



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MARIANA BARBOSA CAMPOS

**A CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS POR REFRIGERAÇÃO: UMA REVISÃO E
UMA PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE UMA CÂMARA DE
ARMAZENAMENTO PARA MASSA DE PÃO CONGELADA**

FORTALEZA

2021

MARIANA BARBOSA CAMPOS

A CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS POR REFRIGERAÇÃO: UMA REVISÃO E UMA
PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE UMA CÂMARA DE ARMAZENAMENTO
PARA MASSA DE PÃO CONGELADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Departamento de Engenharia de Alimentos no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de França

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C214c 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 / Mariana Barbosa Campos. – 2021.
60 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de França.

1. Conservação de alimentos. 2. Conservação por refrigeração. 3. Câmara fria. 4. Dimensionamento. I. Título.
CDD 664

MARIANA BARBOSA CAMPOS

A CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS POR REFRIGERAÇÃO: UMA REVISÃO E UMA
PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE UMA CÂMARA DE ARMAZENAMENTO
PARA MASSA DE PÃO CONGELADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Departamento de Engenharia de Alimentos no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de França

Aprovado em: __ / __ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de França (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Regiane Silva Pinheiro
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

A Deus.

Aos meus pais, Maria de Fátima e Campos
Filho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o autor da minha vida e o responsável pelo o que vivi até aqui.

Aos meus pais, Maria de Fátima e Campos Filho, que sempre priorizaram e incentivaram meus estudos. Eles não mediram esforços para me proporcionar isso. À minha madrasta Ângela que apoiou e deu suporte ao meu pai no que diz respeito aos meus estudos. À minha irmã Júlia por alegrar meus dias com seu jeito criança de ser. Gratidão, vocês são minha base.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) por toda a estrutura e suporte proporcionados ao corpo docente e discente. Aos professores por contribuírem com a minha formação acadêmica compartilhando de seus conhecimentos. Obrigada.

Ao Prof. Drº. Ítalo Waldimiro que aceitou o desafio da minha proposta para o trabalho e orientou-me durante o desenvolvimento deste. Agradeço todo o suporte neste percurso. Obrigada por sua disponibilidade e tempo dedicado.

Ao Prof. Dr. Marcos Amorim e Prof. Dra. Regiane Pinheiro por aceitarem o convite em compor a banca examinadora, contribuindo com observações e sugestões para melhoria do presente trabalho.

À Cru por ser essa comunidade tão acolhedora, que me proporcionou momentos extraordinários, os quais eu nunca imaginaria viver, mostrou-me que a universidade é muito mais do que imaginamos e esperamos. Essa comunidade tirou-me da minha zona de conforto e desafiou-me em diversos aspectos. Muita gratidão a Deus por ter me inserido nesse contexto e permitido vivenciar cada experiência.

Aos crumigos, amigos que ganhei ao participar da Cru, que têm me ensinado tanto com suas vidas e jeito de ser. Pessoas diferentes, de cursos diferentes, de campi diferentes e universidades diferentes, unidos por um único motivo: Jesus. Agradeço a todos, pois são importantes pra mim. Agradeço especialmente às minhas amigas: Ananda, Valécia, Larissa, Keilla, Steffane, Airlane e aos meus amigos: Marcelino e Danton, pela parceria, amizade, cuidado, auxílio e zoeira.

Ao meu namorado Rafael, por ter sido meu suporte nos momentos mais tensos e desanimadores, pelo companheirismo, pela paciência, pela compreensão, pelo cuidado e pela disposição em me ajudar no que for necessário.

Aos meus amigos que o curso de Engenharia de Alimentos me permitiu conhecer, seja nas disciplinas, no centro acadêmico ou qualquer outro ambiente. Em especial Laiza, Diana, Monalisa, André, Arlene e Tiago, que estiveram comigo durante essa trajetória,

compartilhando das loucuras de algumas disciplinas, dando apoio e passando por momentos bons e ruins. A esse último mencionado também quero agradecer pela hospitalidade, pela disponibilidade, pelo cuidado, pela convivência diária, por topar muitas das minhas ideias, enfim, por ter acompanhado tão de perto a caminha e ter sido tão presente nesses anos de graduação. Obrigada a todos, vocês são especiais e cada um teve sua participação e importância.

Aos meus colegas de trabalho, pelo apoio, pelo compartilhamento de experiências, pela disponibilidade em sanar algumas dúvidas que foram surgindo e pelos ensinamentos.

Por fim, não menos importante, agradeço a todas as pessoas que tive o privilégio de conhecer e trocar experiências, que acompanharam e/ou contribuíram de alguma forma em minha formação acadêmica e pessoal.

“Tudo tem o seu tempo determinado...”
(BÍBLIA, Eclesiastes, 3,1).

RESUMO

A humanidade precisou desenvolver e aprimorar técnicas que permitisse o armazenamento e a conservação de alimentos por períodos prolongados, devido às mudanças em seus hábitos alimentares no decorrer da história. O presente trabalho visa apresentar por meio de uma revisão bibliográfica a importância do emprego de baixas temperaturas como método de conservação e seus efeitos nos alimentos, além disso, propõe o dimensionamento de uma câmara para o armazenamento de massa de pão congelada. O desenvolvimento deste trabalho consistiu em duas etapas. A primeira se deu pelo levantamento e seleção de material que contribuísse para a elaboração da revisão bibliográfica acerca do uso da refrigeração na conservação de alimentos e seus efeitos. Já a segunda consistiu em realizar o dimensionamento de uma câmara de congelamento para armazenamento de massa de pão congelada em um centro de distribuição. Essa etapa foi realizada através do cálculo de carga térmica e da escolha dos principais componentes do sistema de refrigeração, a fim de atender a condição de temperatura da câmara, que é de -20°C . Medidas inibitórias de agentes alterantes nos alimentos são essenciais para atender a necessidade de obter produtos seguros e de qualidade. Há diversos métodos de conservação e, para escolher qual será utilizado, deve-se considerar as características do alimento e a finalidade de tal aplicação. A conservação por refrigeração, seja resfriamento ou congelamento, é uma técnica bastante utilizada, pois visa prolongar a vida útil do produto. Porém, deve ser aplicada de maneira adequada para não causar efeitos adversos que prejudiquem as características do produto. Para atender as condições de estocagem almejadas é importante um dimensionamento adequado da câmara fria, bem como a correta escolha de seus equipamentos.

Palavras-chave: Conservação de alimentos. Conservação por refrigeração. Câmara fria. Dimensionamento.

ABSTRACT

Humanity had to develop and improve techniques that could allow the storage and conservation of food for prolonged periods, due to changes in their eating habits throughout history. The present work aims to present through a bibliographic review the importance of the use of low temperatures as a method of conservation and its effects on food, besides proposing the dimensioning of a chamber for the storage of frozen bread dough. The development of this work consisted of two stages. The first was the investigation and selection of bibliographic material related to the use of cold in food conservation and its effects. The second consisted of the dimensioning of a frozen storage chamber for a frozen bread dough distribution center, through the calculation of thermal load and the choice of the main components of the refrigerator system, to achieve the room temperature (-20°C). Injunction measures of modifying agents in food are essential to meet the need for safe and quality products. There are several methods of conservation and the choice depends on food characteristics and the purpose of the application. Refrigeration storage, whether cooling or freezing, is a widely used technique since it aims to extend the life of the product. However, it should be applied appropriately preventing the impact of adverse effects on the characteristics of the product. So, aiming to meet the desired storage conditions, it is important to properly design and dimension the cold chamber, as well as the correct choice of the chamber components.

Keywords: Food conservation. Refrigeration conservation. Cold chamber. Dimensioning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de congelamento.....	23
Figura 2 – Camadas da parede de painel	29
Figura 3 – Camadas da parede de câmara de alvenaria.....	29
Figura 4 – Camadas do painel modular tipo sanduíche.....	34
Figura 5 – Circuito frigorífico	44
Figura 6 – Unidade condensadora	46
Figura 7 – Válvula de expansão termostática.....	47
Figura 8 – Evaporador	47

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Percentual das cargas térmicas	43
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estratégias para controlar os agentes de alteração dos alimentos.....	19
Tabela 2 – Estrutura da Cadeia de Frio	25
Tabela 3 – Consequências desenvolvidas pelo mau controle dos parâmetros Temperatura e Umidade	27
Tabela 4 – Medidas da câmara	30
Tabela 5 – Dados para realização de cálculos	31
Tabela 6 – Comparação de materiais isolantes.....	34
Tabela 7 – Resumo dos valores calculados	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIP	Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
CO ₂	Gás Carbônico
O ₂	Gás Oxigênio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	METODOLOGIA	17
3	CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS	18
3.1	Emprego da refrigeração na conservação de alimentos	19
3.1.1	<i>Resfriamento</i>	21
3.1.2	<i>Congelamento</i>	21
3.2	Efeito da refrigeração na qualidade dos produtos e fatores que a influenciam ...	23
4	DIMENSIONAMENTO DE CÂMARA FRIA	28
4.1	Proposta de estudo	30
4.1.1	<i>Produto</i>	32
4.1.2	<i>Isolamento térmico</i>	33
4.1.3	<i>Carga térmica</i>	35
4.1.3.1	<i>Carga térmica em razão de paredes, teto e piso</i>	35
4.1.3.2	<i>Carga térmica em razão de infiltração</i>	36
4.1.3.3	<i>Carga térmica em razão do produto</i>	36
4.1.3.4	<i>Carga térmica em razão da iluminação</i>	37
4.1.3.5	<i>Carga térmica em razão da circulação de pessoas</i>	37
4.1.3.6	<i>Carga térmica em razão de empilhadeiras</i>	38
4.1.3.7	<i>Carga térmica em razão de motor ventiladores</i>	38
4.2	Memorial de cálculos	39
4.2.1	<i>Calor de paredes, teto e piso</i>	39
4.2.2	<i>Calor de infiltração</i>	41
4.2.3	<i>Calor da iluminação</i>	41
4.2.4	<i>Calor da circulação de pessoas</i>	41
4.2.5	<i>Calor de empilhadeiras</i>	42
4.2.6	<i>Calor de motores ventiladores</i>	42
4.2.7	<i>Calor final</i>	42
4.3	Componentes do sistema frigorífico	44
5	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS	50
	APÊNDICE A – TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES	54

ANEXO A – DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA TEMPERATURAS NORMAIS	55
ANEXO B – DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA BAIXAS TEMPERATURAS	56
ANEXO C – CALOR DE OCUPAÇÃO	57
ANEXO D – IRRADIAÇÃO SOLAR	58
ANEXO E – TROCA DE AR	59
ANEXO F – CALOR DISSIPADO POR MOTORES	60

1 INTRODUÇÃO

Alimentação é uma necessidade básica para sobrevivência. O ser humano passou por varias mudanças em seus hábitos alimentares no decorrer dos diversos momentos históricos. No início, o homem caçava e colhia conforme a necessidade de saciar sua fome, com isso, não existia a prática de armazenar e nem conservar os alimentos. Contudo, o ato de viver em sociedade somado ao aumento populacional tornou-se indispensável o desenvolvimento de técnicas que permitissem produção de alimentos em maior quantidade e consequentemente preocupação em mantê-los por mais tempo (SILVA, 2018).

No decorrer dos séculos, muitos recursos foram desenvolvidos com o intuito de minimizar a deterioração e estender o tempo de vida útil dos alimentos. Os métodos empíricos foram o uso de: calor, refrigeração, salga, desidratação, defumação e fermentação. Com a revolução industrial e o desdobramento da ciência, houve aprimoramento nesses métodos de conservação de produtos alimentícios. No entanto, no século XX foi onde houve o estopim no progresso das antigas técnicas, uma vez que além de melhorias sucedeu-se a criação de novos métodos de conservação. Isso se deve a implantação da tecnologia de alimentos, que visa garantir o abastecimento de alimentos de forma segura, em razão da industrialização em massa e das técnicas de preservação. Em virtude dos métodos de conservação, sejam antigos ou modernos, do mais simples ao considerado mais complexo, é possível manter os alimentos seguros nos aspectos físicos, químicos e biológicos, além de proporcionar variedade e produtos de qualidade (EVANGELISTA, 1994; ORDÓÑEZ PEREDA, 2005; SILVA, 2018).

Segundo Oliveira (2020), o uso de baixas temperaturas como método de conservação de produtos alimentícios desfavorece o desenvolvimento de fatores como atividade microbológica e enzimática e, reações químicas e bioquímicas, que contribuem para sua deterioração. Portanto, o uso de baixas temperaturas torna possível o prolongamento da vida útil dos alimentos.

O emprego da refrigeração na conservação de produtos alimentícios representa um progresso tecnológico muito importante para a da qualidade de vida da sociedade. O desenvolvimento e aperfeiçoamento desta técnica de conservação por resfriamento e congelamento tem possibilitado o dimensionamento e projeto de equipamentos cada vez mais eficientes (DOSSAT, 2004).

