ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO PORTÁTIL

ARTIGO ORIGINAL

SANTOS, Aléxia Botelho dos¹, MENDES, Ana Paula², SANTOS, Joycielle Naira dos³, PEREIRA, Kamyla Sthephne Oliveira⁴, SANTOS, Larissa Maria Silva⁵, PEREIRA, Raiane Roberta Bueno⁶, SANTOS, Alessander Saves dos⁷

SANTOS, Aléxia Botelho dos. Et al. **Estudo e dimensionamento de um sistema de refrigeração portátil**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 06, Ed. 09, Vol. 01, pp. 93-113. Setembro 2021. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>,

DOI:

10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil

RESUMO

A refrigeração é uma Operação Unitária responsável pela diminuição, de forma artificial, da temperatura de um sólido ou fluído até o ponto de congelamento. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um refrigerador por compressão a vapor tipo portátil, leve e de baixo custo, para o resfriamento de bebidas armazenadas em latas e garrafas. A metodologia adotada foi uma pesquisa experimental, em que é apresentado todo o desenvolvimento do equipamento desde a seleção dos materiais, dimensionamento, montagem, testes de funcionamento e avaliação de desempenho em termos da capacidade de refrigeração. O projeto comprovou sua eficiência, uma vez que apresentou uma queda de temperatura de

¹ Acadêmico em Engenharia Química.

² Acadêmico em Engenharia Química.

³ Acadêmico em Engenharia Química.

⁴ Acadêmico em Engenharia Química.

⁵ Acadêmico em Engenharia Química.

⁶ Acadêmico em Engenharia Química.

⁷ Orientador.

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

27,1 °C em 150 minutos, sendo que o fluido em temperatura ambiente de 26 °C, atingiu ao término do processo a temperatura de -1,1 °C, em um tempo relativamente baixo. Ademais, o trabalho promoveu dados adeptos com a literatura, gerando assim, resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Refrigeração, Compressor, Evaporador, Temperatura.

1. INTRODUÇÃO

A refrigeração é uma Operação Unitária responsável pela diminuição, de forma artificial, da temperatura de um sólido ou fluido até o ponto de congelamento. Para Borgnakke e Sonntag (2002) a refrigeração pode ser definida como o processo que transfere calor de forma contínua de um ambiente refrigerado para um ambiente com temperatura mais baixa que o meio. É muito utilizada para diversos fins, como armazenamento e conservação de alimentos, climatizar ambientes, entre outros.

Nunes (2015) relata que na segunda metade do século XVIII, William Cullen (1794 – 1878) em 1755, diminuiu a pressão do éter para facilitar a evaporação e assim acelerar o processo de retirada de calor de uma quantidade pequena de água, notando que a temperatura baixou suficientemente para congelar a água e produzir gelo artificial. Anos depois, em 1834 Jacob Perkins (1766 – 1849) patenteou o primeiro equipamento com ciclo de refrigeração por compressão a vapor, porém, somente após 20 anos, o primeiro refrigerador foi construído. Os modelos atuais de refrigerador surgiram na segunda década do século XX e, desde então a refrigeração é imprescindível a todos.

O elemento pode constituir-se em três diferentes estados físicos, sendo estes, o estado líquido, gasoso e sólido. Entretanto, de acordo com a pressão e a temperatura, um específico tipo de elemento tem a possibilidade de se apresentar em qualquer outro estado físico. Em um sistema de refrigeração estão presentes duas transformações envolvendo a mudança de estado físico: a condensação e a vaporização. A vaporização é a passagem do estado líquido para o gasoso e ocorre

dentro do evaporador e a condensação é a passagem do estado gasoso para o líquido e ocorre dentro do condensador (EVANGELISTA, 2010).

Por meio de uma configuração global ideal de trabalho, pode-se obter uma economia de energia em ciclos de compressão de vapor para cada equipamento do sistema e, em sequência, para todo o sistema (NUNES, 2015).

Segundo Ferraz (2008) refrigeradores são responsáveis pelo resfriamento de bebidas e alimentos, logo, existem inúmeros modelos no mercado com diferentes utilidades e temperaturas, podendo ser classificados nas categorias doméstica, comercial e industrial.

Os sistemas de refrigeração podem ser de compressão de vapor, absorção, refrigeração a ar e por efeitos termoelétricos. O sistema mais utilizado é o de compressão a vapor, enquanto os demais, apenas em condições específicas (NUNES, 2015).

