

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

LUCAS PINHEIRO JERONYMO
RICARDO GECELER DE OLIVEIRA
SIDMAR PRUDENCIO DE OLIVEIRA
WENDYNEY LOPES LEITE

Resfriador Ultra Rápido
TCC

São Paulo
2024

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

LUCAS PINHEIRO JERONYMO
RICARDO GECELER DE OLIVEIRA
SIDMAR PRUDENCIO DE OLIVEIRA
WENDYNEY LOPES LEITE

Resfriador de Bebidas Enlatadas

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

Orientador: Prof. Francisco José de Oliveira Maia

São Paulo
2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUCAS PINHEIRO JERONYMO
RICARDO GECELER DE OLIVEIRA
SIDMAR PRUDENCIO DE OLIVEIRA
WENDYNEY LOPES LEITE

Resfriador de Bebidas Enlatadas

Trabalho acadêmico realizado como requisito parcial para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Tecnologia em Refrigeração, Ventilação e Ar-Condicionado.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Título e Nome do(a) Docente

Instituição: Fatec Itaquera

Assinatura: _____

Data ____/____/____

Título e Nome do(a) Docente

Instituição: Fatec Itaquera

Assinatura: _____

Data ____/____/____

Título e Nome do(a) Docente

Instituição: Fatec Itaquera

Assinatura: _____

Data ____/____/____

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 JUSTIFICATIVA	6
2.1 OBJETIVO GERAL	7
2.2 DELIMITAÇÕES	7
3 REVISÃO DA LITERATURA	7
3.1 HISTÓRICO DA REFRIGERAÇÃO	7
3.2 CONCEITOS DE TERMODINÂMICA.....	8
3.3 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA	9
3.4 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA	9
3.5 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA	10
3.6 ENTALPIA ESPECÍFICA	11
3.7 Cerveja.....	12
3.8 TEMPERATURA	13
3.8.1 ESCALA DE TEMPERATURA	13
3.8.2 TRABALHO	14
3.8.3 PRESSÃO	15
3.9 VOLUME ESPECÍFICO E MASSA ESPECÍFICA.....	15
3.10 CICLO DE REFRIGERAÇÃO DE COMPRESSÃO DE VAPOR	16
3.10.1 COMPONENTES DO CICLO FRIGORÍFICO	18
3.10.2 CALOR	18
3.10.3 CALORES ESPECÍFICOS	20
3.10.4 CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	21
3.10.5 CONVECÇÃO	22
3.10.6 RADIAÇÃO	23
3.10.7 COMPRESSOR	23
3.10.8 CONDENSADOR	24
3.10.9 EVAPORADOR	25
3.10.10 DISPOSITIVO DE EXPANSÃO	26
3.10.11 FLUÍDO REFRIGERANTE	26
3.11 SISTEMA DE VENTILAÇÃO	27
4 MATERIAIS E METODOLOGIA	29
5 PROCEDIMENTOS E TESTES	31
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
7 CONCLUSÃO	38
8 REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O domínio da refrigeração e do ar condicionado é uma das maiores conquistas tecnológicas da humanidade. É difícil imaginar o dia a dia das pessoas sem as comodidades e vantagens que esta área nos entrega. O seu apelo estende-se a vários campos de atividade e situações do nosso tempo, desde um complicado transplante de coração até à cerveja gelada servida num balcão de bar. Segundo Silva (2010), o setor alimentício é um dos mais afetados pelos técnicos de refrigeração. A necessidade de preservar alimentos e bebidas remonta aos tempos pré-históricos. Após a descoberta da conservação de alimentos, especialmente quando colocados em baixas temperaturas, abriu-se uma grande janela de potencial comercial. Os métodos mais antigos de produção de frio usavam gelo natural ou misturas de sal contidas na neve. Mais tarde, descobriu-se que o nitrato de sódio na água fazia com que a temperatura caísse ainda mais. No século XVIII, o gelo, era algo apenas para a parte mais rica da sociedade ao contrário de hoje, algo tão comum. Frederick Tudor em 1806 começou a vender blocos de gelo retirados do rio Hudson, nos Estados Unidos, distribuindo-os para outros países, como a Índia. Para fazer isso ele melhorou o transporte e armazenamento de gelo para retardar seu derretimento. Foi um grande feito na época muito comentado, que lhe valeu o subtítulo de Rei gelado. (PANESI, 2015) Com o transpassar do tempo e as dificuldades de obtenção de gelo natural, que também foram acompanhadas pelos transtornos causados pelo derretimento, vários cientistas da época procuraram alternativas, visando produzir gelo com máquinas. Em 1755, o professor universitário William Cullen criou um processo de remoção de calor utilizando éter para evaporar a água assim pela primeira vez foi possível produzir gelo artificialmente com uma pequena quantidade de água. No entanto, o dispositivo descrito para a produção de gelo em ciclo fechado foi patenteado por Jacob Perkins em 1834. Em 1856 o escocês James Harrison construiu um equipamento. (SILVA, 2010). Mas foi em 1906 que Willis Carrier, engenheiro norte-americano, conseguiu criar o atual processo mecânico utilizado em ar condicionado e refrigeração (PANESI, 2015). Estima-se que o ser humano tenha começado a utilizar bebidas fermentadas há 30 mil anos. Já a produção da cerveja teve seu início por volta de 8.000 a.C. A bebida foi desenvolvida em paralelo com os processos de fermentação de cereais da época. Entre os povos que ocuparam a Europa durante o Império Romano, quem obteve destaque na arte de fabricar a cerveja foram os de origem germânica. Na idade média, esse povo foi o primeiro a acrescentar o lúpulo na produção da cerveja, uma das características básicas

da composição atual da bebida. O modo de produção e distribuição sofreram mudanças decisivas durante a Revolução Industrial. Estabeleceram-se fábricas cada vez maiores na Inglaterra, Alemanha e no Império Austro-Húngaro (MEGA, 2011).

Na sociedade atual o uso da refrigeração tem um papel muito importante. Com essa tecnologia conseguimos armazenar alimentos para o consumo em nossas casas ou criando estoques refrigerados para alimentos perecíveis, realizamos a climatização de ambientes para tornar a temperatura agradável. O foco deste trabalho que é resfriar bebidas.

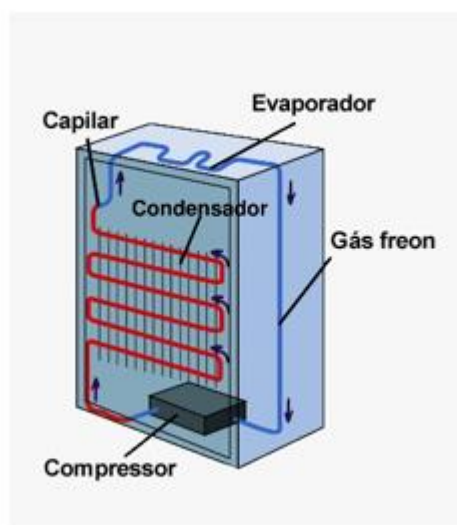
O resfriamento de bebidas enlatadas para consumo imediato é um ponto importante no dia a dia corrido da sociedade.

A ideia de um refrigerador de bebidas enlatadas é ajudar o comércio, residências e indústrias a refrigerar bebidas enlatadas gerando rapidez e espaço, eliminando a necessidade do uso de refrigeradores e freezers para estoque refrigerado de bebidas para pronto consumo.

O micro-ondas invertido, como estamos chamando, conseguiu resfriar bebidas enlatadas em até 5 minutos, pelo princípio de expansão direta, o que será útil para pequenos comércios, indústrias e residências. Vale ressaltar que nosso estudo será feito com cerveja enlatada, porém servirá para qualquer tipo de bebida.

Este trabalho envolve o estudo do ciclo da refrigeração, termodinâmica, transferência de calor, ventilação e controle de tempo e temperatura, exemplo simples como observa-se na Figura.

Figura 1- Esquema de um refrigerador.



Fonte: www.passeidireto.com/cicloderefrigeracao

2 JUSTIFICATIVA

Com a aproximação de dias comemorativos, reuniões talvez inesperadas, há um grande problema com o consumo de cerveja no Brasil, por ser um país tropical, não contribui para manter a cerveja em temperatura baixa. Vai-se utilizar o exemplo da cerveja pilsen, que é a cerveja mais comum consumida no Brasil. É quase correto afirmar que quanto mais gelada a cerveja mais vai agradar ao público. Em uma reunião ou evento um problema comum é refrigerar cervejas, refrigerantes ou água que seja em garrafa ou lata.

A principal motivação para a realização deste projeto de pesquisa, será reduzir o tempo de resfriamento para bebidas enlatadas.

Na FATEC Itaquera existe um trabalho de conclusão de curso, que faz uma análise de resfriamento de bebidas enlatadas, onde foi utilizado um circuito de resfriamento com mistura líquida secundária de água e propilenoglicol para reduzir o ponto de fusão da água melhorando a troca de temperatura, porém, após o procedimento a embalagem deve ser desinfetada com água corrente, enquanto o líquido secundário entra em contato com a caixa por irrigação (MIRANDA, ALVEZ & VILELA, 2018). Existem dispositivos no mercado que utilizam o princípio da convecção forçada, mas usa gelo para mudar a temperatura sem circuito de refrigeração para expansão direta.