Diante do exposto, o presente trabalho visa apresentar por meio de uma revisão bibliográfica a importância do emprego de baixas temperaturas como método de conservação

e seus efeitos nos alimentos, além disso, propõe o dimensionamento de uma câmara para o armazenamento de massa de pão congelada.

2 METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente trabalho consistiu em duas etapas: revisão bibliográfica acerca da conservação de alimentos e uso de baixas temperaturas para essa finalidade, bem como seus efeitos e o dimensionamento de uma câmara frigorífica para armazenamento de massa de pão congelada.

O levantamento e seleção de material bibliográfico acerca do “uso da refrigeração na conservação de alimentos” foram realizados entre novembro de 2020 e fevereiro de 2021. Foram utilizados livros, artigos e trabalhos acadêmicos (trabalhos de conclusão de curso, monografias, dissertações e teses) encontrados na base de busca nas seguintes plataformas digitais: Google Acadêmico, Scielo, Lilacs, Science Direct, Web of Science, Portal de periódicos da Capes e demais fontes que se apresentaram úteis na coleta de informações. Nas plataformas de busca acadêmica foram utilizadas expressões como conservação de alimentos pelo frio, cadeia do frio, refrigeração de alimentos, efeitos da refrigeração nos alimentos, importância da refrigeração no setor alimentício, uso de baixas temperaturas na conservação de alimentos e armazenamento de alimentos.

A proposta de dimensionamento de câmara foi desenvolvida com base no levantamento de dados relacionados às características do produto e condições de estocagem. Com tais informações, foi realizado o balanço de carga térmica e a partir disso, selecionado os equipamentos adequados que permitem atender às necessidades de armazenamento sob temperatura de -20°C de massa de pães congelada.

3 CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

Segundo Rosa (2000), devido ao aumento populacional e, conseqüentemente, do consumo de alimentos, houve a necessidade de desenvolver técnicas de conservação desses, uma vez que existem produtos com alta perecibilidade, ou seja, que perdem suas características sensoriais e nutritivas com muita facilidade. Diante disso, são necessários métodos que auxiliam no prolongamento de sua vida útil. Além das características supracitadas, há produtos que são sazonais, como é o caso de algumas frutas e hortaliças, que devem ser armazenados e distribuídos ao longo de todo o ano. Silva (2010) relata que os consumidores estão mais conscientes com relação à regulamentação comercial de perecíveis e mais exigentes com padrões de qualidade. Isso tem sido importante para o desenvolvimento de tecnologias inclinadas para garantir condições de higiene e qualidade dos produtos.

Em virtude do caráter perecível dos produtos alimentícios e da necessidade de estender sua vida de prateleira, é indispensável o emprego de técnicas de conservação que mantenham o alimento preservado em todas as fases que precedem o seu consumo. À vista disso, o emprego de técnicas de conservação evita ou anula agentes responsáveis por alterações, propondo atender a necessidade específica do alimento, e manter, na medida do possível, suas características inerentes e valor nutritivo, tendo como base a natureza condicionada do alimento e suas diversas peculiaridades (EVANGELISTA, 1994; ORDÓÑEZ PEREDA, 2005).

Levando em consideração os alimentos em seus variados aspectos, a escolha da tecnologia de conservação é indicada de acordo com os fatores de alterações, tipo de produto e espaço de tempo que o produto será conservado. Portanto, cada processo tem seu modo de agir, fundamentando-se, por exemplo, na aplicação de calor, com o uso de técnicas como a pasteurização e a esterilização; na diminuição de temperatura, como é o caso do resfriamento e do congelamento; em atmosfera modificada, que altera a concentração de gases como O₂ e CO₂; e em decréscimo da atividade de água do alimento, como a desidratação. Além desses parâmetros, tem-se também como forma de conservação, a adição de conservantes e antioxidantes, a aplicação de radiações ionizantes, o uso de agentes antimicrobianos e a acidificação. Em determinados casos, deve ser aplicado, em ação combinada, mais de um desses métodos, a fim de obter melhor eficiência na conservação do alimento (DOSSAT, 2004; EVANGELISTA, 1994; ORDÓÑEZ PEREDA, 2005). A Tabela 1 apresenta um resumo de aplicação e fundamento das tecnologias utilizadas como método de conservação de alimentos.

Tabela 1 – Estratégias para controlar os agentes de alteração dos alimentos

Objetivo	Método	Fundamento
Inibição de crescimento microbiano (1), destruição de microrganismos (2), inibição de atividade enzimática (3), inibição de reação química (4) e inibição de germinação e maturação (5)	Resfriamento (1, 3, 4)	Decréscimo da temperatura
	Congelamento (1, 3, 4)	
	Desidratação (1, 3)	Decréscimo da atividade de água
	Dessecação (1, 3)	
	Evaporação (1, 3)	
	Adição de solutos (1, 3)	
	Vácuo (1, 4)	Decréscimo da concentração de O ₂
	Atmosferas inertes (1, 4)	
	Atmosferas modificadas (1, 3)	Aumento de CO ₂ (1, 3) Decréscimo de O ₂ (3)
	Adição de ácidos (1, 3)	Acidificação
	Fermentação ácida (1, 3)	
	Adição de álcool (1)	Aumento da concentração de etanol
	Fermentação etanólica (1)	
	Substâncias químicas (1, 4)	Conservantes (1) Antioxidantes (4)
	Termização (2)	Aplicação de calor
Pasteurização (2, 3)		
Esterilização (2, 3)		
Irradiação (2, 5)	Aplicação de radiações ionizantes	
Bacteriocinas (2)	Agentes antimicrobianos	
Peróxido de hidrogênio (2)		
Óxido de etileno (2)		

Fonte: Adaptado de Ordóñez Pereda, 2005.

Nota: Os números entre parênteses nas colunas Método e Fundamento correspondem aos da coluna Objetivos.

3.1 Emprego da refrigeração na conservação de alimentos

Tendo em vista que a população tem se concentrado em áreas urbanas e a maioria dos alimentos é produzida em locais que estão mais afastados dessas regiões, tem surgido a preocupação com transporte e armazenamento desses, independentemente se é em um tempo de longo ou curto prazo. Portanto, o uso da refrigeração como método de conservação de alimentos tem sido bastante utilizado, pois viabiliza os aspectos acima mencionados. Essa tecnologia contribui para manter a qualidade dos alimentos frescos e processados, uma vez

que, além de retardar ou inibir reações bioquímicas e atividades enzimáticas, evita que haja crescimento microbiano. Além disso, auxilia na preservação das características originais do produto, pois as mudanças são mínimas, algo importante para o consumidor (DOSSAT, 2004; FELLOWS, 2006; ROSA, 2000; SILVA 2008).

A conservação por refrigeração consiste em uma das operações unitárias mais aplicadas na indústria de alimentos: transferência de calor. O método constitui-se na remoção de calor do produto com redução de temperatura, a fim de diminuir a ação dos principais agentes responsáveis pela alteração ou perda de alimentos (reações químicas, atividade enzimática e microbiana). A temperatura é um dos fatores mais importantes, pois o uso desse parâmetro apresenta influência de forma direta nas taxas e tipos de alterações dos produtos alimentícios, mantendo características sensoriais e nutricionais, assim, potencializando a qualidade e a vida útil desses produtos. Essa potencialização depende das características de cada tipo de alimento, e é reportada por ser mais eficiente em temperaturas adequadamente baixas (AZEREDO, 2012; ORDÓÑEZ PEREDA, 2005; VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

De acordo com Fonseca (2006) e Silva (2008), o uso do método de preservação por refrigeração de alimentos perecíveis deve ser adotado de forma compatível com a especificidade de cada produto, tais como propriedades sensoriais, estrutura, origem (animal ou vegetal) e composição, a fim de preservar as características e qualidade do mesmo em concordância com os padrões estabelecidos pela legislação e aceitabilidade do consumidor.

Segundo Inovadora (2009 *apud* Nuvolari 2017), a conservação por refrigeração tem como objetivo preservar a maior parte do valor nutritivo e sensorial dos alimentos. Porém ela não elimina os microrganismos e nem a ação nociva das toxinas, sendo assim, se a temperatura aumentar torna-se favorável a retomada de atividade destes. Portanto, é importante que os produtos tenham boa qualidade antes do procedimento de resfriamento ou congelamento, além de garantir controle cuidadoso da temperatura no decorrer destes processos.

O resfriamento e o congelamento são categorias do método de conservação por refrigeração, aplicadas no processo de preservação de produtos alimentícios, ambas são utilizadas de acordo com as propriedades de cada alimento e o tempo de armazenamento. Segundo Azeredo (2012), as técnicas de conservação que melhor mantêm as características sensoriais e nutricionais do alimento são o resfriamento e o congelamento.

3.1.1 Resfriamento

O resfriamento é qualquer técnica de redução de temperatura de uma matéria acima do seu ponto de congelamento. Esse processo é bastante utilizado na conservação de alimentos, pois as baixas temperaturas prolongam por mais tempo, embora limitado, a vida útil dos produtos, uma vez que retardam a ação e crescimento de microrganismos termófilos e mesófilos, atividade enzimática e reações diversas no alimento. A forma de aplicação dessa técnica e a temperatura a ser empregada variam de acordo com a natureza de cada alimento e de suas propriedades sensoriais (LOPES, 2007; VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

De acordo com Carvalho (2011), o processo de resfriamento não tem atuação esterilizante, mas consegue retardar atividades microbianas, portanto essa tecnologia não tem ação de melhoria em alimentos com condições precárias de sanidade. Esse método de conservação é conduzido por fatores que interferem em seu desempenho, principalmente, por duas condições importantes que possuem aplicação correlacionada: temperatura aplicada e tempo de armazenamento do produto.

A técnica de refrigerar o alimento é um método moderado e suave, pois tem efeito não muito danoso as características do produto. Porém ela tem pouca interferência no aumento da vida útil do alimento, pois sua ação é limitada temporalmente, devido ao fato de alimentos perecíveis ainda sofrerem algumas alterações, mesmo que sob temperatura adequada de armazenamento. Sendo assim, ela normalmente é usada em conjunto com outros métodos de conservação, como o uso de embalagem a vácuo, pois obtém maior efeito conservador. (AZEREDO, 2012; MACHADO, 2000).

3.1.2 Congelamento

Congelamento é a operação na qual a temperatura de um alimento é reduzida abaixo do seu ponto de congelamento e uma porção da água sofre uma mudança no seu estado, formando cristais de gelo. É considerado um dos melhores métodos disponíveis para a conservação dos alimentos em longo prazo, pois mantém basicamente todas as características naturais dos produtos, quando são utilizados os procedimentos corretos de congelamento e estocagem. No entanto, é um método caro e exige a continuidade da cadeia de frio, ou seja, o produto deve ser conservado a baixas temperaturas, desde a produção até o consumo (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

De acordo com Machado (2000), devido à formação de gelo, o congelamento impossibilita que a maior parte da água presente no alimento seja aproveitada pelos microrganismos. Além disso, ocorre aumento na concentração das substâncias dissolvidas na água não congelada. Esse desenvolvimento de cristais de gelo imobiliza uma parte da água presente no produto, ou seja, diminui a atividade de água do alimento, e assim, interfere em sua disponibilidade como solvente, além disso, limita a difusividade de compostos químicos no alimento. O emprego de baixas temperaturas combinado com essa redução da atividade de água permite prolongar o tempo de armazenamento, em meses, de produtos alimentícios (FELLOWS, 2006; ORDÓÑEZ PEREDA, 2005).