Marques (2010) relata que o desempenho do ciclo de refrigeração por compressão a vapor depende, em particular, do fluido refrigerante, portanto, é importante a análise do coeficiente de desempenho do ciclo, através do Coeficiente de Performance (COP), onde é possível determinar qual fluido é mais viável para ser utilizado.

Determinados estudos apontam que para o melhoramento do desempenho dos sistemas de refrigeração é aplicado um controle eletrônico nos equipamentos, como o comando eletrônico na velocidade do compressor e na abertura de válvula de expansão (NUNES, 2015). Assim, para que haja progresso no projeto e em seu controle contínuo, os avanços tecnológicos são essenciais para o melhor desempenho e confiabilidade dos sistemas de refrigeração (MCKINLEY; ALLEYNE, 2008).

Martínez (2009), termodinamicamente o ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor é composto por quatro processos, sendo um processo de compressão adiabática e reversível (compressor), desde o estado de vapor saturado até vapor

superaquecido; um processo de rejeição de calor à pressão constante (condensador), reduzindo inicialmente a temperatura do refrigerante e condensando-o até um estado de líquido saturado; um processo de expansão irreversível, a entalpia constante (num dispositivo de expansão com redução de pressão) até atingir a pressão de evaporação; e finalmente, um processo de ganho de calor a pressão constante, resultando na evaporação do refrigerante até o estado de vapor saturado.

O fenômeno da refrigeração é resultante de transformações físicas sofridas por um fluido refrigerante durante seu percurso em um sistema fechado. Dentro de um sistema de refrigeração por compressão de vapor é composto basicamente por um compressor, condensador, um mecanismo de expansão (tubo capilar) e um evaporador (OLIVEIRA; REBELATTO; YAMASHITA, 2016).

Fluídos refrigerantes, são as substâncias empregadas como transmissores térmicos na realização dos ciclos de refrigeração. Por terem propriedades termodinâmicas, esses compostos são capazes de absorver calor, esfriando o ambiente de maneira controlada. A qualidade do fluido refrigerante é um fator fundamental para funcionamento e rendimento de sistemas de refrigeração (MORAIS, 2012).

Além de propriedades termodinâmicas, esses fluidos não devem ser tóxicos ou trazerem impactos ao meio ambiente. Rowland e Molina (1975) demonstraram que o fluido refrigerante extensivamente utilizado nos sistemas de refrigeração, o CFC-12 (da família dos clorofluorcarbonos), possuía alto índice de destruição da camada de ozônio, o que fez com que fosse interrompido na década de 90, embora seus efeitos ainda sejam sentidos (SELLENT, 2011). O fluido mais usufruído em equipamentos de refrigeração no Brasil é o HFC-134A, pois independente da sua contribuição na degradação dentro da camada de ozônio ser quase inexistente, o efeito do aquecimento global continua considerável (OLIVEIRA; REBELATTO; YAMASHITA, 2016).

Nas palavras de Carmeis (2002) e Salvador (1999), o compressor é um componente mecânico mais complexo, movido por um motor elétrico, cuja função é puxar o refrigerante vaporizado do evaporador e o comprimir em um volume pequeno a uma alta temperatura, assim, fornece um diferencial de pressão de forma que o fluido refrigerante possa evaporar a uma temperatura inferior à temperatura de condensação e assim retirar calor de uma fonte fria e rejeitar esse calor para uma fonte quente.

Condensadores são os elementos do sistema de refrigeração que têm a função de transformar o gás quente, que é descarregado do compressor a alta pressão, em líquido. Para isso, rejeita o calor contido no fluido refrigerante para alguma fonte de resfriamento (FERRAZ, 2008).

O dispositivo de expansão tem a função de reduzir a pressão do refrigerante desde a pressão de condensação até a pressão de vaporização. Ao mesmo tempo, este dispositivo deve regular a vazão de refrigerante que chega ao evaporador, de modo a satisfazer a carga térmica aplicada ao mesmo (SEELANT, 2011).

O evaporador é a parte do sistema de refrigeração onde o fluido refrigerante passa uma modificação de estado, deixando a fase líquida e passando para a fase gasosa. Após passar pela válvula de expansão, o fluido refrigerante é admitido no evaporador da forma líquida. Como a pressão do evaporador é baixa, o fluido refrigerante se evapora com uma temperatura baixa (JÚNIOR, 2003).