A inexistência de projetos viáveis para refrigeração instantânea, estimulou-se a realizar esta pesquisa.

O mercado brasileiro de cerveja é gigante, sua cadeia de valor gerou receitas de 74 mil milhões de reais, representando 1,6 % do PIB do país e 14 % da indústria transformadora. Essas informações são provenientes de pesquisa realizada pela instituição Getulio Vargas para a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CERVBRASIL), mostram as oportunidades escondidas na tulipa do chope gelado (VANINI, 2016).

Pilsen é uma cerveja da região da Bohemia, que hoje faz parte da república Tcheca, é o tipo de cerveja mais consumido no Brasil. Sua principal característica é a cor dourada e transparente. Na sua fórmula original apresenta sabor delicado e aroma floral pronunciado, com presença de lúpulo forte. Comparada à cerveja pilsen, mais popular no Brasil, a variedade tcheca tem um sabor um pouco mais amargo. (MEGA, 2011).

Nos anos posteriores, a indústria da refrigeração apresentou um grande desenvolvimento e se tornou uma indústria grandiosa que movimenta bilhões de dólares todos os anos ao redor do mundo. Esse crescimento pode ser explicado por diversos

fatores, entre eles, o desenvolvimento da mecânica de precisão, procedimentos de fabricação sofisticados e com a chegada de compressores com motores elétricos (DOSSAT, 2004).

A seleção do tema foi fundamentada no grande mercado interno brasileiro, como, a procura, necessidade ou desejo na obtenção do produto pelo consumidor ou donos de estabelecimentos, levando em consideração questões mercadológicas como público alvo, por exemplo. Desta forma, o desenvolvimento do equipamento, da maneira que foi proposta, é diferenciado em relação aos produtos semelhantes que já estão ingressados no mercado, tornando-o um produto de grande desejo além de ser atrativo para o mercado consumidor (ANDREATTA & PELIZZARO, 2016).

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um equipamento, denominado de Microondas Reverso, que seja capaz de resfriar bebidas enlatadas em tempo menor do que refrigeradores ou freezers comerciais, onde o refrigerante evapora diretamente no evaporador sem passar pelo trocador intermediário. O vapor é sugado para dentro do compressor. Após a compressão, a temperatura e a pressão aumentam e depois é enviado para o condensador, onde o calor é liberado no condensador. O ambiente externo e, finalmente, o refrigerante são resfriados e condensados de volta ao estado líquido, e o ciclo se repete.

2.2 Delimitações

Realizar-se o estudo com a refrigeração de bebidas enlatadas em projetos futuros, pode-se ser Incluídos estudos com alimentos e bebidas engarrafadas em vidro ou plástico. Sempre visando o consumo imediato.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Histórico da Refrigeração

O homem sempre foi em busca de uma forma de conservar os alimentos a baixas temperaturas desde os mais antigos tempos. Um dos métodos mais utilizado na antiguidade foi o uso de gelo natural coletados das montanhas e encostas de rios. Oliver Evans, por volta de 1800, foi idealizador da união das técnicas de evaporação e

compressão como a criação de um sistema cíclico, mas a primeira máquina cíclica de refrigeração foi elaborada e patenteada por Jacob Perkins, em 1834, que operava segundo princípio de compressão de vapor. A partir de então, sugeriram várias propostas de disposição de equipamentos em operação que possibilitassem um ciclo termodinâmico para refrigeração, (ADIERS *et al.* 2011).

No dispositivo proposto por Perkins, existe um fluido volátil (fluido refrigerante), que ao evaporar irá retirar calor do ambiente ou objeto desejado, devido ao contato térmico com o evaporador. O vapor é então succionado pelo compressor tendo sua pressão elevada à pressão de condensação, graças ao trabalho introduzido nesse processo que possibilita essa trajetória. No condensador o fluido deverá rejeitar o calor recebido no processo e condensará, cumprindo o trajeto do ciclo. Na sequência, a pressão do fluido será reduzida em um dispositivo de expansão (válvula de expansão ou tubo capilar). Finalmente, o fluido é conduzido novamente ao evaporador reiniciando o ciclo. O projeto de um sistema frigorífico fundamenta-se no cálculo da Carga Térmica, que é definida como o calor total a ser removido do espaço refrigerado para que o produto, a partir da temperatura inicial, atinja a baixa temperatura de interesse. Assim, esse valor será numericamente igual à soma de calor que usualmente se desprende de várias fontes, definindo a capacidade do sistema frigorífico.

Um sistema de refrigeração mecânica por compressão é composto pela união de cinco elementos básicos: condensador, compressor, evaporador, válvula de expansão e o fluido refrigerante.

O sistema de refrigeração tem como finalidade a troca de calor, assim, alterando a temperatura de um ambiente ou determinado líquido, ele por sua vez também pode trocar calor com algum produto, para entender os conceitos, é necessário compreender os fundamentos que influenciam essa troca de calor englobada na termodinâmica.

Serão abordados, nesta introdução teórica, os seguintes temas: temperatura, calor, condutividade térmica, convecção, entalpia específica, volume da matéria, calor específico, leis da termodinâmica, ciclo básico de refrigeração e seus componentes.

3.2 Conceitos de Termodinâmica

Será apresentado nos tópicos a seguir breves conceitos apresentados pela Termodinâmica, que formam o embasamento dos estudos apresentados no projeto. A Termodinâmica, é a ciência que estuda as transformações da energia térmica através do

movimento de suas partículas, e esse conceito se aplica em todas as áreas onde houver moléculas em movimento desde que se possa quantificar (MAIURI & FONSECA, 1977). De acordo com os autores Savi e Colucci (2010), a Termodinâmica se derivou da Física nos séculos XVIII e XIX, dos séculos citados até agora. Diversos cientistas contribuíram e se destacaram para que essa ciência tivesse a importância que conhecemos nos dias de hoje, dentre eles podemos elencar *Sadi Carnot* (1796-1832), *J. P. Joule* (1818-1889), *Rudolph J. Clausius* (1822-1888) e *Lord Kelvin* (1824-1907).

A Termodinâmica atua na essência da matéria, onde a temperatura influencia no resultado, onde são elencadas e divididas em suas leis, conhecidas como as leis Termodinâmicas.

3.3 Lei Zero da Termodinâmica

A lei zero da termodinâmica ensina-se que quando a quantidade de energia térmica é aumentada ou diminuída em um corpo, esse corpo sofrerá alterações em suas propriedades, que podem modificar a sua estrutura molecular alterando a sua densidade, o seu volume e/ou a sua resistência elétrica. Essa lei contém os fundamentos básicos e necessários para que possamos efetuar as medições das temperaturas, e assim adiciona valores de acordo com a o calor rejeitado ou absorvido pelo produto em questão, esse calor é medido através de um termômetro, que por sua vez nos indica a possível variação da temperatura no produto analisado.

Segundo *Sears* (2008), pode-se uma propriedade importante do equilíbrio térmico ser descoberta através de 3 sistemas denominados A, B e C que no início não estavam equilibrados termicamente.

Segundo *Wyllen* (2013), esta lei enuncia que o conceito de temperatura e equilíbrio térmico entre corpos. Na prática, para definir se dois sistemas se encontram na mesma temperatura, não é necessário colocá-los em contato, basta verificar se estão em equilíbrio com um terceiro, que pode ser um termômetro.

3.4 Primeira Lei da Termodinâmica

De acordo com os autores *Pizzo e Moraes* (2006), a primeira lei da termodinâmica nos diz que um determinado corpo muda do seu estado inicial para o seu estado final, proporcionalmente ao calor transferido, tanto adicionado quanto retirado, e o resultado

varia de acordo com a necessidade do projeto, onde o autor do projeto se baseará em equações matemática para obter o fim desejado.

Segundo Çengel e Boles (2007), energia não pode ser criada nem destruída, ou seja, a energia é retirada de um ponto e concentrada em outro. Van Wylen (1983), afirma que ela apenas muda de forma. Iremos utilizar a primeira lei da termodinâmica para fazer um comparativo entre as mudanças de estados de um corpo e a quantidade de energia que se é transferida para mudar esse determinado corpo, sejam as energias na forma de trabalho ou na forma de calor.

Conforme Wylen (2013), a energia interna U de um sistema é a soma das energias (cinética e potencial) das partículas que formam o sistema, e como tal, é uma propriedade do sistema. Portanto, qualquer variação ΔU na energia interna depende apenas do estado inicial e final do sistema no processo.

A Primeira Lei da Termodinâmica enuncia que “se um sistema troca energia com a vizinhança por calor e por trabalho, então a variação da sua energia interna ΔU é dada pela equação (1), a seguir:

$$\Delta U = Q - W \quad (1)$$

Esta lei mostra a aplicação da conservação de energia, W representa a quantidade de energia transferida do sistema para vizinhança por trabalho e Q representa a quantidade de energia transferida da vizinhança para o sistema por calor”. Portanto, se:

$W > 0$: o sistema se expande e perde energia para a vizinhança.

$W < 0$: o sistema se contrai e recebe energia da vizinhança.

$Q > 0$: a energia por calor passa da vizinhança para o sistema.

$Q < 0$: a energia por calor passa do sistema para a vizinhança.