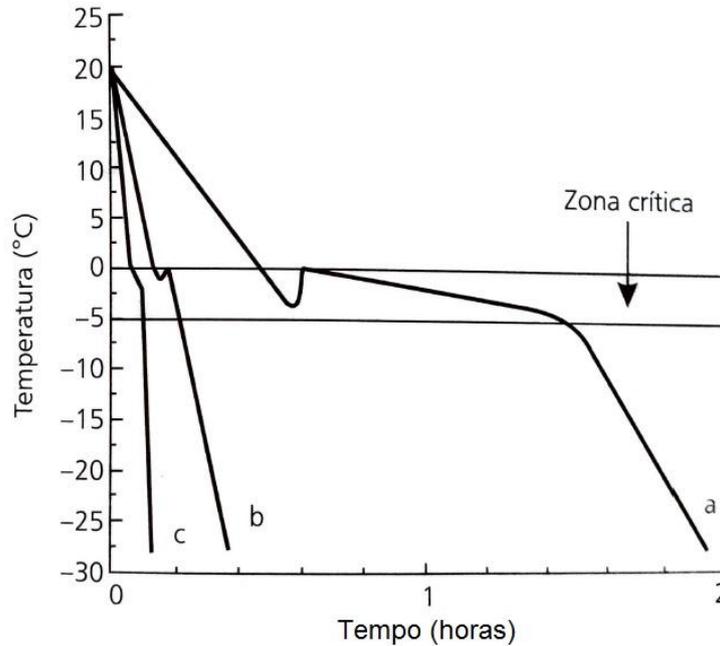
O uso de congelamento como método de preservação de alimentos pode prolongar esse período de conservação, mas é importante que tal tratamento ocorra de forma rápida, pois evita a formação de grandes cristais de gelo no produto. O tamanho do cristal de gelo influencia no quão modificadas ficam as células do alimento, podendo ocasionar ruptura dessas, portanto é essencial que haja controle na velocidade de congelamento para obter cristais menores (COLLA; PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2007; VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

De acordo com Dossat (2004), a técnica de congelar produtos alimentícios pode ser realizada de forma lenta ou rápida. Além do tempo de processo, uma das principais diferenças entre os dois métodos são os cristais de gelos formados no exterior das células do alimento. No primeiro, realizado vagarosamente, são formados cristais de gelo de grande dimensão, em decorrência disso, o tecido de alguns produtos podem sofrer danos, devido à ruptura celular. Já no segundo, devido a sua rapidez, ocorre formação de cristais de gelo menores, tanto intracelular quanto extracelular, o que afeta brandamente a estrutura celular do alimento. Contudo, segundo Fellows (2006), o uso de taxa de congelamento muito elevada pode causar estresse, e conseqüentemente rompimento dos tecidos de alguns tipos de alimentos. Além disso, durante o período de congelamento, ocorrem no alimento alguns fenômenos associados à formação de cristais como aumento da concentração de solutos em solução e variação de volume, o que ocasiona conseqüências em sua qualidade (ORDÓÑEZ PEREDA, 2005).

Além dos modelos de congelamento citados anteriormente, há o ultracongelamento, que consiste em um processo mais rápido. Essa operação baseia-se em temperatura e tempo fixo, diferente dos modelos supracitados que se fundamentam em tempo e temperatura indicada para cada tipo de alimento. Independente do modelo adotado, durante o tempo de armazenamento é de suma importância que o produto seja mantido na temperatura

recomendada de congelamento e sem grandes oscilações (EVANGELISTA, 1994; ORDÓÑEZ PEREDA, 2005). Segundo Ordóñez Pereda (2005), de acordo com a velocidade de congelamento diversos alimentos, independentemente de sua origem, possuem curvas de congelamento equivalentes. A Figura 1 apresenta uma comparação da curva de congelamento para os três métodos.

Figura 1 – Curva de congelamento



Congelamento lento (a); Congelamento rápido (b); Ultrarapido (c)

Fonte: Adaptado de Ordóñez Pereda, 2005.

Contato pela disposição dos alimentos entre placas refrigeradas, imersão do alimento em salmouras a baixa temperatura, uso de túneis de congelamento com alta velocidade do ar e criogenia com dióxido de carbono ou nitrogênio são algumas técnicas bastante utilizadas no método de congelamento (VENTURINI, 2005).

3.2 Efeito da refrigeração na qualidade dos produtos e fatores que a influenciam

O uso da refrigeração como método de conservação de alimentos é bastante eficaz, mas há pontos importantes e considerados críticos nessa tecnologia, uma vez que podem causar efeitos adversos, que prejudicam a manutenção de características e qualidade de produtos alimentícios. Portanto, torna-se essencial a presença da cadeia do frio durante toda a logística envolvida na rede alimentar.

De acordo com Brasil (1993), a cadeia alimentar é constituída por todas as atividades relacionadas à rede de distribuição: colheita ou abate, produção, beneficiamento, armazenamento, transporte, industrialização, embalagem, reembalagem, comercialização, utilização e consumo de alimentos. E suas interações com o meio ambiente, o homem e seu contexto socioeconômico devem ser consideradas.

A cadeia do frio é importante para preservação e garantia de características e vida útil de produtos perecíveis. Controle e gestão das etapas que prosseguem essa rede, transporte, armazenamento e exposição, contribuem na manutenção de propriedades sensoriais, qualidade e tempo de validade de perecíveis. Não atender aos critérios de segurança dessa cadeia, em alguma etapa, ou até mesmo interrupções na sua continuidade, resulta em riscos à saúde do consumidor, perda de produto, além da possibilidade de multa por órgãos reguladores (DINAMOX, 2019).

A cadeia do frio surgiu com a necessidade de reunir a especialização da gestão de produtos perecíveis, sensíveis à temperatura, com as técnicas avançadas da matriz logística a serviço de uma cadeia de suprimentos. Dentro desse sistema logístico, o controle e monitoramento de temperatura (do ambiente e do produto) passam a ser de fundamental importância para sustentar as operações e definir novas estratégias de escoamento em um mundo globalizado, devendo ser mais eficientes, mais rápidas, mais econômicas e mais seguras (SILVA, 2010).

Segundo Carvalho (2011), a interrupção da cadeia do frio ocasiona perda na qualidade do alimento. Portanto, com o intuito de preservar as propriedades do produto, os parâmetros de processo devem ser controlados de forma efetiva. Fonseca (2006) afirma que a verificação e conservação da cadeia do frio vão desde a recepção do alimento até sua exposição. Durante todas as etapas é essencial que haja pessoas qualificadas e treinadas para que toda a logística envolvida seja realizada da melhor maneira, além disso, é importante contar com manutenção, preferencialmente preventiva, de equipamentos para que não haja perdas de produto.

De acordo com Silva (2010), há dois fatores significativos na cadeia do frio, o primeiro é um ambiente adequado às necessidades de preservação de perecíveis e o segundo é o controle de variáveis envolvidas nesse ambiente que influenciam a qualidade dos produtos. Diante disso, o autor afirma que pesquisas a respeito de cadeia do frio convergem para os pontos gestão e infraestrutura, onde o primeiro foca em regulamentação, preocupação com segurança de alimentos e implantação de padrões e parâmetros, e o segundo em ambiente,

sistema de monitoramento e dispositivos de controle. A Tabela 2 sintetiza a ideia abordada nos pontos, gestão e infraestrutura.

Tabela 2 – Estrutura da Cadeia do Frio

Cadeia do Frio	
Gestão	Infraestrutura
Normas e Regulamentos	Ambiente frigorificado (câmara, contêiner, veículos)
Boas Práticas de Fabricação (BPF)	Equipamentos
Procedimentos, treinamentos e capacitação	Sistema de monitoramento
Alianças e parcerias	Rastreamento
Integração de processos	Dispositivos e instrumentos de medição

Fonte: Adaptado de Silva, 2010.

De acordo com Oliveira e Paiva (2016), uma condição importante para um bom funcionamento de câmaras de armazenamento é o planejamento da circulação de pessoas no ambiente, uma vez que a quantidade de pessoas e o tempo de permanência tem influência no aumento da carga térmica, dificultando o desempenho dos equipamentos utilizados no ambiente de refrigeração. À vista disso, os autores apontam que é essencial que haja, além do controle de pessoas, estratégia logística a fim de obter um arranjo que atenda desde o recebimento, passando pelo armazenamento, com organização de estoque e limpeza, até a expedição da mercadoria. Estas ações resultam em uma redução no tempo de operadores no interior das câmaras frias, além de um maior controle nas entradas e saídas da câmara.

Antunes (2018) identificou os principais obstáculos relacionados à conservação por refrigeração, sendo eles, respectivamente em ordem de relevância, a falta de monitoramento de temperatura, os procedimentos de armazenamentos incorretos, os métodos e manuseios inadequados, a má gestão do estoque de frios, a falta do controle de inspeção e fiscalização e o mau treinamento de funcionários.

Ao armazenar e expor produtos perecíveis em ambientes refrigerados, estes devem ser organizados de tal forma que não obstrua entrada e circulação do ar frio, devem ser respeitadas as recomendações de empilhamento dos fornecedores e as orientações de manter produtos afastados da parede e do piso. Assim, o atendimento das capacidades volumétrica e energética do ambiente e dos equipamentos permite uma adequada conservação dos alimentos por refrigeração (BRASIL, 2002).

Vilain (2018) afirma que com a finalidade de obter uma boa conservação é necessário que haja controle de alguns fatores tais como temperatura, umidade relativa, quantidade de ar circulando e velocidade de redução de temperatura, além da relação entre eles, que se utilizada de forma incorreta pode causar efeitos indesejados nos alimentos.

O controle da temperatura é um dos fatores que mais influenciam na obtenção e manutenção da qualidade dos alimentos, pois tem interferência no crescimento e na atividade microbiana e afeta as reações químicas, bioquímicas e enzimáticas. Portanto manter a temperatura baixa e sob controle, em toda a rede de distribuição, é essencial. Porém, apesar da considerável relevância da temperatura, em alguns estabelecimentos comerciais de produtos perecíveis, como supermercados, em determinadas etapas da cadeia do frio, tais como, recebimento, armazenamento ou exposição, não é observada uma adequação na mensuração e no controle da temperatura com o que é estabelecido pela legislação. Assim, produtos alimentícios acondicionados com temperatura inapropriada ficam susceptíveis à deterioração e redução da vida útil (FELLOWS, 2006).

Essa inadequação é um problema recorrentemente reportado na literatura. Melo e Pontes (2016), mencionam em sua pesquisa em um supermercado na cidade de Fortaleza, que 55,6% dos perecíveis, na recepção, não estavam de acordo com a temperatura recomendada para recebimento, do mesmo modo, verificaram que 43% dos equipamentos expositores apresentavam temperatura imprópria para os alimentos ali expostos. Texeira (2016) também verificou alta porcentagem de equipamentos expositores com temperatura elevada nos supermercados visitados na cidade de Formiga em Minas Gerais. Eusébio (2020) observou em seu estudo a inadequação de maquinários de resfriamento e congelamento em diversos estabelecimentos na cidade de Matola em Moçambique.

Cada alimento possui uma temperatura ótima no processo de conservação por refrigeração, portanto esse parâmetro deve permanecer estável durante todo o encadeamento de distribuição frigorífica (ORDÓÑEZ PEREDA, 2005). Pequenas oscilações de temperatura são consideradas normais, uma vez que há liga-desliga do sistema, momento de degelo, abertura de porta, circulação de pessoas e outros fatores que contribuem para que haja tal variação no ambiente de refrigeração. Contudo, estas flutuações podem ocorrer desde que estejam dentro da amplitude do *set-point* estabelecido para o ambiente e de acordo com a legislação vigente. Porém, em caso de grandes alterações de temperatura é possível que haja dano no alimento, o que compromete sua qualidade e vida de prateleira.

Alguns danos causados nos alimentos por essa oscilação de temperatura podem ser devido à condensação de água na superfície do alimento e à injúria de tecidos por causa da recristalização, no caso do congelamento.

Segundo Oliveira (2020), ainda que o uso de baixas temperaturas seja bastante utilizado na conservação de produtos alimentícios, esta tecnologia pode propiciar danos, conhecidos como injúrias pelo frio em tecidos de alimentos mais sensíveis, como vegetais. Estas injúrias por frio proporcionam alteração no sabor e na aparência do alimento, além de promoverem aberturas que tornam os alimentos suscetíveis ao crescimento e ação de microrganismos, desse modo depreciando sua qualidade. Estas observações reforçam a importância da temperatura adequada no armazenamento de alimentos. Contudo, além da temperatura, outros fatores interferem na conservação do alimento. De acordo com Potter e Hotchkiss (2012) é importante ter uma adequada circulação do ar dentro do ambiente refrigerado, pois isso auxilia a retirada de calor da superfície do alimento. Porém, esse ar circulante deve manter o equilíbrio em sua característica de úmido e seco, mesmo sob temperatura adequada de refrigeração, pois se muito seco ou muito úmido, traz consequências para o alimento. Silva (2010) afirma que há dificuldade de operação, tanto no transporte quanto no armazenamento, em manter um controle apropriado de temperatura e umidade, e isso acarreta problemas com a qualidade do alimento. A Tabela 3 apresenta esses problemas.

Tabela 3 – Consequências desenvolvidas pelo mau controle dos parâmetros Temperatura e Umidade

Parâmetros	Temperatura		Umidade	
	Baixa	Elevada	Baixa	Elevada
Consequências	Podem ocorrer danos no tecido do alimento, como a queimadura na superfície do produto.	Pode ocorrer deterioração, devido ao desenvolvimento de um ambiente térmico propício ao crescimento microbiano.	Pode ocorrer perda de massa (água) do alimento para o meio e problemas sensoriais, como ressecamento superficial.	O ambiente úmido favorece o desenvolvimento de bolores e assim pode causar deterioração no alimento.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para boas condições de armazenagem, seja refrigerada ou congelada, devem-se atender os parâmetros fundamentais da aplicação de refrigeração e considerar as características do produto. O ambiente de armazenagem por refrigeração deve ser provido de equipamentos adequados para que sejam mantidas e controladas as condições de temperatura e de umidade do ar apropriadas à conservação do alimento. (DOSSAT, 2004; MACHADO, 2000).