Partindo destes conceitos, o objetivo foi desenvolver um refrigerador por compressão à vapor tipo portátil, leve e de baixo custo, para o resfriamento de bebidas armazenadas em latas e garrafas, de forma agradável para o consumo humano.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente projeto foi realizado no período de julho a agosto de 2020 na Universidade Brasil, localizada na Estrada Projetada F-1 s/n Fazenda Santa Rita, no

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

Município de Fernandópolis-SP. A pesquisa desenvolvida foi experimental e seguiu as etapas elencadas na Figura 1:

Figura 1 – Etapas de desenvolvimento do projeto

Fonte: Os autores, 2020. As aquisições dos materiais para o desenvolvimento do projeto de refrigeração foram de recursos próprios, estabelecidos e providenciados nas proporções adequadas para o funcionamento do protótipo (Tabela 1).

Tabela 1 - Custos dos materiais utilizados e aplicações externas

Material	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Abraçadeira 3,1 cm x 1,8 cm	9	2,00	18,00
Abraçadeira 4,2 cm x 1,8 cm	8	2,75	22,00
Abraçadeira 8 cm x 1,8 cm	15	3,50	52,50
Adesivo + Arte	1	25,00	25,00
Arruelas	8	0,20	1,60
Caixa térmica 50 litros	1	100,00	100,00
Chapa metálica 21,7 cm X 16,2 cm	1	8,00	8,00
Chapa metálica 16,1 cm x 8,1 cm	1	7,00	7,00
Chapa metálica 16,1 cm x 7,1 cm	1	7,00	7,00
Cilindro de gás refrigerante Eos R-409A 750g	1	102,00	102,00
Controlador digital MT-512E	1	160,00	160,00
Cooler	1	58,90	58,90
Dimmer rotativo 1000W	1	18,00	18,00
Filtro secador	1	9,90	9,90

Motor de bebedouro 1/8	1	100,00	100,00
Parafuso 1" x 3/8"	8	0,71	5,68
Parafuso brocante 1,3 cm	120	0,12	14,40
Porcas	8	0,25	2,00
Silicone PU-30 420g	1	13,80	13,80
Tinta spray colorgin 350 ml	1	20,00	20,00
Tubo capilar 0,50"	3 metros	6,67	20,00
Tubo de cobre 5/16	11 metros	9,27	102,00
Tubo de cobre 3/8	4 metros	11,25	45,00
Válvula schrader	2	5,00	10,00
Aplicações externas (gás refrigerante no sistema)	1	300,00	300,00
		TOTAL	R\$ 1.222,78

Fonte: os autores, 2020.

Para que o protótipo funcionasse, seguiu-se as etapas de funcionamento do sistema de Compressão Mecânica de Vapor (CMV), de acordo com explanações de Ferraz (2008), onde o fluido refrigerante adentra no evaporador à baixa pressão, na forma de líquido mais vapor, e retira energia do meio interno enquanto passa para o estado de vapor. Após, o vapor entra no compressor onde é comprimido e bombeado, tornando-se vapor superaquecido, onde desloca-se para o condensador, que tem a função de liberar a energia retirada do ambiente. Após liberar energia, o fluido passa do estado de vapor superaquecido para líquido (condensação), entrando no dispositivo de expansão, após, a pressão é reduzida, volta ao evaporador e o ciclo inicia novamente. A Figura 2 ilustra esse sistema.

Figura 2 – Representação de um sistema de refrigeração.

Fonte: Rey, 2019.

Para desenvolvimento do projeto de refrigeração, seguiram as etapas que estão destacadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Desenvolvimento do protótipo.

01	Escolheu-se um compartimento para montagem do protótipo de refrigeração. Utilizou-se então uma caixa térmica com capacidade de 50 litros.
02	Após, a caixa foi recortada com auxílio de uma lixadeira, para a instalação e fixação do compressor e condensador, como também foram feitas marcações internas para a instalação do evaporador.
03	Foi instalado uma chapa para fazer o formato interno do refrigerador, dividindo em compartimentos para uso.
04	Para a montagem do evaporador, utilizaram-se por volta de 11 metros de tubo de cobre com polegadas $\frac{5}{16}$, onde ele foi parafusado e fixado com abraçadeiras de metal nas paredes e chapa interna da caixa. Foi feito tipo uma serpentina.
05	Instalou-se um poço térmico na última volta do evaporador, com finalidade de agregar um sensor para acompanhar a temperatura interna do refrigerador.