3.5 Segunda Lei da Termodinâmica

Na Termodinâmica podemos considerar um sistema ideal, aquele que tem todas as variáveis equilibradas e assim distribuir todas as variáveis na proporção correta, a fim de se obter um resultado homogêneo ou equilibrado, evitando assim desperdícios, porém, se trata de um sistema ideal e tal resultado ainda não pode ser atingido devido a ciência não ter recursos para atingir esse resultado. Para balancear a energia de um sistema se é necessário utilizar a entropia, que por sua vez nos mostra a quantidade de energia que se

é adicionada a um sistema, a quantidade de energia que, se é retirada de um sistema, e a quantidade de energia que se perde em um sistema.

Os autores (Pizzo & Moraes, 2006, p. 81), dizem que a Segunda Lei da Termodinâmica está relacionada diretamente à espontaneidade dos sistemas e que os fenômenos físico-químicos são proporcionais a quantidade de calor adquirido ou rejeitado de forma espontânea, dizem também que, os processos espontâneos de um sistema ocorrem de forma natural de modo a balancear as pressões, as temperaturas, a velocidade até que se atinja um sistema uniforme.

De acordo com *Wyllen* (2013), a Segunda Lei da Termodinâmica baseia-se em três enunciados, enunciado de Kelvin, Enunciado de Clausius e Enunciado pela Entalpia.

- Enunciado de Kelvin: Nenhum sistema pode realizar qualquer processo cíclico cujo único efeito seja retirar, por calor, certa quantidade de energia de um único reservatório térmico e ceder, por trabalho, uma quantidade igual de energia para a vizinhança;
- Enunciado de Clausius: Nenhum sistema pode realizar qualquer processo cíclico cujo único efeito seja retirar, por calor, certa quantidade de energia de um reservatório térmico com temperatura baixa e ceder, também por calor, igual quantidade de energia a um reservatório térmico com temperatura alta;
- Enunciado pela Entropia: A entropia de um sistema isolado não se altera se ele realiza um processo reversível e aumenta se ele realiza um processo irreversível.

3.6 Entalpia específica

Define-se como entalpia, a quantidade de energia contida em um determinado sistema submetido a uma determinada temperatura e pressão. É a soma das energias fornecidas que podem levar a condição tomada como o ponto zero da entalpia (DOSSAT, 1980).

Os fluídos refrigerantes em sua grande maioria comportam-se como substâncias genuínas. A substância pura muda de fase conforme a temperatura e pressão constante. Sendo assim, uma massa de água congelada, ao ser derretida no nível do mar, mantém a temperatura constante em 0°C. Para a massa de água evaporar ao nível do mar, precisa se manter à uma temperatura de 100°C. Uma característica muito importante é que uma substância pura exibe uma relação de pressão versus entalpia, apresentada por

diagramas, logo, para cada temperatura de saturação têm-se uma pressão de saturação (SILVA, 2010).

Ainda segundo *Silva* (2010), na termodinâmica usualmente utiliza-se diagramas ou curvas características. O diagrama mais utilizado em refrigeração é o da pressão versus entalpia. Esse diagrama se mostra adequado devido a refrigeração utilizar substâncias puras, portanto, se condensam e evaporizam de forma isobárica, isso é, mudam de estado com uma pressão constante.

A variação da energia interna não é igual ao calor recebido pelo sistema quando o volume não for constante. Nessa situação, parte da energia fornecida como calor volta para as vizinhanças na forma de um trabalho de expansão, $\Delta U < Q$. Neste caso, o calor fornecido a pressão constante é igual a variação de outra propriedade termodinâmica, a entalpia (H). A entalpia se define pela fórmula (WYLEN, 1983).

$$H = U + p.V \quad (2)$$

Onde: H = Entalpia

U = Energia Interna

p = Pressão estática

V = Volume específico

3.7 Cerveja

Segundo o instituto da Cerveja (2017), a temperatura correta de consumo das cervejas pilsen é entre 2 e 5 °C. As temperaturas mais baixas podem alterar as papilas gustativas e reduzir o sabor da bebida, inclusive atrapalhando a formação da espuma da cerveja. Com o ingrediente principal é 90 % de água, a bebida é considerada um hidratante com teor alcoólico entre 4 % e 6 %, como é semelhante à cerveja pilsen, a bebida tende a estimular o metabolismo – deve ser consumido com moderação. (INSTITUTO DA CERVEJA, 2017) Segundo o site do instituto da Cerveja (2017), durante muito tempo no Brasil beber cerveja era sinônimo de consumir uma bebida excessivamente gelada, para o que contribuiu o clima quente do Brasil. Porém, esta regra pode não ser válida para cervejas que contenham sabores e aromas mais complexos, uma vez que a temperatura deste tipo de cerveja influencia no sabor e aroma.

É impossível determinar a temperatura ideal para beber cerveja, pois ela varia de acordo com o clima do local, tendências pessoais, tipo de cerveja e também da ocasião. Porém, se a sua intenção é provar a bebida, não é recomendado tomá-la em temperatura inferior a 0 ° C, pois isso ameniza a sensibilidade das papilas gustativas, e você não consegue saborear muito bem a bebida. Quando você ouve que a cerveja na Alemanha é servida em temperatura ambiente, é claro que você acha um absurdo. Porém, não se deve esquecer que o clima neste país é muito frio durante a maior parte do ano, por isso a cerveja não é servida quente como se imaginava originalmente.

Está comprovado que o clima externo influi na escolha da temperatura, mas o fator que mais influi nessa decisão é o tipo de cerveja. Segundo o site do instituto da cerveja (2017), veja abaixo a faixa de temperatura adequada para cada tipo de cerveja:

- Muito gelada (2° a 4° C): cervejas refrescantes com teor alcoólico de até 5,5 % sabores e aroma mais leves. Por exemplo, Pilsen, Helles e Witbier são melhores nesta faixa de temperatura.

- Gelada (4° a 6° C): temperaturas geladas para cerveja de trigo alemão (Weisenbier), tripla sabor belga e lambics, que são acentuadas em acidez e complexos, mas refrescantes.

- Frias (7 ° a 10 ° C): sabores ainda mais complexos podem ser apreciados bem nestas condições de temperatura. Ideal para cervejas como: IPA, Weizenbock, Porter, Dubbels e outras cervejas com teor alcoólico um pouco superior.

- Temperatura da adega (10 ° a 13 ° C): Cervejas como Belgian Dark Strong Ales, Imperial Stouts, Barley Wines e Bocks mais fortes e com maior teor alcoólico são melhor apreciadas nesta temperatura.

3.8 TEMPERATURA

A Temperatura é a grandeza física escalar que pode ser definida como a medida do grau de agitação das moléculas que compõem um corpo. Quanto maior a agitação molecular, maior será a temperatura do corpo e mais quente ele estará e vice-versa. (DOSSAT, 1980, p.36).

Segundo os autores *Krabbe & Selhorst*, (2012 p.4), a ideia central que rege a termodinâmica é a temperatura e a temperatura é uma das sete grandezas básicas do Sistema Internacional (S.I). E está relacionada à energia térmica de um sistema.

3.8.1 Trabalho

Trabalho em termodinâmica, essencialmente, está ligado ao movimento, seja de um êmbolo, de um pistão ou sistemas extremamente complexos, em que o trabalho é inserido para extrair ou retirar calor e a entropia é a resultante indesejada, ou se insere calor para executar um determinado trabalho, tendo a entropia como resultante novamente.

O trabalho, W , é usualmente definido como uma força F agindo por meio de um deslocamento X , sendo este deslocamento na direção da força.

Segundo *Cengel e Boles* (2007) existem 2 requisitos para que uma interação de trabalho exista entre um sistema e sua vizinhança: deve haver uma força atuando sobre a fronteira, e a fronteira deve ser móvel. Portanto, a presença de forças na fronteira sem nenhum deslocamento delas não constitui relação de trabalho.

Trabalho que sai de um sistema é positivo, o mesmo pode ser transferido de dentro para fora, peça força da pressão exercida contra as partes moveis do sistema. O trabalho então é classificado em seus sistemas quase estáticos, são assim classificados como processos isobáricos (MAIURI & FONSECA 1977).

3.8.2 Pressão

Pressão é a relação entre uma determinada força e sua área de distribuição. O termo pressão é utilizado em diversas áreas da ciência como uma grandeza escalar que mensura a ação de uma ou mais forças sobre um determinado espaço, podendo este ser líquido, gasoso ou mesmo sólido.

3.9 VOLUME ESPECÍFICO

O volume específico de uma determinada substância é obtido através da divisão do volume ocupado pela massa da substância em relação a temperatura e pressão. Já a massa específica, inverte-se o conceito dividindo sua massa pelo volume que está contida em uma condição específica.

Segundo *Cengel e Boles* (2007, p.21) Volume específico de uma substância é definido como o volume ocupado pela unidade de massa e é designado pelo símbolo v (equação 7). Já massa específica de uma substância é definida como a massa associada

à unidade de volume. A massa específica é definida pela fórmula (equação 8) descrita por Dossat (1980):

$$v = \frac{V}{m} \quad (4)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Onde: ρ = massa específica

v = Volume específico

V = Volume

m = massa

Dessa forma, podemos afirmar que a massa específica é igual ao inverso do volume específico. A massa específica é designada pelo símbolo ρ . Segundo Moran e Shapiro (2013), o volume específico de um sistema pode variar de ponto para ponto. Se levar em consideração a atmosfera como um sistema, o volume específico aumenta com a elevação. Dessa forma, a definição de volume específico deve envolver o valor da propriedade da substância em um ponto de um sistema.