4 DIMENSIONAMENTO DE CÂMARA FRIA

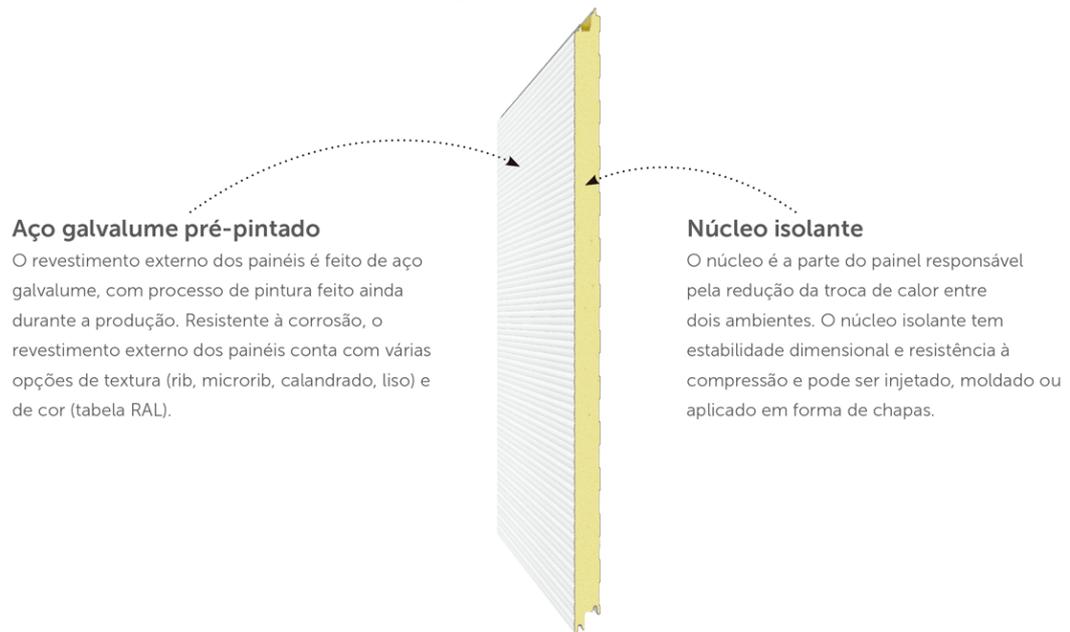
Uma câmara fria, também conhecida como câmara frigorífica, é um ambiente de armazenamento com condições internas controladas e tem por finalidade proteger os produtos e prolongar seu período de estocagem (CHAGAS, [ca. 2012]; MORAIS, 2014).

A câmara frigorífica pode ser de resfriamento ou de congelamento e deve atender critérios de capacidade de armazenamento e instalações para recebimento e expedição, bem como ter um espaço interior bem dimensionado. Preservar a temperatura interior abaixo da temperatura externa é essencial para manter o sistema de refrigeração em adequado funcionamento. A elaboração de um projeto correto, a escolha de métodos de construção e seu material adequado, a escolha de equipamentos e a supervisão de operação influenciam na capacidade de refrigeração da câmara e nos custos de energia elétrica (CHAGAS, [ca. 2012]).

Segundo Sales (2019), a câmara frigorífica pode ser do tipo de alvenaria ou modular (painéis desmontáveis). O primeiro modelo é mais comum em ambientes maiores de extensos perímetros, onde almeja-se armazenar uma quantidade de produto considerada grande, sendo assim construída e montada no ambiente de atuação, contudo nos dias de hoje não é mais um modelo tão usado. Já o tipo modular tem como característica menor custo e tempo de construção, além de sua praticidade de montagem, podendo ser pré-montado antes de ir para o local de atuação e remontado em caso de mudança de layout, atualmente, é o modelo mais utilizado.

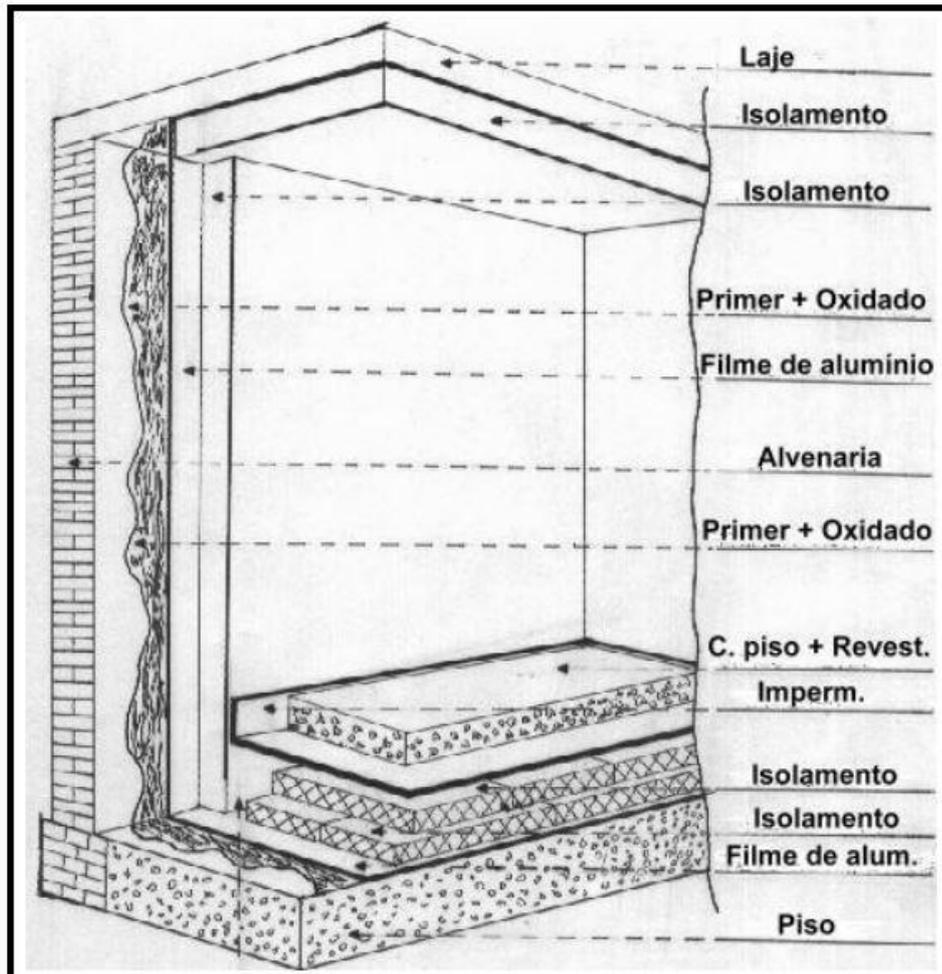
Outro fator que difere os dois modelos é a quantidade de camadas na parede para conseguir o isolamento térmico apropriado, uma vez que nas construções de alvenaria é necessária a combinação de varias camadas de material diferente para obter um bom efeito isolante. Segundo Oliveira (2020), as paredes podem ser de tijolos ou blocos, com acabamento externo e interno, com adição de barreira de vapor ou asfalto frio na estrutura, com material isolante fixado, geralmente é utilizado pedaço de madeira junto para diminuir a transferência de calor por condução, e com camada protetora interna de concreto para o acabamento final. Já os painéis modulares, segundo Chagas ([ca. 2012]), são constituídos de material isolante térmico e cobertura em ambos os lados, promovendo estrutura rígida. Portanto dependendo da capacidade de isolamento almejado, basta alterar apenas a espessura do material isolante, pois isso vai interferir na capacidade de isolamento. Essa diferença entre ambos os modelos pode ser observada nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Camadas da parede de painel



Fonte: Dânica, 2018.

Figura 3 – Camadas da parede de câmara de alvenaria



Fonte: Tectermica, ([20--]).

Em câmaras frias é comum ocorrerem degelos periódicos para remoção de gelo que fica acumulado nas serpentinas e na superfície do evaporador. Esse acúmulo afeta o desempenho térmico, o que reduz a capacidade e eficiência do sistema frigorífico. O degelo pode ocorrer de forma natural ou forçada. O primeiro método é recomendado para ambiente com temperatura acima de 0°C, assim a circulação do fluido refrigerante é interrompida, mas o ventilador do evaporador continua funcionando para circulação do ar. O segundo, recomendado para ambiente com temperatura abaixo de 0°C, pode ser feito por gás quente, resistência elétrica ou aspersão de solução aquosa. Independente do tipo de degelo, o seu acionamento e período de duração pode ocorrer conforme a demanda ou por programação (ABNT, 2013; VENTURINI, 2005).

4.1 Proposta de estudo

Essa etapa do presente trabalho visa dimensionar uma câmara de armazenamento congelada para massa de pães, bem como escolher os principais equipamentos para funcionamento da mesma, em vista do crescimento de estocagem centralizada de produtos alimentícios em pontos de distribuição. As medidas da câmara constam na Tabela 4. Os dados informativos para realizar os cálculos estão presentes na Tabela 5.

Tabela 4 – Medidas da câmara

Medidas da câmara		
Altura	Interna	4 m
	Externa	4,2 m
Comprimento	Interno	15 m
	Externo	15,2m
Largura	Interna	9 m
	Externa	9,2 m
Área do piso e do teto (cada)	Interna	135 m ²
	Externa	139,84 m ²
Área das paredes laterais (cada)	Interna	60 m ²
	Externa	63,84 m ²
Área das paredes frontal e traseira (cada)	Interna	36 m ²
	Externa	38,64 m ²
Volume	Interno	540 m ³
	Externo	587,33 m ³

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 – Dados para realização de cálculos

Dados informativos	
Coef. Global de transm. de calor (U)	0,2 W/m ² .°C ⁽¹⁾
Temperatura da câmara (T _{int.})	-20 °C
Temperatura local (T _L)	32 °C ⁽²⁾
Temperatura ambiente do escritório (T _{esc.})	25 °C
Temperatura do solo (T _s)	26,7 °C ⁽³⁾
Temperatura da antecâmara (T _{ext.})	5 °C
Umidade relativa local (UR _L)	66,87% ⁽²⁾
Umidade relativa da câmara (UR _{int.})	85%
Umidade relativa da antecâmara (UR _{ext.})	80%
Volume específico do ar da antecâmara (v)	0,793 m ³ /kg de ar seco ⁽³⁾
Entalpia do ar da antecâmara (h _{ext.})	16 kJ/kg de ar seco ⁽³⁾
Entalpia do ar da câmara (h _{int.})	-17,5 kJ/kg de ar seco ⁽³⁾
Potência dissipada pela lâmpada (P _{lâmp.})	2 W/m ²⁽⁴⁾
Calor por pessoa (q _{pes.})	338 kcal/h ⁽⁵⁾
Calor dissipado por motor elétrico (q _{me})	1,3 kW/kW de potência ⁽⁶⁾
Potência de motor elétrico (P _{me})	12 kW ⁽⁷⁾

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: Os números entre parênteses indicam valores obtidos em diversas fontes. (1) Dado obtido pelo catálogo da empresa Isoeste. (2) Dado obtido pelo histórico de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. (3) Dado obtido por gráficos psicrométricos disponíveis nos Anexos A e B. (4) Dado obtido através da ABNT. (5) Dado obtido por tabela disponibilizada pela empresa Tecumseh, que pode ser visualizada no Anexo C. (6) Dado obtido através da tabela presente no Anexo F. (7) Informação mencionada por Gimenez (2013).

4.1.1 Produto

Pão é um produto alimentício considerado básico e de primeira necessidade. Ele está presente na mesa do consumidor pertencente a diversas classes sociais. Há vários tipos e formas de pães, que com seus aspectos diferenciados atende a preferência de cada perfil consumidor. Eles vão desde os mais baratos e populares até os mais sofisticados e caros, dependendo da técnica de fabricação (ABIP, 2018; CAUVAIN; YOUNG, 2009).

Segundo Abip (2021), no Brasil, o setor de panificação tem se fortalecido ano após ano, com resultados crescentes que tem refletido na economia brasileira. Junto desse crescimento vem surgindo a implantação de novas tecnologias, devido a necessidade de desenvolvimento técnico que proporcione maneiras mais rápidas e de melhor custo benefício para a fabricação. A utilização de técnicas de congelamento é uma dessas novas tecnologias. Essa inovação tecnológica oferece novas possibilidades para o segmento, uma vez que viabiliza a criação de centrais de produção em grande escala, onde o tempo e os custos operacionais no ponto de venda são reduzidos, permitindo que os produtos sejam finalizados *in loco*, assim, proporcionando praticidade e conveniência (CAUVAIN; YOUNG, 2009; MATUDA, 2004; SEBRAE, 2017).