06	Elaborou-se um condensador em formato tipo mola com 4 metros de tubo de cobre com polegadas 3/8.
07	A chapa que foi instalada internamente serviu de proteção para o compressor e condensador. O tudo de cobre indicado na figura lado, trata-se do evaporador que será conectado no compressor.
08	Foi feita uma camada de vedação com isopor e silicone PU na parte do compressor e condensador, para que quando ele estiver em funcionamento, ao gelar, não escorrer água neste compartimento.
09	Na sequência, abriu um recorte na parte frontal da caixa para instalar um controlador de temperatura, como também alguns furos para garantir ventilação interna.
10	Instalou-se um cooler de 12 Volts para reduzir o calor gerado pelos componentes deste compartimento externo, sendo eles o compressor e o condensador. Para o controle de velocidade de rotação do cooler, instalou-se um <i>dimmer</i> .

11	Na saída do condensador, foi instalado um filtro secador com objetivo de reter qualquer umidade do gás refrigerante. E na saída do filtro secador foi conectado a válvula de expansão.
12	Com as instalações feitas, gerou-se vácuo com auxílio de uma bomba vácuo, e inseriu-se 100g de gás refrigerante no sistema. Essa quantidade inserida foi acompanhada pela pressão do sistema. Para o compressor (motor) usado no protótipo, o gás refrigerante usado foi o EOS R-409A.

Fonte:

Os autores, 2020.

De acordo com o projeto de mini refrigerador desenvolvido por Seelent (2011), um refrigerador de bebidas com alto rendimento e potência de 960 W, consegue refrigerar de 28 °C para 0 °C, 24 garrafas de 600 ml em uma hora e vinte minutos. Partindo disso, fez-se os testes no protótipo para verificação da capacidade do compartimento conforme demonstrado na Tabela 2.

TABELA 2: Capacidade de cervejas do Mini Refrigerador Portátil.

	COMPARTIMENTO FREEZER (maior)	COMPARTIMENTO GELADEIRA (menor)	
12	GARRAFAS 1L EM PÉ	+ 10 GARRAFINHAS 300 mL	= 22
20	GARRAFAS 600 MI EM PÉ	+ 10 GARRAFINHAS 300 mL	= 30
22	GARRAFAS 500 MI DEITADA	+ 10 GARRAFINHAS 300 mL	= 42
50	GARRAFAS 300 MI DEITADA	+ 10 GARRAFINHAS 300 MI	= 60

Fonte: Os autores, 2020.

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

2.1 MÉDIA LOGARÍTMICA DAS DIFERENÇAS DE TEMPERATURAS

Com intuito de analisar a eficiência do protótipo realizou-se o primeiro teste. Colocou-se o fluido refrigerante em um circuito fechado, que entrou no compressor a temperatura de -15°C e saiu para o sistema de refrigeração a -12°C . No interior da caixa térmica, armazenou-se uma cerveja de 500 ml por 30 min que entrou a temperatura ambiente de 29°C e que após o tempo de resfriamento, saiu a 19°C .

Utilizou-se a Equação 1 para o cálculo da MDT, considerando a operação em correntes opostas.

$$MLDT = \frac{\Delta T_{\text{máxima}} - \Delta T_{\text{mínima}}}{\ln \left(\frac{\Delta T_{\text{máxima}}}{\Delta T_{\text{mínima}}} \right)} \quad (1)$$

Onde, $\Delta T_{\text{máxima}}$ é a variação de temperatura máxima, calculada pela subtração entre a temperatura de entrada do fluido quente com a temperatura de saída do fluido frio e $\Delta T_{\text{mínima}}$ é a variação de temperatura mínima, calculada pela subtração da temperatura de saída ou descarga do fluido quente, com a temperatura de entrada do fluido frio.

2.2 CÁLCULO DA CAPACIDADE TÉRMICA DO REFRIGERADOR

Do ponto de vista matemático, a **capacidade térmica (C)** é definida como a razão entre o calor recebido (Q) pelo corpo e a variação de temperatura (ΔT) sofrida por ele. A expressão que se utiliza a fins de calcular essa relação é a Equação 2.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2)$$

Onde:

C: capacidade térmica (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$);

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

Q: quantidade de calor (kJ);

ΔT : variação de temperatura ($^{\circ}\text{C}$ ou K).