3.10 CICLO DE REFRIGERAÇÃO DE COMPRESSÃO DE VAPOR

Para obter uma temperatura abaixo do ambiente de um sistema é necessário utilizar um sistema de refrigeração. Para diminuir essa temperatura é necessário remover calor de algum ambiente ou produto a uma baixa temperatura e descarregar esse calor em uma temperatura mais alta (MAIURI & FONSECA, 1977). Uma vez que o calor é transferido para outro corpo, pode se concluir que a refrigeração e aquecimento, são opostos no mesmo processo (DOSSAT, 1980).

Ao passar pelo evaporador, o fluido refrigerante absorve o calor do fluido a ser refrigerado, resultando na evaporação do refrigerante. Considerando a análise sob o evaporador como sistema de controle, o balanço de massa e energia é expresso pela fórmula conhecida por:

$$Q_{ev} = m \cdot (h_1 - h_2) \quad (6)$$

Q_{ev} = Capacidade frigorífica

h_1 = entalpia na saída do trocador de calor evaporador
 h_2 = entalpia entrada do evaporador.

Tal fórmula representa o calor que pode ser absorvido pelo refrigerante que circula pelo evaporador (MAIURI & FONSECA, 1977).

O fluido refrigerante deixa o evaporador, sendo assim, comprimido a alta pressão e alta temperatura no compressor. Representa a potência que deverá ser fornecida ao compressor por um motor.

$$W_{cp} = m \cdot (h_2 - h_1) \quad (7)$$

W_{cp} = Potência de acionamento
 h_2 = entalpia entrada do condensador
 h_1 = entalpia saída do evaporador

Em seguida o refrigerante entra no condensador onde transferindo o calor do fluido refrigerante troca calor com água de resfriamento, ar ambiente ou Freon (VENTURINI, 2005).

$$Q_{cond} = m \cdot (h_2 - h_3) \quad (8)$$

Q_{cd} = Calor de condensação
 h_2 = entalpia entrada do condensador
 h_3 = entalpia saída do condensador

O fluido refrigerante comprimido sai do condensador e entra na válvula de expansão, aumentando assim a entropia específica. A pressão do fluido refrigerante então é reduzida passando pela válvula de expansão em direção ao evaporador como uma mistura de líquido e vapor. Este processo é definido como ideal e isoentálpico.

Segundo *Van Wylen* (1983), devidos as perdas de carga em relação ao escoamento do fluido refrigerante, o ciclo real se distancia do ideal, sendo a transferência de calor utilizada no meio envolvido no processo.

O superaquecimento é a diferença entre a temperatura que o fluido refrigerante sai do evaporador e a temperatura de evaporação. Quando está fluindo para o compressor

absorve calor ficando superaquecido, desta forma a pressão não muda sendo igual a pressão que entra no compressor (DOSSAT, 1980).

Durante o processo de compressão ocorrem irreversibilidades e transferência de calor para o meio. A entropia pode então aumentar ou diminuir no processo, a transferência de calor para o refrigerante provoca um aumento de entropia, e a transferência de calor do refrigerante, no condensador, estará um pouco acima daquela do meio para o qual o calor é transferido.

A pressão do fluido é controlada por dois componentes, o compressor e o dispositivo de expansão, que dividem o circuito de refrigeração em um lado de alta pressão e um lado de baixa pressão.

O fluido refrigerante deixa o condensador em uma temperatura menor que a temperatura de saturação do fluido no condensador. Esta perda de temperatura oferece um ganho ao sistema, pois o refrigerante entra no evaporador com uma entalpia menor.

Os processos que ocorrem no ciclo frigorífico são:

- A) Compressão adiabática;
- B) Rejeição isotérmica de calor;
- C) Expansão adiabática;
- D) Recebimento isotérmico de calor;

O ciclo de compressão de vapor é o mais utilizado em equipamentos frigoríficos para produção de frio e para conforto térmico de ambientes. O ciclo é constituído dos seguintes processos:

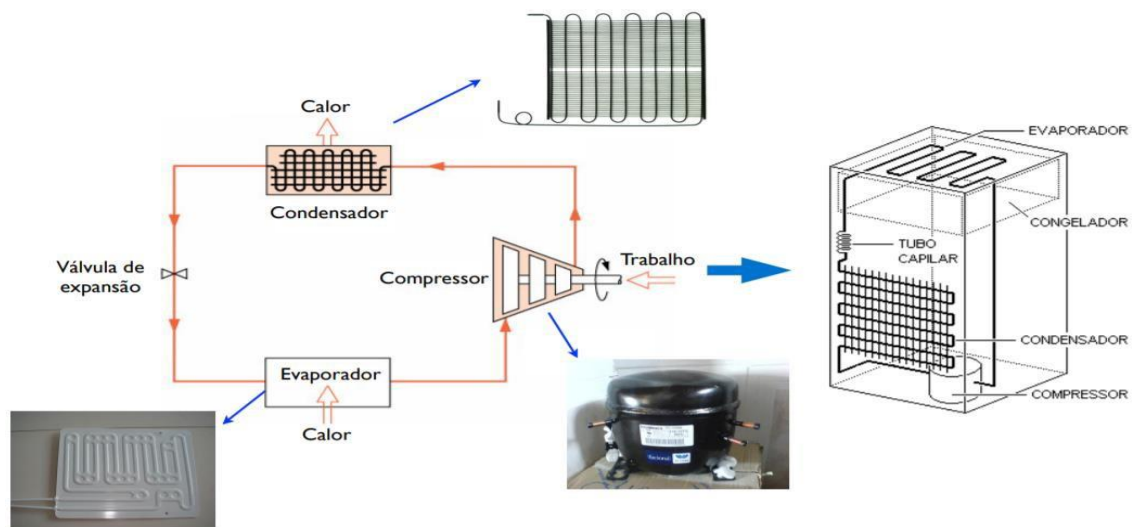
Compressão de vapor, isto é, um compressor realiza trabalho sobre vapor, transferindo energia a ele;

A condensação de vapor perdendo calor para o ambiente, que ocorre no condensador;

expansão do líquido após o condensador, que ocorre na válvula de expansão ou em tubo capilar;

A evaporação do líquido recebendo calor da câmara que ocorre no evaporador (PANESI, 2015).

Figura 2 - Elementos básicos de um ciclo de refrigeração.



Fonte: DOSSAT (2004).

3.10.1 Componentes do ciclo frigorífico

O projeto executado trabalha com o ciclo de refrigeração simples com compressor, evaporador, válvula de expansão e condensador. O que encontramos no mercado é o resfriamento de bebidas feito com a placa Peltier, e conseguem refrigerar uma lata de cada vez. A nossa diferença foi fazer a refrigeração rápida com a expansão direta, e não somente uma lata, mas um pacote com doze latas.

Um circuito de refrigeração basicamente é composto pelos componentes que são apresentados no tópico a seguir, para melhor entendimento do sistema utilizado no protótipo.

3.10.2 Calor

Calor, é a energia térmica em trânsito. É o efeito de um corpo sobre outro devido à desigualdade de temperaturas entre eles. Como podemos ver esta definição não faz menção ao conceito de energia ou trabalho, o que é positivo, uma vez que ainda não definimos energia. É possível, porém, definir calor em termos de Trabalho sem problemas lógicos: Calor pode ser convertido como em diversas formas de energia (DOSSAT, 1980).

Como forma de energia, o calor tem unidades de energia sendo J (Joule ou quilo joule) a mais comum, a quantidade de calor transferida durante um processo em dois estados é indicada como Q.

O calor é definido como sendo a forma de transferência de energia através da fronteira de um sistema, numa dada temperatura, a um outro sistema que apresenta uma temperatura inferior, em virtude de uma diferença entre as temperaturas dos dois objetos. Ou seja, o calor é transferido de um corpo de temperatura maior para um corpo de temperatura menor e essa transferência ocorre exclusivamente pelo fator de diferença entre temperaturas desses corpos (WYLEN, 2013).

Desta forma, o calor recebido pelo corpo poderá ser calculado por meio de equações que levam em consideração a massa do corpo sendo aquecido, suas características individuais definidas através da propriedade calor específico e diferença de temperatura sofrida durante o processo (SILVA, 2010).

Sabe-se que o calor é transferido de um corpo para outro desde que exista uma diferença de temperatura entre eles. Ainda que todas as substâncias são formadas por átomos. Esses, por sua vez, agrupam-se formando moléculas. Também já foi visto que o conceito de temperatura está associado à velocidade de movimentação destas moléculas, ou seja, quanto maior a temperatura, mais velozmente as moléculas estão vibrando, ou seja, se movimentando (*op cit*).

Em determinadas situações de temperatura e pressão, a trânsito de energia (calor) nem sempre resulta em variação de temperatura, caso este que ocorre quando tem-se mudança de temperatura.

A Figura 2 apresenta diagrama de mudança de fase da água. Considerando substâncias puras, tem-se dois tipos de calor, sensível e latente. No calor sensível, a troca de calor ocorre gerando variação na temperatura da substância, já o calor latente não se observa alteração na temperatura, mas nota-se mudança de estado da substância. (ESCOLA POLITÉCNICA, 2018).