Produtos alimentícios congelados têm ganhado destaque devido ao prolongamento de sua vida útil e praticidade. Nessa categoria, observa-se uma forte tendência para pães congelados, seja a massa de pão congelada ou pães congelados pré-assados. No primeiro tipo de pão congelado, a massa depois de modelada vai direto para o processo de congelamento e só é fermentada e assada no local de venda. Já no segundo, o congelamento só ocorre depois da massa fermentada e pré-assada, sendo assim, no local de venda, a massa só precisa terminar de assar. Esses produtos, embora mantenham parte do processo tradicional de produção de pães, o que permite a preservação das características padronizadas de pães, facilitam as últimas etapas deste processamento e proporcionam ao consumidor produto fresco como nos processos convencionais. O uso da tecnologia de congelamento de pães agrega vantagens como maior produção e diversificação, redução de trabalho noturno e expansão de venda e de pontos de venda, devido à possibilidade de centralização de fabricação (BONA, 2002; MATUDA, 2004; OTA, 2006; SEBRAE, 2017).

As massas de pães congeladas, antes de serem armazenadas, devem passar pelo processo de congelamento o mais rápido possível. O período de estocagem começa logo após esse processo de congelamento rápido. Ao realizar o armazenamento é importante que as peças de massa congelada estejam embaladas em sacos de polietileno ou caixas bem

protegidas com polietileno, pois isso minimiza os danos causados pela perda de água (CAUVAIN; YOUNG, 2009).

Segundo Cauvain e Young (2009), a temperatura de armazenamento de alimentos congelados deve ser menor que a temperatura de transição vítrea, com a finalidade de manter a qualidade do produto e impedir mudanças e deterioração durante o tempo de estocagem. À vista disso, o autor afirma que cada produto tem a sua própria temperatura mínima de armazenamento, porém, geralmente, na prática adota-se a temperatura de -20°C .

4.1.2 Isolamento térmico

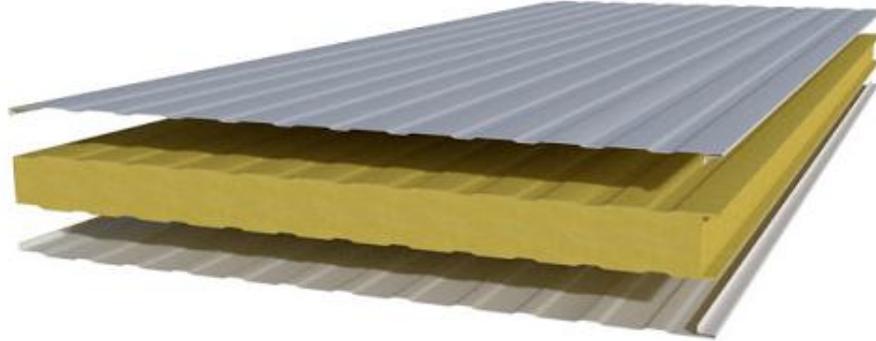
O isolamento térmico para câmaras frigoríficas é importante, pois é utilizado com o intuito de minimizar as trocas de calor entre os ambientes (interior e exterior da câmara) com temperaturas diferentes. Materiais isolantes geralmente são porosos, o que favorece seu desempenho, e em razão disso possuem elevada resistência térmica, o que permite que a capacidade de conduzir calor seja reduzida, isso se deve a presença de ar que fica acumulado nos poros (CHAGAS, [ca. 2012]; MORAIS, 2014).

Alguns materiais são utilizados como isolante térmico, segundo Chagas ([ca. 2012]), a capacidade do isolamento de cada material ocorre por sua espessura, densidade e o número de poros que o compõe. Além disso, um bom isolante térmico para câmara de refrigeração deve apresentar características como ser à prova de fogo, resistente a roedores e ao apodrecimento e impermeável e ter barreira contra vapor de água, baixo potencial de aquecimento e longa duração com pouca variação de condutividade térmica no decorrer da utilização. Para realizar a escolha do tipo de isolamento térmico, Dossat (2004) afirma que se deve considerar sua espessura e o seu coeficiente global de transmissão de calor, conhecido também como fator U, que é o fluxo de calor por variação de temperatura.

Atualmente, para construção de câmaras frigoríficas são utilizados painéis modulares pré-fabricados do tipo sanduíche, constituídos por dois revestimentos metálicos interligados por um isolante, como pode ser visto na Figura 4. Para essa composição são utilizados basicamente três tipos de materiais: EPS (poliestireno expandido), que é material plástico altamente poroso e praticamente impermeável, derivado de petróleo expandido por meio de vapor d'água; PUR (espuma rígida de poliuretano), material de densidade homogênea com alta resistência térmica e mecânica, formado por uma reação química entre os compostos isocianato e hidroxila; PIR (espuma rígida de poliisocianurato), material semelhante ao PUR,

porém com “excesso” de isocianato, o que o torna quimicamente mais estável (CHAGAS, [ca. 2012]; PORFIRIO, [20--]). A Tabela 6 apresenta uma comparação entre esses materiais.

Figura 4 – Camadas do painel modular tipo sanduíche



Fonte: Fria-câmara, (2018).

Tabela 6 – Comparação de materiais isolantes

Isolante	Espessura isolante (mm) ⁽¹⁾	Coef. Global de transm. de calor U (W/m ² .°C) ⁽¹⁾	Vantagens ⁽²⁾
PUR (poliuretano)	50	0,4	Possui excelentes propriedades termoisolantes e mecânicas; Possui boa resistência estrutural (não se desloca e não murcha), reduzindo a necessidade de estruturas auxiliares; Possui alto índice de resistência ao fogo. É considerado econômico a longo prazo.
	70	0,28	
	100	0,2	
	120	0,16	
	150	0,13	
	200	0,1	
EPS (poliestireno expandido)	50	0,63	É versátil; Possui baixo peso e rapidez na montagem; Possui alta durabilidade e capacidade isolante; É reciclável; Possui menor densidade, o que influencia no preço; Possui diversas texturas.
	100	0,33	
	150	0,22	
	200	0,17	
	250	0,14	
PIR (poliisocianurato)	50	0,4	Possui resistência térmica a altas temperaturas, água e umidade; Possui elevada resistência química e mecânica; Apresenta baixo índice de condutibilidade térmica; Leve e maleável; Resistente ao fogo classe R1 e à compressão.
	70	0,28	
	100	0,2	
	120	0,16	
	150	0,13	
	200	0,1	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: (1) Dados obtidos através de catálogo da empresa Isoeste. (2) Informações extraídas do site da empresa Termkcal.

4.1.3 Carga térmica

A carga térmica é o calor que deve ser removido de um ambiente com a finalidade de manter as condições de temperatura desejada. Em um projeto de dimensionamento de câmara fria deve-se determinar a potência frigorífica do espaço e escolher o tipo de equipamento a ser instalado. Para efetuar um balanço térmico devem-se calcular os calores envolvidos que provém de várias fontes diferentes e somá-los. Contudo, devido à complexidade de avaliar corretamente cada elemento envolvido, recomenda-se “superdimensionar” o sistema frigorífico a fim de suportar possíveis condições mais críticas das quais foram previstas. Portanto, para isso é utilizado um fator de segurança que varia de 5% a 10% do valor calculado, sendo geralmente usado o fator de 10%. A carga térmica calculada é para um período de 24h. Devido à necessidade de degelo, os evaporadores não funcionam esse período todo, portanto é importante considerar os intervalos frequentes de descongelamento da serpentina, e dividir a carga total pelo tempo de funcionamento do equipamento que varia entre 16h e 20h. De forma geral, recomenda-se usar o tempo de 18h para funcionamento. (DOSSAT, 2004; MORAIS, 2014).

4.1.3.1 Carga térmica em razão da transmissão por paredes, teto e piso

Esse tipo de carga térmica está associado à troca de calor entre os recintos externos e internos da câmara, devido à diferença de temperatura que há neles. O calor é transmitido por condução através de paredes, teto e piso. A troca de calor depende da área de superfície desses meios de transmissão (COSTA, 2018; CHAGAS, [ca. 2012]).

Tecumseh (2014) sugere que a instalação da câmara seja em um local onde não haja incidência de raios solares, porém caso não seja possível, é recomendado que seja adicionado um valor à diferença de temperatura, para compensar o efeito da radiação solar. Esse valor depende de alguns fatores como material, cor e orientação cardinal da parede. Os valores podem ser observados na tabela apresentada no Anexo D. A carga térmica de transmissão pode ser calculada pela seguinte Equação.

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T \quad (1)$$

onde,

Q: carga térmica em kcal/24h;

A: área externa em m²;

U: coeficiente global de transferência de calor em $W/m^2 \cdot ^\circ C$;

ΔT : diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno da câmara em $^\circ C$;

4.1.3.2 Carga térmica em razão de infiltração

A carga térmica referente à infiltração deve-se ao calor resultante da troca de ar do meio externo com o interno através da abertura de porta. Essa troca de ar ocorre em virtude da diferença de entalpia entre o ar interno e externo⁽⁶⁾, que varia em função da temperatura. Diante disso, sempre que a porta é aberta, o ar externo entra no ambiente interno da câmara e gera uma carga térmica adicional. O volume de ar que entra no espaço refrigerado não é determinado com exatidão, portanto utiliza-se de valores aproximados para determinar a quantidade de troca de ar por dia (DOSSAT, 2004; CHAGAS, [ca. 2012]).

Segundo Chagas ([ca. 2012]), o excesso de ar externo pode ocasionar bloqueio nos evaporadores devido à formação de gelo ao seu redor, o que reduz sua capacidade de funcionamento, além disso, pode promover um aumento no consumo de energia elétrica. Para reduzir essa troca de ar entre os ambientes, é comum a utilização de cortina de PVC na entrada da câmara.

A carga térmica de infiltração pode ser calculada pela seguinte Equação.

$$Q = (V/v) \cdot n \cdot (h_{\text{ext}} - h_{\text{int}}) \quad (2)$$

onde,

Q: carga térmica em kcal/24h;

V: volume interno da câmara em m^3 ;

v: volume específico do ar externo em m^3/kg ;

n: número de trocas de ar por 24 horas;

h_{ext} : entalpia do ar externo em kJ/kg;

h_{int} : entalpia ar interno em kJ/kg;

4.1.3.3 Carga térmica em razão do produto

Essa carga térmica é formada mediante o calor gerado pelo produto, que deve ser removido dele para que ocorra a redução de sua temperatura no ambiente de armazenamento refrigerado. Entender as características do produto e as condições que serão aplicadas nele, torna-se necessário para ter conhecimento das parcelas de calor que o compõe, sendo elas: calor sensível, gerado no processo de resfriamento; calor latente e sensível após

congelamento, gerado em caso de congelar o produto; e calor de respiração, que é gerado somente pelos vegetais devido o fato de ainda respirarem depois de colhidos (CHAGAS, [ca. 2012]).

Dossat (2004) afirma que a carga térmica do produto não precisa ser considerada, em caso de armazenamento refrigerado, contanto que o produto tenha passado por algum tratamento de refrigeração antes de entrar na câmara de estocagem, deixando-o já na temperatura de armazenagem. O autor também afirma que pode acontecer, embora não seja recorrente, do produto entrar no espaço de armazenamento a uma temperatura abaixo da que é utilizada para sua armazenagem. Dessa forma, quando isso acontece, o produto tende a absorver calor ao invés de liberar para o ambiente, assim deste modo ele tem efeito refrigerante para si.

Portanto diante do exposto acima e considerando que a câmara em questão será apenas para armazenamento do produto, já que ele passa por processo de ultracongelamento antes e entra na câmara já com a temperatura de armazenagem, chegou-se a conclusão que essa carga térmica não precisa ser calculada, mesmo considerando possibilidades de haver situações adversas.

4.1.3.4 Carga térmica em razão da iluminação

É a carga térmica relacionada com o calor dissipado pelas fontes internas de iluminação presentes no ambiente. De acordo com ABNT (2008) a potência de lâmpadas fluorescentes dissipada em armazéns climatizados é de 2W/m^2 . A carga térmica de iluminação pode ser calculada pela seguinte Equação.

$$Q = A_{\text{teto}} \cdot P \cdot t \quad (3)$$

onde,

Q: carga térmica em kcal/24h;

A_{teto} : área do teto em m^2 ;

P: potência dissipada em W/m^2 ;

t: tempo de iluminação em horas;

4.1.3.5 Carga térmica em razão da circulação de pessoas

Carga térmica decorrente do metabolismo do corpo humano. Essa liberação de calor deve-se pela atuação de funcionários no espaço de armazenamento refrigerado (TECUMSEH, 2014). Segundo Oliveira (2020), é necessário ter conhecimento da quantidade de pessoas que circularão na câmara e do tempo que elas permanecerão operando dentro dela.

