,43	62	-1,7
Batata Doce	0,75	0,4	54	-1,9
Berinjela	0,94	0,48	73	-0,9
Beterraba	0,9	0,46	70	-0,5
Brócolis	0,92	0,47	72	-1,6
Cebola	0,9	0,46	69	-1
Cenoura Congelada e Fresca	0,9	0,46	70	-1,3
Couve-Flor	0,93	0,47	73	-1
Endívia	0,94	0,48	73	-0,6
Ervilha Congelada e Fresca	0,79	0,42	59	-1
Espinafre Congelado e Fresco	0,94	0,48	73	-0,9
Feijão Fresco	0,91	0,47	71	-1,3
Funghi	0,93	0,47	72	-1
Lentilha	0,91	0,47	71	-1,3
Nabo	0,93	0,47	72	-0,8
Pastinaga	0,84	0,46	62	-1,7
Pepino	0,97	0,49	76	-0,8
Pimentão	0,94	0,47	73	-1
Rábano	0,78	0,42	58	-3,1
Repolho	0,94	0,47	73	-0,4
Repolho Bruxel	0,88	0,46	68	-0,5
Repolho Roxo	0,89	0,46	69	-0,7
Tomate Maduro	0,95	0,48	74	-1
Tomate Verde	0,95	0,48	74	-1
Chicória	0,94	0,48	73	-0,6
Cogumelo	0,93	0,47	72	-1
Couve de Bruxelas	0,88	0,46	68	-0,5
Milho	0,84	0,42	60	-0,6
Rulbarado	0,96	0,48	74	-2
Vagem	0,91	0,47	71	-1,3
Trigo Verde	0,79	0,42	59	-1,7

Observação: Valores válidos para alimentos nas melhores condições de manipulação e processamento.

Fonte: SILVA (2014)