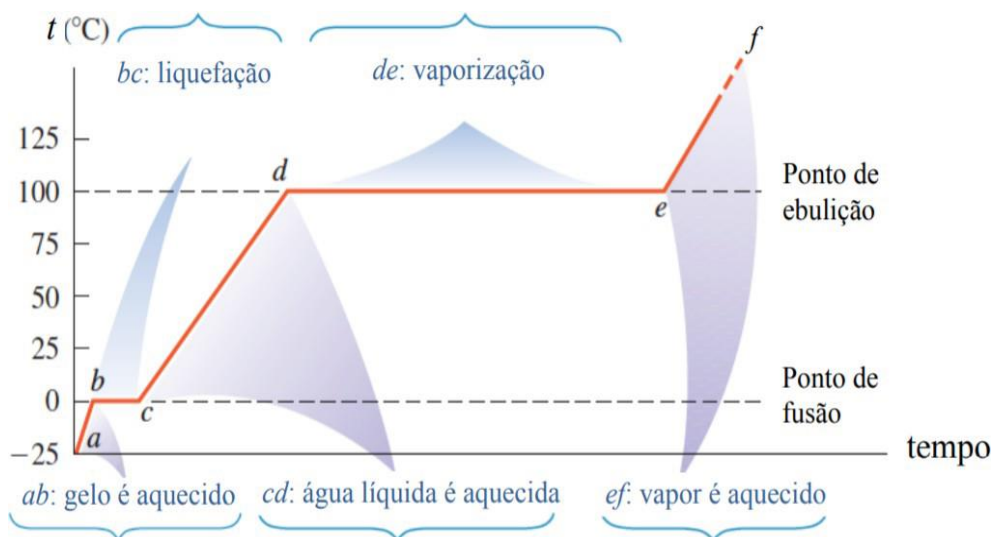


Figura 2 - Diagrama de mudança de fase da água.

Fonte: site Escola Politécnica (2011).

3.10.3 Calores específicos

Para que a temperatura de qualquer substância seja elevada é necessário que seja fornecido uma quantidade de energia. O calor específico é definido como a energia que será necessária para aumentar em um grau a temperatura de uma massa unitária de uma certa substância (PANESI, 2015).

Na termodinâmica existem dois tipos de calor específico: calor específico de volume constante e calor específico de pressão constante. Fisicamente o calor específico a volume constante pode ser compreendido como a energia necessária para aumentar em um grau a temperatura de uma massa unitária de uma substância onde o seu volume é constante. A energia necessária para fazer o mesmo, mantendo a pressão constante é o calor específico a pressão constante. Sendo este o mais importante nos processos de resfriamento e de aquecimento em sistemas de refrigeração e climatização (op cit).

A quantidade de calor trocada por uma substância de calor específico c_p , uma massa m e variação de temperatura $\Delta T=(T_2-T_1)$, é representada por:

$$Q = m.c_p.\Delta T \quad [kJ] \quad (9)$$

Segundo Silva (2010) os calores específicos de algumas substâncias são dados a seguir na Tabela 1.

Tabela 1 - Calores específicos.

Substância	Calor específico (kcal/(kg.°C))	Calor específico (kJ/(kg.°C))
Cobre	0,032	0,134
Alumínio	0,22	0,921
Água no estado líquido	1,00	4,186
Água no estado sólido	0,50	2,093
Água no estado vapor	0,48	2,010

Fonte: Silva (2010).

Sistemas térmicos são aqueles que possuem certa quantidade de calor armazenada e que estão submetidos, de alguma forma, a uma transferência de calor como sendo “o trânsito de energia provocado pela diferença de temperatura” (INCROPERA, 2002).

3.10.4 Condutividade térmica

Segundo Silva (2010), existem três modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.

A condução está fundamentalmente associada ao choque entre moléculas com diferentes velocidades de vibração, com a molécula mais veloz chocando-se com a molécula menos veloz, passando energia cinética. Essa forma de transferência de calor ocorre basicamente nos corpos sólidos. Um detalhe importante é que não ocorre alteração da posição das moléculas ao se chocarem, ou seja, elas trocam energia entre si, mas não mudam de lugar no espaço. Segundo Fourier, a troca de calor unidimensional, que ocorre entre os dois lados de uma parede sólida.

$$Q = k.A.\Delta T \quad (10)$$

Em que:

Q é o fluxo de calor trocado (W);

k é a condutividade térmica da parede (W/m);

A é a área superficial da parede (m²);

ΔT é a diferença de temperatura entre os dois lados da parede (°C);

L é a espessura da parede (m).

A condutividade térmica indica a facilidade ou dificuldade que um corpo apresenta para conduzir calor. Como exemplo, sabe-se que os metais têm maior facilidade para transferir calor do que a madeira (SILVA, 2010). A seguir alguns exemplos de condutividade térmica:

Cobre: 386 W / m.K

Alumínio: 209 W / m.K

Ar: 0,03 W / m.K

Placa de poliuretano: 0,025 W / m.K

3.10.5 CONVECÇÃO

A transferência de calor por convecção engloba dois mecanismos, a transferência de calor devido ao movimento aleatório e a por meio do movimento global do fluido. (INCROPERA, 2002).

De modo geral, a transferência por convecção ocorre entre um fluido e uma superfície, estando os dois sob diferentes temperaturas e podem ser classificadas de acordo com a natureza do escoamento do fluido. (INCROPERA, 2002).

Segundo *Incropera* (2002), pode-se classificar a transferência de calor por convecção pela natureza do escoamento do fluido, desse modo, temos a convecção livre (ou natural) onde o escoamento do fluido ocorre por forças de empuxo que acontecem pela diferença de densidades devido a variações de temperatura do fluido. Um exemplo prático é a circulação de ar em componentes de placas de circuito.

Ainda de acordo com o mesmo autor, outra forma de convecção é a forçada, que ocorre quando o escoamento do fluido ocorre com a interferência ou devido a interferências externas, como por exemplos, a utilização de ventiladores, bombas etc. Como exemplo prático de convecção forçada é possível citar o uso de ventiladores para propiciar o resfriamento com ar. Na Tabela 2 são mostrados os valores típicos de coeficientes de transferência de calor das três formas de convecção.

Tabela 2 - Valores típicos do coeficiente de transferência de calor por convecção.

PROCESSO	h [W/m ² .K]
Convecção natural	
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convecção forçada	
Gases	25-250
Líquidos	100-20.000
Convecção com mudança de fase	
Ebulição ou condensação	2.500-100.000

Fonte: Incropera (2002).

A expressão matemática para o cálculo do calor trocado por transferência de calor por convecção, Q (em W), foi proposta a partir de observações físicas, já em 1701, por *Isaac Newton* é mostrada pela Equação.

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_{ar}) \quad (11)$$

h é o coeficiente de transferência de calor por convecção;

A é a área superficial de troca;

T_s é a temperatura de superfície;

T_{ar} é a temperatura do ar.

3.10.6 Radiação

A radiação, é a transferência de calor que existe em todo corpo com temperatura maior que zero *Kelvin*, pois, emite energia na forma da matéria (isso é, sua agitação molecular). Este tipo de transferência de calor não precisa de um meio material para se realizar. Um exemplo é a energia do Sol. No espaço entre o Sol e a Terra praticamente não existe matéria (vácuo). Mesmo assim, a energia do Sol alcança o planeta Terra. Essa transferência de energia (calor) se dá por meio de ondas eletromagnéticas (radiação). Se a superfície for opaca (telhados e paredes), a radiação é absorvida em sua maioria pela estrutura. Uma parte é refletida, principalmente se as superfícies externas forem claras. A radiação absorvida penetrará até o ambiente interno por condução. Se a superfície for transparente (vidros), a radiação incidente se divide em três partes: uma parte é refletida, principalmente quando utilizam películas refletivas; outra parte é absorvida pelo material e outra é transmitida para dentro do ambiente diretamente. (INCROPERA, 2002)

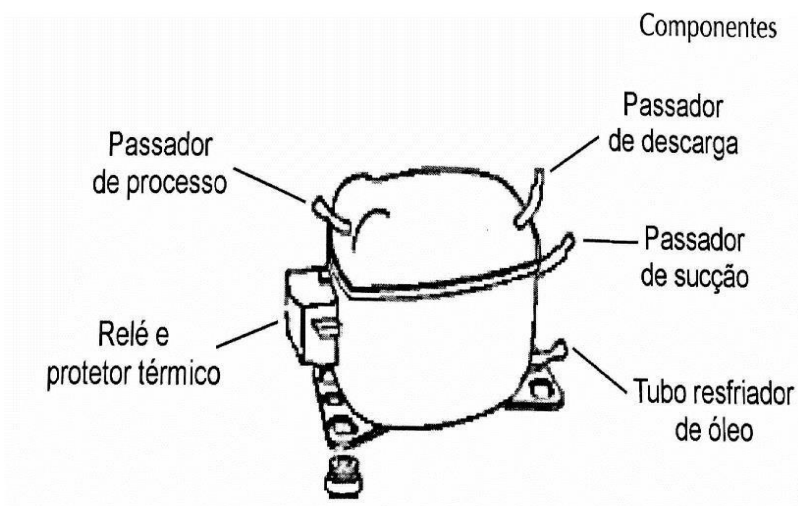
Existem dois tipos de calor, o calor sensível e o calor latente. Quando o calor absorvido ou cedido por um material que causa ou acompanha uma mudança na temperatura, este calor é denominado calor sensível, enquanto a energia que causa ou acompanha uma mudança de fase é conhecida como calor latente. (DOSSAT, 1980).