A carga térmica de ocupação pode ser calculada pela seguinte Equação.

$$Q = n \cdot q \cdot t \quad (4)$$

onde,

Q: carga térmica em kcal/24h;

n: número de funcionários;

q: calor por pessoa em kcal/h;

t: tempo de trabalho em horas;

4.1.3.6 Carga térmica em razão de empilhadeiras

Outra fonte de calor é a presença de empilhadeiras que circulam dentro da câmara. A potência do motor influencia nesse cálculo, pois através dela é possível saber quanto de calor é dissipado, de acordo com Gimenez (2013) ela varia entre 4 a 12kW. O Anexo F dispõe de uma tabela que correlaciona o calor dissipado com a potência. O cálculo dessa carga térmica é realizado através da seguinte Equação.

$$Q = n \cdot P \cdot q \cdot t \quad (5)$$

onde,

Q: carga térmica em kcal/24h;

n: número de empilhadeiras;

P: potência em kW;

q: calor dissipado em kcal/h . kW;

t: tempo da empilhadeira na câmara em horas;

4.1.3.7 Carga térmica em razão de motor ventiladores

Outra procedência de calor se deve a presença de motores, dos ventiladores dos evaporadores com convecção forçada de ar no interior da câmara. Entretanto, para determinar o calor dissipado pelos ventiladores é necessário ter conhecimento do modelo do evaporador

que será utilizado. Porém, essa seleção só é feita após o cálculo da carga térmica total. Diante disso, recomenda-se atribuir 10% da soma das cargas térmicas anteriormente calculadas como valor de calor para esse tipo de motor (VENTURINI, 2005).

4.2 Memorial de cálculos

Os cálculos de carga térmica a seguir são baseados nas equações supracitadas. A unidade adotada para o valor final em cada item é kcal. Portanto, embora apareçam unidades diferentes na explicação dos itens nas equações, é necessário realizar a conversão devida de unidade, para que se obtenha a unidade final. Tal conversão de unidade pode ser realizada de acordo com a tabela do Apêndice A. A adoção dessa unidade deve-se aos catálogos para escolha dos equipamentos, que os dispõem na unidade de kcal/h.

4.2.1 Calor de paredes, teto e piso

Utilizando a Equação (1) calcula-se a carga térmica para as paredes (norte, sul, leste e oeste), teto e piso.

Para a parede norte, considera-se que a mesma separa a antecâmara da câmara, portanto não tem o fator de acréscimo na temperatura devido à incidência solar, assim tem-se:

$$Q_{P. norte} = 38,64 \times 0,2 \times (5 - (-20))$$

$$Q_{P. norte} = 7,728 \times 25$$

$$Q_{P. norte} = 193,2 \text{ W}$$

$$Q_{P. norte} = 3.989,6 \text{ kcal/24h}$$

Para a parede sul, tem-se:

$$Q_{P. sul} = 38,64 \times 0,2 \times (32 - (-20) + 1)$$

$$Q_{P. sul} = 7,728 \times 53$$

$$Q_{P. sul} = 409,58 \text{ W}$$

$$Q_{P. sul} = 8.457,95 \text{ kcal/24h}$$

Para a parede lateral leste, tem-se:

$$Q_{P.L. \text{ leste}} = 63,84 \times 0,2 \times (32 - (-20) + 2)$$

$$Q_{P.L. \text{ leste}} = 12,77 \times 54$$

$$Q_{P.L. \text{ leste}} = 689,47 \text{ W}$$

$$Q_{P.L. \text{ leste}} = 1.4237,66 \text{ kcal/24h}$$

Para a parede lateral oeste, considera-se que a mesma separa o escritório da câmara, portanto não tem o fator de acréscimo na temperatura devido à incidência solar, assim tem-se:

$$Q_{P.L. \text{ oeste}} = 63,84 \times 0,2 \times (25 - (-20))$$

$$Q_{P.L. \text{ oeste}} = 12,77 \times 45$$

$$Q_{P.L. \text{ oeste}} = 574,65 \text{ W}$$

$$Q_{P.L. \text{ oeste}} = 1.1864,72 \text{ kcal/24h}$$

Para o teto, considera-se que o mesmo é coberto, portanto não tem o fator de acréscimo na temperatura devido à incidência solar, assim tem-se:

$$Q_{\text{teto}} = 139,84 \times 0,2 \times (32 - (-20))$$

$$Q_{\text{teto}} = 27,97 \times 52$$

$$Q_{\text{teto}} = 1.454,34 \text{ W}$$

$$Q_{\text{teto}} = 30.032,18 \text{ kcal/24h}$$

Para o piso, tem-se:

$$Q_{\text{piso}} = 139,84 \times 0,2 \times (26,7 - (-20))$$

$$Q_{\text{piso}} = 27,97 \times 46$$

$$Q_{\text{piso}} = 1.286,53 \text{ W}$$

$$Q_{\text{piso}} = 26.971,21 \text{ kcal/24h}$$

O total da carga térmica de transmissão é calculado através do somatório de todos os calores encontrados acima. Portanto, tem-se:

$$Q_t = 3.989,6 + 8.457,95 + 14.237,66 + 11.864,72 + 30.032,18 + 26.971,21$$

$$Q_t = 95.553,32 \text{ kcal/24h}$$

4.2.2 Calor de infiltração

Para calcular a carga térmica de infiltração, utiliza-se a Equação (2). O valor de n presente na Equação foi encontrado através da interpolação dos dados presente na tabela do Anexo E. Os demais valores estão presentes nas Tabelas 4 e 5. Com isso, tem-se:

$$Q_{inf.} = \frac{540}{0,793} \times 2,72 \times (16 - (-17,5))$$

$$Q_{inf.} = 680,96 \times 2,72 \times 33,5$$

$$Q_{inf.} = 62.048,93 \text{ kJ}$$

$$Q_{inf.} = 14.830,05 \text{ kcal/24h}$$

4.2.3 Calor da iluminação

Para calcular a carga térmica de iluminação, utiliza-se a Equação (3). Para esse cálculo estipulou-se um tempo de 5 horas por dia, pois as lâmpadas só ficam acesas quando há pessoas dentro da câmara, uma vez que enquanto elas estão acesas ficam dissipando calor para o ambiente. Com isso, tem-se:

$$Q_{ilum.} = 135 \times 2 \times 5$$

$$Q_{ilum.} = 270 \times 5$$

$$Q_{ilum.} = 1.350 \text{ W.h}$$

$$Q_{ilum.} = 1.161,57 \text{ kcal/24h}$$

4.2.4 Calor da circulação de pessoas

Para calcular a carga térmica referente às pessoas que circulam dentro da câmara, utiliza-se a Equação (4). Para esse cálculo estipulou-se que haverá 4 pessoas trabalhando em um tempo de 5 horas por dia. Portanto, tem-se:

$$Q_{pes.} = 4 \times 338 \times 5$$

$$Q_{pes.} = 1.352 \times 5$$

$$Q_{pes.} = 6.760 \text{ kcal/24h}$$

4.2.5 Calor de empilhadeiras

Para calcular a carga térmica referente às empilhadeiras utiliza-se a Equação (4). Para esse cálculo estipulou-se o uso de apenas uma empilhadeira funcionando o mesmo tempo de permanência de pessoas na câmara. Portanto, tem-se:

$$Q_{me} = 1 \times 12 \times 1,3 \times 5$$

$$Q_{me} = 78 \text{ kWh}$$

$$Q_{me} = 67.112,8 \text{ kcal/24h}$$

4.2.6 Calor de motor ventiladores

Conforme mencionado anteriormente, essa carga térmica é equivalente a 10% do somatório de todo calor calculado acima. Portanto, tem-se:

$$Q_{parcial} = 95.553,32 + 14.830,05 + 1.161,57 + 6.760 + 67.112,8$$

$$Q_{parcial} = 185.417,74 \text{ kcal}$$

$$Q_{evap.} = 10\% Q_{parcial}$$

$$Q_{evap.} = 18.541,77 \text{ kcal}$$

4.2.7 Calor final

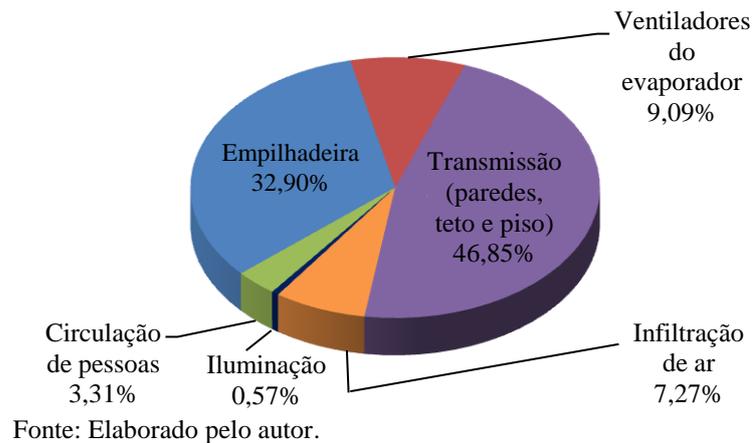
O calor total é calculado através do somatório de todos os calores encontrados anteriormente. Com isso, tem-se:

$$Q_{total} = 95.553,32 + 14.830,05 + 1.161,57 + 6.760 + 67.112,8 + 18.541,77$$

$$Q_{total} = 203.959,51 \text{ kcal}$$

O Gráfico 1 apresenta um comparativo da relevância em porcentagem de cada carga térmica presente no dimensionamento da câmara de congelados.

Gráfico 1 – Percentual das cargas térmicas



Devido o fator de correção, a carga térmica final é calculada através da soma do calor encontrado acima com 10% de seu valor. Portanto, tem-se:

$$Q_{\text{final}} = 203.959,51 + 20.395,95$$

$$Q_{\text{final}} = 224.335,46 \text{ kcal/24h}$$

O resumo dos valores calculados pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 – Resumo dos valores calculados

Fonte de calor	Quantidade de calor em kcal/24h
Transmissão (paredes, teto e piso)	95553,32
Infiltração de ar	14830,05
Iluminação	1161,57
Circulação de pessoas	6760
Empilhadeira	67112,8
Subtotal	185417,74
Ventiladores do evaporador	18541,77
Subtotal	203959,51
Fator de correção	20395,95
Total	224355,46

Fonte: Elaborado pelo autor.

Contudo, o calor encontrado até aqui foi para um período de 24 horas e como já foi supramencionado, a câmara não funciona esse tempo todo. Portanto faz-se necessário dividir o valor calculado pelo tempo de funcionamento da câmara, que é de 18 horas. Então, tem-se:

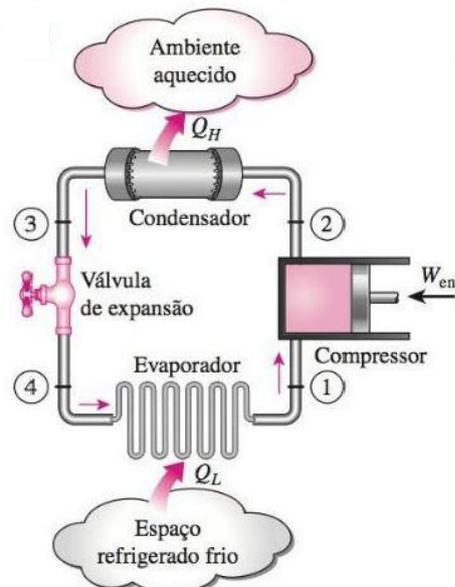
$$Q_{18h} = \frac{224.335,46}{18}$$

$$Q_{18h} = 12.463,08 \text{ kcal/h}$$

4.3 Componentes do sistema frigorífico

Morais (2014) afirma que para garantir as condições almejadas do ambiente refrigerado, o agente refrigerante deve passar pelos quatro componentes importantes que constituem um sistema frigorífico simples: compressor, condensador, evaporador e válvula de expansão. Segundo Rosa (2000), esse circuito é constituído pela circulação do fluido refrigerante no sistema, o qual passa por diversos processos de transformação de estado ou condição que ocorrem sob controle. A Figura 5 representa esse sistema frigorífico e seus componentes.

Figura 5 - Circuito frigorífico



Fonte: Barbosa Junior *et al* (2016).

O fluido refrigerante é o agente térmico que trabalha nos equipamentos que compõem o ciclo. Seu estado físico é alterado conforme sua ação, assim absorvendo calor ao

vaporizar e cedendo calor ao condensar. A fim de realizar a escolha do fluido refrigerante adequado deve-se considerar fatores que o torne seguro e econômico levando em conta algumas propriedades químicas, físicas e termodinâmicas, tais como: ter propriedades termodinâmicas favoráveis, não ser tóxico, inflamável e explosível, não deve reagir com qualquer material usado na constituição dos equipamentos e deve ser quimicamente estável, compatível com o óleo lubrificante do compressor, de fácil detecção e de natureza não contaminante para produtos alimentícios (DOSSAT, 2004; STOECKER; SAIZ JABARDO, 2002).