3.10.7 Compressor

Por *Silva* (2010), o compressor tem como trabalho absorver o fluido refrigerante em vapor à baixa pressão e comprimir o mesmo à alta pressão e temperatura até o trocador de calor (Condensador).

Os compressores do tipo alternativo são comumente utilizados em refrigeradores domésticos e bebedouros. No compressor do tipo alternativo, a entrada e saída de fluido são controladas por meio de válvulas fixadas na parte superior do cilindro, sua construção é do tipo hermética, como o próprio nome diz é sistema fechado, como na Figura 3.

Figura 3 - Compressor Alternativo.



Fonte: Silva (2010, p.109).

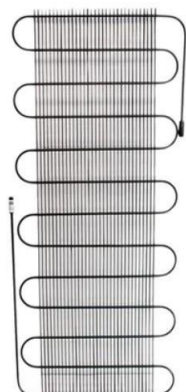
3.10.8 Condensador

Segundo *Miller* (2014), a calor liberada pelo fluido refrigerante na tubulação do condensador contém tanto o calor absorvido no evaporador quanto o calor da compressão, logo, o condensador sempre possui que é a somatória dos dois calores. Isso significa que o condensador deve transferir mais calor do que o retirado pelo evaporador.

Ainda segundo *Miller* (2014), quanto maior a área de contato com o meio externo, mais baixa é a temperatura do fluido refrigerante no final do condensador. A temperatura do ar que deixa o condensador tem ligação direta com a carga dentro da área sendo resfriado, variando sua temperatura conforme a carga aumenta ou diminui. Caso o evaporador receba uma carga adicional, o condensador terá que transferir para o ar que passa pela sua superfície.

Na Figura 4 é possível ver um condensador de convecção natural, onde não é utilizado um ventilador para forçar a retirada de temperatura.

Figura 4- Condensador por convecção natural

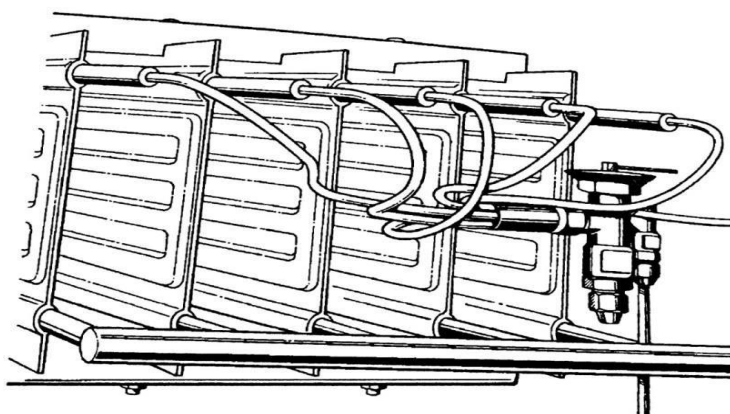


Fonte: Polipartes (2018)

3.10.9 Evaporador

Nas palavras de *Miller* (2014), o evaporador é o responsável por retirar o calor do espaço que está sendo resfriado. Existem diferentes tipos de evaporadores, sendo os mais comuns o evaporador do tipo serpentina que é utilizado em armazéns para refrigerar grandes áreas, o evaporador com aletas que é comumente usado para o uso residencial e o evaporador à placa que utiliza uma superfície plana para a troca de calor, geralmente usado em freezers, se o produto a ser resfriado for colocado com contato direto com a placa do evaporador, a troca de calor será mais eficiente. O exemplo da Figura 5 mostra o evaporador à placa.

Figura 5 – Evaporador.

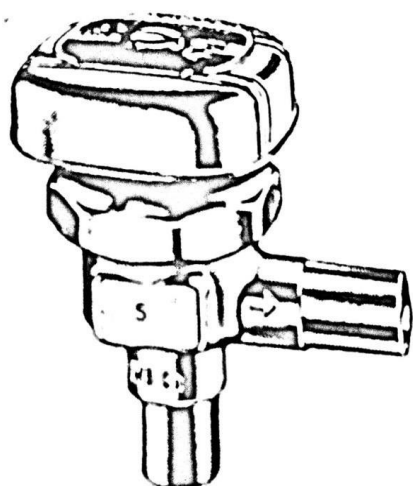


Fonte: Miller (2014, p.262).

3.10.10 Dispositivo de expansão

Para Miller (2014), o dispositivo de expansão é quem separa no sistema ao lado de alta pressão e o lado de baixa pressão. Ele atua como um controlador de pressão, permitindo a passagem da quantidade de fluido refrigerante correta para o interno do evaporador. Dos mais diversos tipos de válvula de expansão, a válvula de expansão manual é mais simples no que se diz respeito à funcionamento, sendo simplesmente uma válvula agulha com uma haste de ajuste fino. Ao contrário da válvula de expansão manual a válvula de expansão automático trabalha de acordo com a necessidade do sistema. A Figura 6 ilustra um exemplo de válvula de expansão manual.

Figura 6 - Válvula de expansão manual



Fonte: Miller (2014, p.33)

3.10.11 Fluido refrigerante

Miller (2014) afirma que os fluidos refrigerantes são utilizados nos processos de refrigeração, sendo esse um processo em que o calor é removido de uma substância ou de um espaço. Um fluido refrigerante absorve o calor na forma latente quando muda seu estado físico de líquido para vapor, isso em ocorre em pressões e temperaturas baixas. Quando o fluido refrigerante libera calor ele passa do estado de vapor para líquido, chamado de condensação, o mesmo ocorre em temperaturas e pressões altas. As propriedades desejadas para um bom fluido refrigerante são:

- A) Baixo ponto de ebulição.
- B) Não tóxico.
- C) Fácil de liquefazer em pressão e temperaturas moderadas.
- D) Alto calor latente.
- E) Operação em pressões positivas.
- F) Não ser afetado por umidade.
- G) Misturar fácil com o óleo.
- H) Não corrosivo para metais.

Também existem outras qualidades presentes em todos os fluídos refrigerantes, como o peso molecular, peso específico entre outros. Essas qualidades variam entre os fluídos refrigerantes, o que irá influenciar na sua escolha serão o volume de deslocamento do compressor e o tipo de compressor, bem como o tipo de projeto. (MILLER, 2014).

3.11 SISTEMA DE VENTILAÇÃO

De acordo com a A.B.N.T.- Associação Brasileira de Normas Técnicas - dá-se o nome de ventilação ao processo de renovar o ar de um recinto. A finalidade da ventilação é controlar o deslocamento do ar em um recinto fechado, embora, dentro de determinados limites, a renovação do ar também possa controlar a umidade e temperatura.

A função básica de um ventilador é, pois, mover uma dada quantidade de ar por um sistema de ventilação a ele conectado. O deslocamento do ar é efetuado a partir do motor elétrico, que através de polias ou correias, transmite o movimento rotatório ao rotor do ventilador. São elementos imprescindíveis nos sistemas de condicionamento de ar e de ventilação.

Quando um ventilador funciona no sentido de exaurir ar de um ambiente e comumente chamado de exaustor.

Num ambiente, a pressão atmosférica, o insuflamento e a exaustão provocam uma pequena variação da pressão. Dessa forma, o insuflamento ocorre à pressão positiva e a exaustão à pressão negativa.

A ventilação espontânea pode ser intensificada dentro de um ambiente por meio de aberturas (portas, janelas) dispostas convenientemente, de forma a aproveitarem os elementos que ocasionam as diferenças de pressão como ventos, diferenças de altura e de temperaturas.

A ventilação artificial, forçada ou mecânica ocorre quando a renovação de ar é proporcionada por diferenças de pressão criadas mecanicamente. Esse tipo de ventilação é adotado sempre que os meios naturais não proporcionam renovação de ar necessária, ou mesmo, como elemento de segurança quando a circulação natural do ar funciona de forma precária.

A ventilação mecânica pode ser local exaustor ou geral diluidora de acordo com o tipo de contaminação do recinto. Os ventiladores, quanto ao sentido da rotação em relação ao eixo, podem ser classificados em centrífugos/radiais ou hélice/axial.

O ventilador axial consiste em uma hélice montada numa armação de controle de fluxo, com o motor apoiado por suportes normalmente presos à estrutura dessa armação.

O nome axial decorre do fato de que o ar que passa através do ventilador não muda de direção e escoia paralelamente ao eixo da máquina. Um ventilador axial é normalmente usado quando os requisitos de vazão são altos e a demanda de pressão é baixa.

Os ventiladores centrífugos, também conhecidos como radiais consistem em um rotor, uma carcaça de conversão de pressão e um motor. O ar entra no centro do rotor em movimento na entrada, e acelerado pelas palhetas é impulsionado da periferia do rotor para fora da abertura de descarga. Num ventilador centrífugo a rotação do rotor faz com que o ar escoie através dele numa direção radial, desenvolvendo pressão.

Na ventilação local exaustor o ar contaminado é capturado antes de se espalhar pelo recinto. A ventilação local exaustor tem como objetivo principal captar os poluentes de uma fonte (gases, vapores ou poeiras tóxicas) antes que os mesmos se dispersem no ar do ambiente, ou seja, antes que atinjam a zona de respiração do ser humano. De forma indireta, a ventilação local exaustor também influi no bem-estar, na eficiência e na segurança do trabalhador, por exemplo, retirando do ambiente uma parcela do calor liberado por fontes quentes que eventualmente existam. Também no que se refere ao controle da poluição do ar da comunidade, a ventilação local exaustor tem papel importante.