Fatores ambientais relacionados à camada de ozônio e ao efeito estufa também são pertinentes na escolha do refrigerante. Para caracterizar o nível de ação do fluido estabeleceram-se dois índices conforme o protocolo de Montreal. O primeiro é a taxa ODP (*Ozone Potencial Depletion*), que quantifica o potencial de degradação da camada de ozônio causada pelo agente refrigerante. O segundo é a taxa GWP (*Global Warming Potencial*), que quantifica o quanto a presença de um fluido na atmosfera pode contribuir para o aquecimento global. Devido a isso, alguns fluidos bastante utilizados no passado como agente refrigerante foram proibidos em alguns países, e o desenvolvimento de outros fluidos foi necessário para substituí-los (DOSSAT, 2004; MORAIS, 2014; STOECKER; SAIZ JABARDO, 2002). Diante do exposto e com base nos fluidos que são utilizados atualmente em sistemas frigoríficos, o fluido refrigerante escolhido para o presente trabalho foi o R-404a, já que ele não degrada a camada de ozônio e tem aplicabilidade para equipamentos com baixa temperatura de evaporação.

Compressor é um dos principais componentes do ciclo frigorífico, pois ele é responsável por comprimir o refrigerante da pressão de vaporização à pressão de condensação e promover sua circulação em todo o sistema. Desse modo, esse componente é considerado como o coração do sistema frigorífico. O compressor pode ser classificado de acordo com sua montagem, podendo ser do tipo hermético, semi-hermético ou aberto. A escolha do compressor depende do fluido a ser utilizado e da capacidade de instalação, em termos de temperatura de vaporização (MORAIS, 2014; VENTURINI, 2005). Para o presente trabalho, escolheu-se o compressor do tipo semi-hermético, pois para câmaras frigoríficas geralmente é usado esse modelo, uma vez que, segundo Morais (2014), o motor de acionamento e o compressor propriamente dito ficam acoplados no interior de uma carcaça metálica, trabalhando hermeticamente, porém tendo facilidade de manutenção, já que é possível abri-lo para proceder com reparos internos.

O fluido refrigerante ao sair do compressor é levado ao condensador para o processo de condensação. O condensador é um trocador de calor que dissipa para um ambiente, qualquer, externo à câmara o calor removido dela, ou seja, o fluido refrigerante ao passar por esse componente libera o calor acumulado que foi absorvido nas etapas anteriores do ciclo. O refrigerante entra no condensador como vapor superaquecido, é resfriado ao ponto de saturação e então é condensado, saindo como líquido. No decorrer desse procedimento de condensação, as frações de vapor e de líquido vão variando até a obtenção do fluido no estado líquido (DOSSAT, 2004; MORAIS, 2014; OLIVEIRA, 2020; VENTURINI, 2005).

Tendo em vista os cálculos de carga térmica realizados anteriormente, a temperatura de evaporação escolhida que é de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o tipo de compressor escolhido, o modelo de unidade condensadora selecionado foi o OP-LBZ 555 D 49 da empresa Danfoss. Unidade condensadora é o conjunto de componentes essenciais, compressor e condensador, com outros componentes do sistema frigorífico. No caso do presente trabalho, optou-se pela linha OptymaTM Semi-Hermética da empresa supracitada, pois atende a temperatura de funcionamento da câmara, que é $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, e é constituída por condensador, compressor, válvulas, tanque de líquido, filtro secador, visor de líquido, caixa elétrica e pressostato. A Figura 6 apresenta o modelo escolhido.

Figura 6 – Unidade condensadora



Fonte: Danfoss (2019).

Na linha frigorífica, o refrigerante líquido ao sair do condensador para o evaporador passa pela válvula de expansão. Ela regula a vazão de refrigerante que chega ao evaporador. Além disso, sua principal função é reduzir a pressão do fluido a partir da pressão de condensação até a pressão de vaporização, obtendo, assim, uma mistura de vapor e líquido (MORAIS, 2014; VENTURINI, 2005). No presente trabalho foi escolhida a válvula de

expansão termostática tipo TE 5 da linha TE 5 – 55 da empresa Danfoss. A Figura 7 apresenta o modelo dessa válvula.

Figura 7 – Válvula de expansão termostática



Fonte: Danfoss (2012).

A mistura que sai da válvula de expansão entra no evaporador absorvendo o calor que é retirado da câmara frigorífica. Segundo Morais (2014), evaporador, frequentemente considerado o principal elemento do sistema frigorífico, é um trocador de calor que remove a carga térmica produzida pelos fatores presentes no ambiente da câmara. Nesse processo de reter calor, ocorre a vaporização do fluido refrigerante.

De acordo com Vilain (2018), para realizar a seleção do evaporador deve-se considerar a temperatura de evaporação, que deve ser menor que a temperatura interna da câmara, para o presente trabalho foi escolhida a temperatura de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, a capacidade térmica calculada e o alcance da flecha de ar e. Com base nesses fatores, o modelo de evaporador escolhido foi o FTBN 841 da empresa Trineva. Esse modelo possui 4 motor ventiladores e sistema de degelo à gás quente no núcleo do evaporador, mantendo a resistência elétrica na bandeja. A Figura 7 representa um modelo similar ao escolhido, porém com 2 motor ventiladores.

Figura 8 – Evaporador



Fonte: Trineva (2019)

De acordo com Costa (2018), além dos componentes operacionais essenciais, também pode ser utilizado, com a finalidade de colaborar com a manutenção de condições adequadas, um sistema de controle, que permite realizar monitoramento e ajuste nas condições internas de acordo com as primordialidades do ambiente almejado.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da revisão bibliográfica permitiu concluir a importância de medidas inibitórias de agentes alterantes dos produtos alimentícios. Os métodos de conservação foram desenvolvidos visando a necessidade de entregar ao consumidor produtos seguros e de qualidade. Cada alimento possui características próprias e isso deve ser levado em consideração ao escolher o método de conservação a ser empregado. A aplicação de refrigeração, seja resfriamento ou congelamento, visa preservar o alimento em toda a logística envolvida na cadeia alimentar, desde a colheita ou abate até o momento de seu consumo.

Também é possível inferir que embora o uso da refrigeração seja eficaz na conservação de alimentos, se não aplicado de maneira adequada, pode causar efeitos desfavoráveis, os quais prejudicam as características e a qualidade do produto. Portanto é importante o desempenho satisfatório da cadeia do frio, bem como a manutenção e controle de condições apropriadas – temperatura e umidade do ar – para cada tipo de alimento.

Conjuntamente, no presente trabalho foi possível realizar o dimensionamento de uma câmara de armazenamento congelado visando um centro de distribuição de massa de pão congelada, atendendo a condição de Temperatura interna de -20°C para estocagem. Com isso foi possível depreender a respeito do processo de dimensionamento de câmara frigorífica, abordando sobre o desenvolvimento de cálculo de carga térmica, bem como a escolha dos equipamentos essenciais que compõem o sistema frigorífico que deve manter as condições de temperatura e umidade almejadas no ambiente.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, J. G. **Conservação pelo frio**: uma revisão bibliográfica sobre refrigeração de alimentos em supermercados. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade Católica do Tocantins, Palmas, 2018.

ABIP. **A história do pão**. Vitória: Abip, 2018. Disponível em: <https://www.abip.org.br/site/>. Acesso em: 16 fev. 2021.

ABIP. **Indicadores da panificação e confeitaria brasileira**. Vitória: Abip, 2021. Disponível em: <https://www.abip.org.br/site/indicadores-da-panificacao-e-confeitaria-em-2020/>. Acesso em: 16 fev. 2021.

ABNT. **ABNT NBR 16401:1**: instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários: parte 1: projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 60 p.

ABNT. **ABNT NBR 16255**: sistemas de refrigeração para supermercados: diretrizes para o projeto, instalação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 18 p.

AZEREDO, H. M. C. de. (ed.). **Fundamentos de estabilidade de Alimentos**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

BARBOSA JUNIOR, C. R. B. *et al.* Análise da influência da condensação na eficiência energética de uma câmara frigorífica funcionando com refrigerante R22. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO, 10., 2016, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: MERCOFRIO, 2016.

BRASIL, Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 1.428, de 26 de novembro de 1993**. Regulamentos Técnicos sobre Inspeção Sanitária, Boas Práticas de Produção/Prestação de Serviços e Padrão de Identidade e Qualidade na Área de Alimentos. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1993/prt1428_26_11_1993.html. Acesso em: 06 jan. 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução - RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/anexos/anexo_res0275_21_10_2002_re_p.pdf. Acesso em: 06 jan. 2021.

BONA, S. de. **Estudos da viabilidade da produção de pão francês a partir de massa congelada**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CARVALHO, G. S. C. **A importância da cadeia do frio no processamento de frangos resfriados**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Gestão da Segurança de Alimentos) – Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC), Goiânia, 2011.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Tecnologia da panificação**. 2. ed. Barueri: Manole, 2009. 418 p. ISBN 9788520427064 (broch.).

CHAGAS, J. A. C. **Projeto e construção de câmaras frigoríficas**. Joinville: York Refrigeration, [ca. 2012]. 14 p.

COLLA, L. M.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Congelamento e descongelamento – sua influência sobre os alimentos. **VETOR - Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 53–66, 2007. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/428>. Acesso em: 21 fev. 2021.

COSTA, W. L. T. **Dimensionamento de câmara fria para lojas de conveniência de postos de combustível**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

DANICA. **Isolamento térmico**. Jaboaão dos Guararapes, 2018. Disponível em: <https://danica.com.br/o-que-e-isolamento-termico>. Acesso em: 25 fev 2021.

DANFOSS. **Catálogo Seleção rápida: controles, compressores e unidades condensadoras**. Nordborg: Danfoss, 2012.

DANFOSS. **Catálogo Optyma™ Semi-hermética**. Nordborg: Danfoss, 2019.

DOSSAT, R. J. **Princípios de refrigeração: teoria, prática, exemplos, problemas, soluções**. São Paulo: Hemus, 2004. 884 p. ISBN 8528901599 (broch.).

DYNAMOX. **Cadeia de frio**. Florianópolis: Dynamox, 2019. Disponível em: <https://dynamox.net/cadeia-de-frio/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

EUSÉBIO, A. **Avaliação de conformidade das temperaturas de conservação de alimentos em refrigeração e congelamento nos principais restaurantes e supermercados na cidade da Matola**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Para-clínicas, Faculdade de Veterinária, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2020.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1989. 652 p. (Nutrição). ISBN 857379075X (enc.).

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p. ISBN 8536306521 (broch.).

FONSECA, K. L. **Avaliação da cadeia de frio em um supermercado no Distrito Federal**. 2006. 50 p. Monografia (Especialização “Lato sensu” em Higiene e Inspeção em Produto de Origem Animal) – Universidade Castelo Branco, Brasília, DF, 2006. Disponível em: <https://docplayer.com.br/9376778-Avaliacao-da-cadeia-de-frios-em-um-supermercado-no-distrito-federal-karina-lettieri-fonseca.html>. Acesso em: 10 dez. 2020.

FRIA-CAMARA. **Painel frigorífico**. [s. l.], 2018. Disponível em: <http://www.fria-camara.com.br/painel-frigorifico.html>. Acesso em: 28 fev. 2021

GIMENEZ, A. **Projeto de um entreposto frigorífico com análise da barreira de vapor, carga térmica e do ciclo de refrigeração**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Graduação

em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LOPES, R. L. T. **Dossie técnico: conservação de alimentos**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), 2007. Copyright © - Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas.

MACHADO, R. L. P. **Boas práticas de armazenagem na indústria de alimentos**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2000. 28p. (Embrapa Agroindústria de Alimentos. Documentos, 42)

MATUDA, T. G. **Análise térmica da massa de pão francês durante os processos de congelamento e descongelamento: otimização de uso de aditivos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 142 p.

MELO, J. G.; PONTES, C. R. Condições higienicossanitárias e controle da temperatura de equipamentos e alimentos em um supermercado de Fortaleza - CE. **Higiene Alimentar**, Fortaleza, v. 30, n. 258/259, p. 37-41, jul./ago. 2016.

MORAIS, M. M. **Projeto de uma instalação frigorífica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014.

NUVOLARI, C. M. **Boas práticas de fabricação e a cadeia do frio nos supermercados de Botucatu - SP**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

ORDÓÑEZ PEREDA, J. A. (ed.). **Tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 2 v. (Biblioteca Artmed. Nutrição e tecnologia de alimentos). ISBN 8536304367 (v. 1 : broch.).