Quanto à ventilação geral diluidora, o ar exterior da ventilação é misturado com o ar viciado do ambiente, conseguindo uma diluição do contaminante a níveis admissíveis. É o tipo de ventilação adotada quando se torna impossível capturar o contaminante antes dele se espalhar pelo ambiente. Os objetivos de um sistema de ventilação geral diluidora são: proteção da saúde ao reduzir a concentração de poluentes nocivos; segurança ao reduzir

a concentração de poluentes explosivos ou inflamáveis; proteção de materiais ou equipamentos por manter condições atmosféricas.

O trabalho desenvolvido foi utilizado a ventilação forçada, é um tipo de sistema de ventilação que utiliza equipamentos com motor elétrico para movimentar o ar através de um ambiente. A ventilação forçada diferentemente da ventilação natural, não depende da pressão do ar e da diferença de temperatura para mover o ar através de um ambiente. A ventilação forçada é mais eficiente em remover contaminantes do ar, pois utiliza a força mecânica para controlar a quantidade e a velocidade do ar que é movimentado.

O sistema de ventilação forçada vai trabalhar com a circulação dentro do equipamento, impulsionado por um ventilador que faz o ar do interior do equipamento passar por dentro do evaporador, o resfriamento do ar acontece sendo impulsionado até as bebidas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais a serem utilizados para o projeto:

- Carcaça ou Cabine de um Micro-ondas de 30L;
- Compressor;
- Serpentina para evaporador e condensador;
- Fluido Refrigerante;
- 2 Ventiladores para o Evaporador e 1 ventilador para o Condensador;
- Isopor (Isolante Térmico);
- Prato e Motor giratório;
- Controlador Full Gauge;
- Três metros de tubulação cobre 3/8;
- Tubo capilar de 0,035 mm

4.2 Materiais para medição

- Alicate amperímetro
- Manifold
- Multímetro
- Termômetro cinco pontas (penta)

4.3 Metodologia

A metodologia foi do tipo exploratório. O objetivo desta pesquisa foi familiarizar-se com um assunto ainda pouco explorado, um melhor entendimento sobre o tema apresentado por refrigeração por expansão direta, um sistema simples e muito eficaz. É um sistema em que o refrigerante é evaporado diretamente no evaporador sem passar por um trocador intermediário, em seguida o vapor é sugado pelo compressor que comprime e eleva a temperatura e pressão antes de ser enviado ao condensador onde o calor é liberado ao ambiente externo e finalmente o refrigerante é resfriado e condensado de volta ao estado líquido e o ciclo se repete.

O projeto baseia-se na construção de um equipamento que permite resfriar rapidamente bebidas, otimizando o tempo de resfriamento de bebidas enlatadas a pronto consumo.

No processo utilizamos conceitos acadêmicos adquiridos, colocando em prática o método de resfriamento por expansão direta, levantamento de carga térmica da câmara de resfriamento e também do produto com embalagem de alumínio e plástico. Com os resultados práticos obtidos, realizamos os cálculos do dispositivo, tais como evaporador; condensador; compressor; dispositivo de expansão; ventiladores e adequações para verificar os dados obtidos.

Figura 7 – Foto do micro-ondas invertido.



Fonte – Próprio autor.

5 PROCEDIMENTOS E TESTES

O resfriador ultra rápido é projetado para reduzir rapidamente a temperatura de bebidas ou alimentos, preservando sua qualidade e segurança. O funcionamento pode ser descrito em várias etapas:

1. Entrada dos Produtos:

- As bebidas ou alimentos são colocados dentro do resfriador. Pode ser em bandejas (não importa o material), Pack com várias latas ou garrafas ou em unitário somente.

2. Circulação de Ar Frio:

- Ventiladores potentes circulam ar frio em alta velocidade ao redor dos produtos. Isso aumenta a taxa de transferência de calor, resfriando os itens mais rapidamente. Juntamente, dentro do equipamento, terá um prato giratório para ajudar mais nessa troca de calor.

3. Sistema de Refrigeração:

- O ar frio é gerado por um sistema de refrigeração que inclui um compressor, evaporador, condensador e refrigerante.

- O refrigerante absorve o calor dos produtos no evaporador e o dissipa no condensador, mantendo o ar dentro do resfriador a baixas temperaturas.

4. Controle de Temperatura e Umidade:

- Sensores monitoram constantemente a temperatura e a umidade dentro do resfriador. O sistema ajusta automaticamente os parâmetros para garantir resfriamento eficiente e evitar a formação de gelo ou condensação excessiva.

5. Ciclo de Resfriamento:

- O resfriamento pode ser ajustado para diferentes produtos, com ciclos de resfriamento rápidos que podem durar de alguns minutos a várias horas, dependendo das necessidades específicas.

6. Saída dos Produtos:

- Após atingirem a temperatura desejada, os produtos são removidos do resfriador e podem ser consumidos, armazenados ou embalados para distribuição.

Essas etapas garantem que os alimentos ou produtos sejam resfriados uniformemente e rapidamente, mantendo sua qualidade, textura, sabor e segurança alimentar.

O objetivo do protótipo é refrigerar 12 latas de 350 ml de cerveja, partindo da temperatura ambiente que varia entre 26 °C e 28 °C, até a temperatura de consumo, que estará entre 2 °C a 4 °C, que é considerada por especialista como gelada. O tempo estimado para que ocorresse o resfriamento, baseado em testes preliminares, é 5 minutos após o acionamento do equipamento. Com melhorias e ajustes no projeto esperamos otimizar tempo e espaço em locais de festas, pequenos comércios eliminando grandes equipamentos e reduzindo o consumo de energia elétrica.

No processo de resfriamento de bebidas, leva-se em consideração o calor liberado pelo produto, o calor referente à embalagem do produto, o calor de migração pelas paredes do trocador de calor, ainda que isolado termicamente. Para a avaliação da carga térmica gerada pelo fluxo de massa de bebida deve-se levar em consideração o calor específico do material e a temperatura de processo.

$$Q = m.c.\Delta T \quad (12)$$

Q = Quantidade de calor a ser absorvida no sistema;

m = massa do produto a ser refrigerado;

c = Calor específico;

Δt = (Diferencial de temperatura) entre a entrada e saída da bebida do processo.

Figura 8 – Foto 2 do micro-ondas invertido



FONTE – Próprio autor.

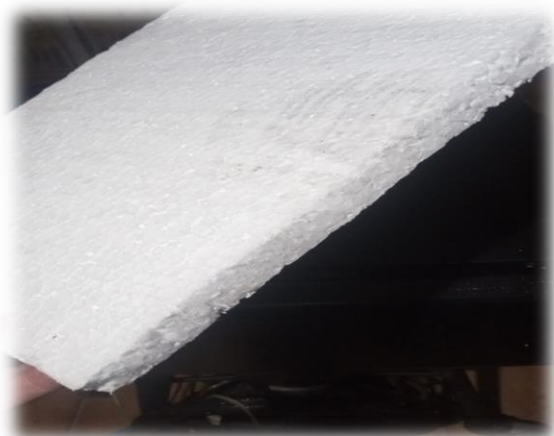
6 PROTOTIPO

Figura 9 – Foto 3 – Compressor Hermético



Fonte: Próprio autor

Figura 12 – Foto 6 – Isolante térmico



Fonte: Próprio autor

Isolante utilizado desempenha um papel de manter a temperatura desejada dentro do espaço refrigerado, evitando a transferência de calor com o ambiente externo.

Figura 13 – Foto 7 – Display de temperatura



Fonte: Próprio autor

Display do dispositivo controlador de temperatura interna do equipamento, que ajuda a garantir a eficiência do protótipo e seu funcionamento.

6.1 RESULTADO E DISCUSSÕES

O equipamento alimentado com 110 volts, onde um botão liga/desliga é acionado ligando todo o sistema, e assim dando o comando para o sistema de rotação da lata, compressor e demais componentes elétricos, e ao acionar esse botão com o equipamento

ligado o sistema interrompe todo o circuito elétrico, desligando o aparelho. Após o aparelho ligado o compressor realizará o trabalho de retirada do calor através do evaporador que está alocado no fundo do aparelho, após 5 minutos de trabalho, obtemos a temperatura de trabalho de -20°C , o dispositivo de controle de temperatura se encarrega de manter a temperatura dessa de 2°C . Após esses 15 minutos iniciais, podemos abrir o compartimento e adicionar um engradado de bebida para ser refrigerada, inserindo dentro do equipamento, basta apenas fechar a tampa de proteção e apertar o botão que aciona o início do processo de resfriamento, nessa parte do processo os ventiladores passam pelo evaporador, resfriando toda a extensão da lata que estará sendo rotacionada por um micromotor desta forma, induzindo o resfriamento mais rápido da bebida. Essa parte do processo será ajustado e controlado pelo controlador de temperatura que poderá ser ajustado manualmente pelo usuário a fim de se obter a temperatura final do seu produto conforme sua preferência. No término da operação, aperta-se o botão de liga/desliga, desligando o aparelho, o usuário retira as latas do pacote, e assim podendo agora consumir seu produto resfriado ao seu gosto.

TESTE A

A lata de cerveja foi colocada dentro do protótipo por 9 minutos e 40 segundos, no final do processo a mesma encontrasse com sua superfície interna ao redor do alumínio e sua temperatura estava homogenia atingindo 2°C , a temperatura chegou ao esperado, mas o tempo passou do esperado.

Temperatura de entrada cerveja	$25,4^{\circ}\text{C}$
Temperatura de saída cerveja	2°C
Tempo de ciclo	9 minutos e 40 segundos
Temperatura externa	$25,5^{\circ}\text{C}$
Pressão	6,4 psi
Corrente	3,6 A

TESTE B

Observamos que começou a condensar a estrutura externa do micro-ondas, percebemos que a isolamento utilizada estava insuficiente, utilizamos uma manta para diminuir a transferência do ar refrigerado para a parte externa, desmontamos algumas partes para a melhoria do projeto.

Temperatura de entrada cerveja	25,4 ° C
Temperatura de saída cerveja	2 ° C
Tempo de ciclo	6 minutos e 20 segundos
Temperatura externa	25,5 ° C
Pressão	6,4 psi
Corrente	3,6 A

TESTE C

No teste anterior conseguimos alterar a isolação, a maquina parou de condensar a parte exterior, atingimos o tempo esperado.

Temperatura de entrada cerveja	25,4 ° C
Temperatura de saída cerveja	2 ° C
Tempo de ciclo	5 minutos e 50 segundos
Temperatura externa	25,5 ° C
Pressão	6,4 psi
Corrente	3,6 A

7 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou a montagem de um protótipo objetivando utilizar um ciclo frigorífico para refrigerar um pacote de 12 cervejas em lata até o ponto ideal de consumo no menor tempo possível, utilizando expansão direta, para o processo de troca de calor. Para isso foi utilizado o fluido refrigerante R-134a no circuito a uma pressão de funcionamento de 10 Psi, oferecendo a capacidade de 211,2 Btu/h, com temperatura de evaporação de -14°C .

Para o processo foi feito um condicionamento do evaporador do circuito para uma caixa de metal de um micro-ondas isolado, sendo ventilado, com o intuito de fazer a troca de calor com as latas de cerveja rotacionado por um motor, forçando a convecção.

Foram efetuadas medições de temperatura e tempo em diferentes testes envolvendo a rotação da lata e a movimentação, a fim de comprovar a eficiência destes para uma otimização de tempo do processo de refrigeração das latas de cerveja.

Hoje um atrativo para compra de novos refrigeradores é que se tenham dispositivos ou compartimentos que promovam o resfriamento rápido, porém ainda não existe nada que satisfaça o desejo de ter a cerveja gelada em um curto espaço de tempo e quantidade o suficiente, um exemplo é o turbo congelamento, porém não possui eficiência satisfatória.

Os resultados apresentados nos testes abrem uma nova perspectiva para que esse objetivo seja alcançado, mostrando a importância do equipamento, e da convecção forçada.

Outra perspectiva que o estudo promove é a possibilidade de equipamentos de refrigeração específicos para um controle eficaz de temperatura de bebidas enlatadas, como um refrigerador com diferentes compartimentos com controle de temperatura distintos um do outro. Exemplificando: um único refrigerador que possa oferecer cervejas com temperaturas distintas, de acordo com a orientação do fabricante para o consumo ideal, distribuídas em bandejas separadas, com controle térmico diferenciado entre elas, que possam garantir a temperatura da cerveja através do equilíbrio térmico, tendo em

vista que o mercado de cerveja artesanal promove essa orientação ao consumidor com caráter de degustação. Já que hoje dificilmente algum equipamento pode garantir a temperatura de alguma bebida a ser consumido. Salienta-se que este estudo tem a finalidade de desenvolver um protótipo para resfriamento rápido, e não foram consideradas no estudo as possíveis alterações nas propriedades químicas do produto, tema este que pode ser objetivo de novos estudos.

8 REFERÊNCIAS

ADIERS, A.; A. REOLON., E.; G. MARCANTE, L. **BANCADA DIDÁTICA PARA COMPARAR OS EFEITOS DE DIFERENTES COMPRESSORES E DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO EM UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO**, Tese, 2011.

BRANCO, Nilton Silva. **Física II**. Florianópolis. Redisul. 2008.

BRUNETTI, Franco, **Mecânica dos Fluidos**. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2008.

COSTA, E. C. **Refrigeração**. SÃO PAULO, EDGARD BLUCHER LTDA., 1982

DOSSAT, R. J. **Manual de Refrigeração**, São Paulo: Editora Hemus. 1980 FERRAZ,

DOSSAT, Roy J. **Princípios da Refrigeração**. São Paulo: Editora Hemus, 2004.

DOSSAT, Roy J. **Manual de Refrigeração**. São Paulo: Editora Hemus, 1980.

DOSSAT, Roy J. **Princípios da Refrigeração**. São Paulo: Editora Hemus, 2004.

EMBRACO. Catálogo de compressores. Disponível em:
<<http://www.embraco.com/catalog/Compressors>>. Acesso em 05/08/2018

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO(USP): **Calor e Mudança de Fase – II** (2011). Disponível em:
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1634263/mod_folder/content/0/Aula08.pdf?forcedownload=1>. Acesso em 01/11/2018.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP): **Termodinâmica Ciclos de Refrigeração (2015)**. Disponível em:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/322606/mod_resource/content/2/12%20-%20Ciclos%20de%20refrigerac%CC%A7%20a%CC%83o_2015.pdf>. Acesso em 02/09/2018.

Fábio. **Apostila de Refrigeração**. Curso de Eletromecânica. Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, 2008.

FULLL GAUGE. Produto instrumento de medição de temperatura. **Descrição do produto**. Disponível em: <<http://fullgauge.com.br/produto-tic-17rgt-i>>. Acesso em 30/11/2018.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 4. ed. 2002.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. & WALKER, J. **Fundamentos de Física**. V.2. 9. ed. Rio de Janeiro. Editora LTC. 2012.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. 11.ed. Porto Alegre. Bookman. 2011.

INCROPERA, F.P. & DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 5. ed. Rio de Janeiro. Editora LTC. 2002.

INSTITUTO DA CERVEJA (2017): **Temperatura da Cerveja**: saiba qual a temperatura ideal para apreciar a bebida (2017).

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação Industrial e Controle de Poluição**. São Paulo: Editora Guanabara, 1990.

MAIURI, Dalton R., Fonseca Mauro. S. , **Resumo teórico de exercícios de Termodinâmica**, Editora independente, 1977.

MARTINELLI JUNIOR, Luis Carlos. **Refrigeração**. DeTEC – Departamento de Tecnologia. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2003.

MILLER, Rex; MILLER, Mark R. **Ar-condicionado e Refrigeração**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2014.

MIRANDA, A.F de; ALVES, J.A.O. de; VILELA, S.P. **Análise do processo de resfriamento rápido de bebida enlatada**. Trabalho de Conclusão de Curso de Refrigeração, Ventilação e Ar-condicionado. Faculdade de Tecnologia Itaquera Miguel Reale São Paulo: 2018.

MORAN, M. J., Shapiro, H. N., **Fundamentals of Engineering Thermodynamics**. 5. ed., John Wiley & Sons, U.S.A, 2004.

PANESI, Ricardo, **Termodinâmica para Sistemas de Refrigeração e Ar-Condicionado** São Paulo, SP: Artliber Editora LTDA, 2015.

PIZZO, S. M.; MORAES Jr D., **Termodinâmica Química**. Ceará: UFC, 2006. 70 RUSSEL, L, D, ADEBIYI, G.A, **Classical Thermodynamics**, Saunders College Publishing, Florida, 1993.

REDDO, Alexandre Marchon. **Tecnologia de Calor I**. Apostila Disciplina Tecnologia de Calor. Fundação Técnico Educacional Souza Marques. Rio de Janeiro: 2008.

SALVADOR, Francisco, **Projeto de um sistema de refrigeração industrial com “Set-Point” variável**, São Paulo, 1999.

SANTOS, M. S. **Cervejas e Refrigerante**. São Paulo: CETESB, 2005. 58 p. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. ISBN

SANTOS, Carlos José Giudice dos. **Tipos de Pesquisa**. Disponível em: <http://www.oficinadapesquisa.com.br/APOSTILAS/PROJETO_RH/_OF.TIPOS_PESQUISA.PDF> Acesso em: 05/08/2018.

SAVI, A. A., COLUCCI C.C. **Termodinâmica**. (Coleção Formação de Professores em Física - EAD, v. 10) Maringá: Eduem, 2010.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física II – Termodinâmica e Ondas**. 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, 2008.

SILVA, Jesué G. **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização**. 2. ed. São Paulo. Artliber. 2010.

STOECKER, W.F., Jabardo, J.M., **Refrigeração Industrial**, São Paulo, Editora Edgard Blücher. 2002

STOECKER W.F., J.W. Jones. **Refrigeração e Ar-Condicionado**. São Paulo :Mc Graw-Hill do Brasil, 1985.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA: **Leis da Termodinâmica**. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/gef/l-termo.html>>. Acesso em 02/09/2018.

WYLEN, Gordon J. Van. SONNTAG, Richard E. BORGNAKKE, Claus. **Fundamentos da Termodinâmica**. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 2013