OLIVEIRA, M. de; PAIVA, V. T. **Análise de desempenho das câmaras frigoríficas do RU-UFES**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

OLIVEIRA, A. L. de. **Refrigeração e cadeia do frio para alimentos**. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, 2020. 185 p. ISBN 978-65-87023-02-1. E-book. Disponível em: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/469>. Acesso em: 28 dez. 2020.

OTA, E. M. **Influência das variáveis de processo de congelamento na qualidade final de pão tipo francês pré-assado**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PORFIRIO, S. **Pur versus pir**. [s. l]: Poliuretano & tecnologia, [20--]. Disponível em: <http://blogdopoliuretano.com.br/>. Acesso em: 02 mar. 2021.

POTTER, N. N.; HOTCHKISS, J. H. **Food science**. Springer Science & Business Media, 2012.

ROSA, A. E. **Frigofacil**: sistema de dimensionamento de câmaras frigoríficas. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Especialidade em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SALES, W. **Conheça os tipos de câmaras frigoríficas**. São Gonçalo: Friomilia, 2019. Disponível em: <https://friomilia.com.br/>. Acesso em: 28 jan. 2021.

SEBRAE. **Artigo técnico**: técnicas de congelamento transformam panificação. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae>. Acesso em: 21 fev. 2021.

SILVA, G. B. da. **A gestão da cadeia do frio**: uma análise de fatores logísticos. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, J. de C. **Análise histórica sobre os métodos de conservação dos alimentos**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Técnico Integrado em Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Barretos, 2018.

SILVA, L. C. da. **Métodos de conservação de alimentos**: uso do frio. Alegre: Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. Disponível em: <http://www.agais.com/tpoa1/>. Acesso em: 22 nov. 2020.

STOECKER, W. F.; SAIZ JABARDO, J. M. **Refrigeração industrial**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2002. 371 p. ISBN 85-212-0305-5.

TECTERMICA. **Isolamento térmico tradicional para câmara fria e câmara frigorífica**. São Paulo: Tectermica, [20--].

TECUMSEH. A importância do cálculo de carga térmica. **Fic frio**, São Carlos, ano 23, n. 90, out./nov./dez. 2014.

TEXEIRA, Janaine V. **Avaliação da temperatura de conservação dos produtos cárneos comercializados em supermercados da cidade de Formiga-MG**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Medicina Veterinária) – Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2016.

TRINEVA. **Catálogo de produtos**. São Paulo: Trivena, 2019.

VASCONCELOS, M. A. da S.; MELO FILHO, A. B. de. **Conservação de alimentos**. Recife: EDUFRPE, 2010. 130 p. ISBN: 978-85-7946-072-2. Programa Escola Aberta do Brasil (ETEC – Brasil).

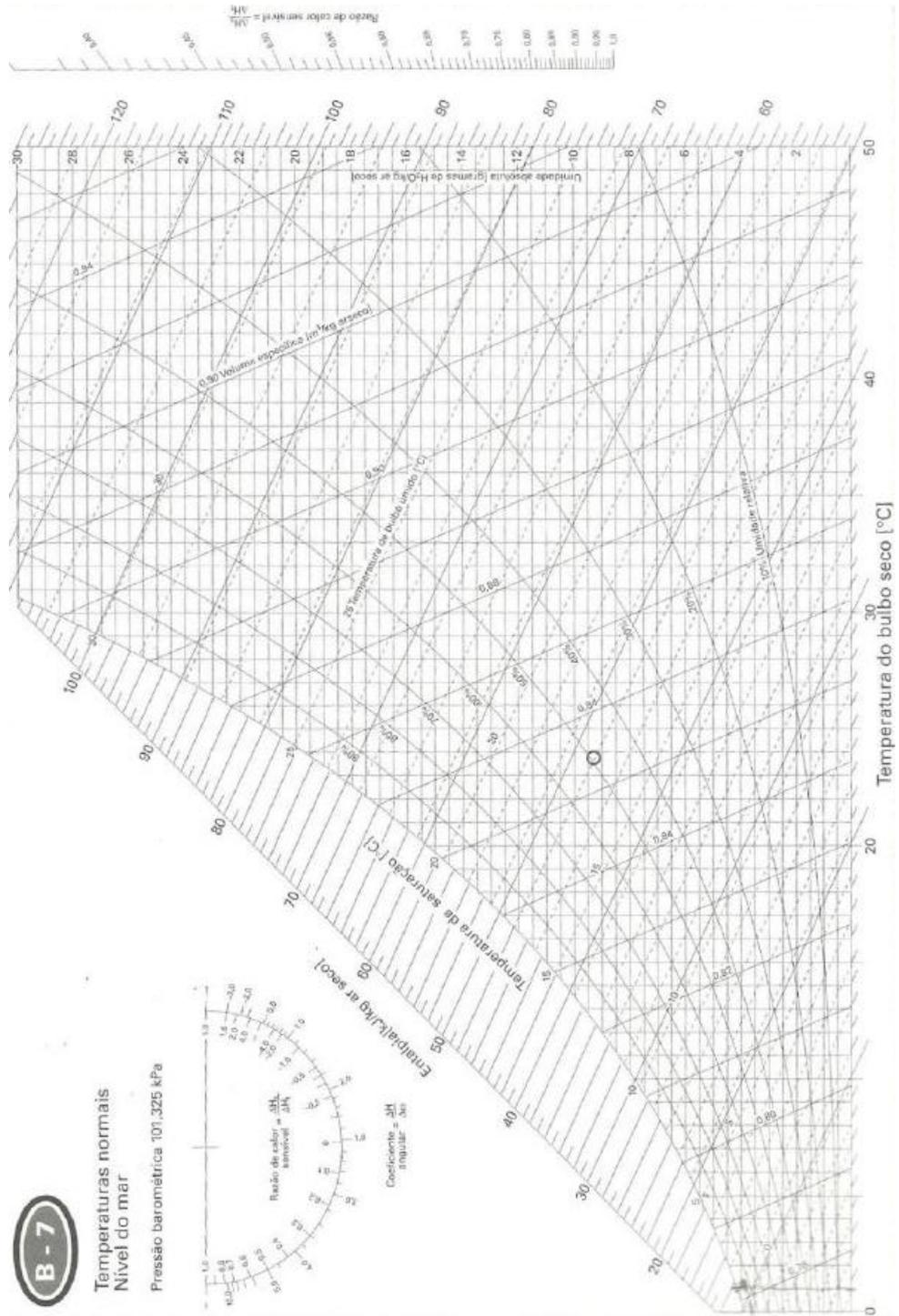
VENTURINI, Osvaldo J. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 316 p.

VILAIN, R. **Projeto de câmaras frias de pequeno porte**. São José: IF-SC, 2018.

APÊNDICE A – TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES

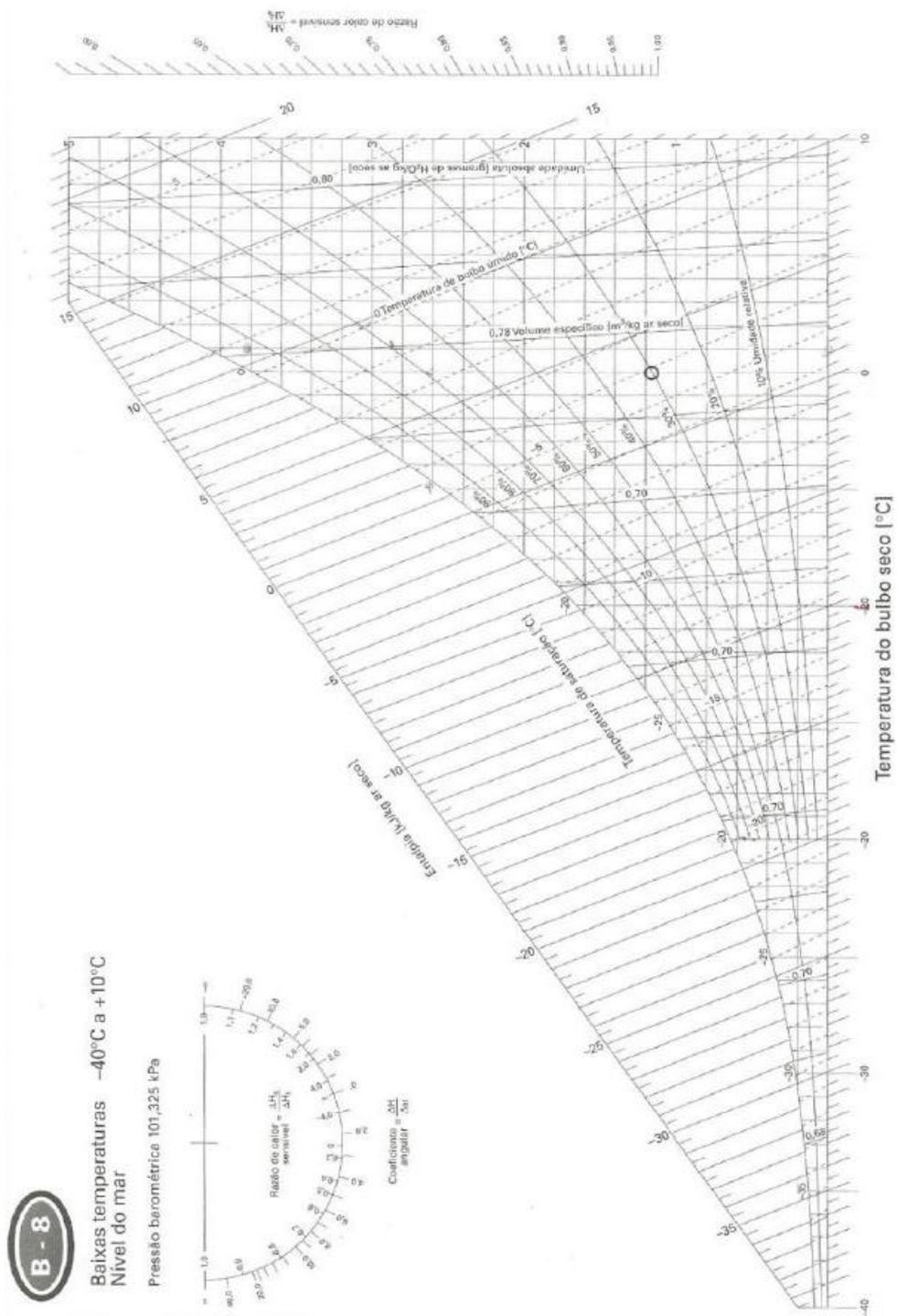
Tabela de conversão	
1W	Equivale a 1 J/s
Converter Joule (J) em caloria (cal)	Dividir por 4,184
Converter segundos (s) em horas (h)	Dividir por 3600

ANEXO A – DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA TEMPERATURAS NORMAIS



Fonte: Oliveira, 2020.

ANEXO B – DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA BAIXAS TEMPERATURAS



Fonte: Oliveira, 2020.

ANEXO C – CALOR DE OCUPAÇÃO

Calor de ocupação	
Temperatura da Câmara (°C)	Calor equivalente por pessoas (kcal /h)
10	181
5	208
0	233
-5	258
-10	279
-15	313
-20	338
-25	358

Fonte: Tecumseh, 2014.

ANEXO D – IRRADIAÇÃO SOLAR

Irradiação Solar				
Grau Celsius a acrescentar à diferença normal de temperatura usada no cálculo de dispersão para compensar o efeito da Irradiação Solar.				
Superfície	Parede Leste	Parede Sul	Parede Oeste	Teto/Chão
Piso escuro, ardósia, superfícies escuras	4,5°C	3°C	4,5°C	11°C
Superfície entre o escuro e o claro, madeira, cimento	3,5°C	2°C	3,5°C	8°C
Superfícies claras, Pedras claras, cimento claro, pintura	2°C	1°C	2°C	5°C
Não usar em projetos de condicionador de ar.				

Fonte: Tecumseh, 2014.

ANEXO E – TROCA DE AR

Troca de Ar/24h por abertura de Porta e Infiltração							
P/ Câmara de conversão c/ Temp. > 0°C				P/ Câmara de conversão c/ Temp. < 0°C			
Vol. (m³)	Nº Troca de Ar (24h)	Vol. (m³)	Nº Troca de Ar (24h)	Vol. (m³)	Nº Troca de Ar (24h)	Vol. (m³)	Nº 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

Obs.: Para uso intenso, multiplicar por "2" os valores acima

Fonte: Tecumseh, 2014.

ANEXO F – CALOR DISSIPADO POR MOTORES

Tabela 23 – Calor equivalente para motores elétricos (KW/KW)

Motor (KW)	Motor no espaço refrigerado	Motor fora do espaço refrigerado
0,1 a 0,4	1,8	1,0
0,4 a 2,2	1,5	1,0
2,2 a 15,0	1,3	1,0

Fonte: Oliveira, 2020.