O Quadro 2 apresenta as especificações da caixa refrigeradora e da garrafa de cerveja.

Quadro 2: Especificações da caixa refrigeradora e garrafa de cerveja.

ESPECIFICAÇÕES		
CAIXA REFRIGERADORA	$C = \frac{Q}{\Delta T}$	
	GARRAFA D	E CERVEJA
Capacidade: 50 litros	Massa cerveja: 300ml	
Peso: 22 kg	Massa vidro: 240 g	
Espessura do isolante térmico 0,03m	Calor específico do vidro: 0,67 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$	
Tensão de alimentação: 127 V 60 Hz	Calor específico da cerveja: 4,27 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ (SEELINT,2011)	
Dimensão interna da caixa térmica:		
Altura: 0,43m Largura: 0,40m Comprimento: 0,56m		

Fonte: Os autores, 2020.

A capacidade térmica é proporcional à massa dos corpos. Essa proporcionalidade é definida por uma grandeza denominada calor específico C , que é determinado pela razão constante entre a capacidade térmica e a massa de uma substância, quanto

maior a massa de um corpo, maior a quantidade de calor necessária para variar sua temperatura (TEIXEIRA, 2021).

Logo após, de posse de um termômetro mediu-se a temperatura da caixa e da cerveja em função do tempo e assim calculou a variação da temperatura com a Equação 3.

$$\Delta T = T_f - T_i \quad (3)$$

Onde:

ΔT : variação de temperatura (°C)

T_f : temperatura final (°C)

T_i : temperatura inicial (°C)

Portanto, calculou-se a Energia Térmica da cerveja com a Equação 4.

$$Q = m \times c \times \Delta t \quad (4)$$

Onde:

Q : energia térmica (Kj)

m : massa (kg)

c : calor específico (Kj/kg°C)

ΔT : variação de temperatura (°C)

2.3 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para estimar o consumo de energia elétrica mensal no período 24 horas por dia, utilizou-se Equação 5 e Equação 6.

$$C = P \times t \quad (5)$$

C: consumo de energia elétrica (kWh)

P: potência consumida (W)

t: tempo de funcionamento (h)

$$\text{Consumo mensal: } C \times h \times 30 \quad (6)$$

C = consumo de energia elétrica (kWh)

h = horas de utilização do mini refrigerador

Tomando a Lei de Ohm, junto a fórmula da Figura 3, determinou-se o valor da potência elétrica dissipada pela Equação 7.

Figura 3: Representação da Lei de Ohm.

Fonte: (BISQUOLO, 2021).

$$P = U \cdot i \quad (7)$$

P: Potência (W)

U: Tensão (V)

I: Corrente elétrica (A)

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A Tabela 3 demonstra os resultados obtidos através dos testes, do valor da MLDT e das temperaturas, tanto de entrada (E) e saída (S) dos fluídos quentes (TQ) e frios (TF) em °C. Após a realização dos testes 2 e 3 no tempo estimado de 15 minutos, a quantidade de cerveja continuou armazenada na caixa e observou que no primeiro teste ocorreu a formação de gelo na serpentina de cobre do evaporador. Já no

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

segundo e terceiro testes, a formação de gelo continuou aumentando na área refrigerada.

Tabela 3 – Temperaturas e MLDT.

Teste	TQ, E (°C)	TF, E (°C)	TQ, S (°C)	TF, S (°C)	MLDT
1	29	-15	19	-12	37,12
2	19	-15	15	-12	30,36
3	27	-15	19	-12	36,22

Fonte: Os autores, 2020.

Conforme explanações de Silva e Thadeu (2012)

O fluxo de calor transferido entre os fluidos e o trocador de calor é diretamente proporcional à diferença de temperatura média entre os fluidos. No trocador de calor de correntes opostas à diferença de temperatura entre os fluidos não varia tanto, o que gera em uma diferença média maior, como consequência mantida as mesmas condições, logo o trocador de calor trabalhando em correntes opostas é mais eficiente.

Realizou-se um 4º teste, para descobrir a capacidade térmica da máquina, onde permite calcular a quantidade de energia trocada (cedida ou recebida) por um corpo. Esta troca de energia é proveniente da variação de temperatura do protótipo. O Quadro 3 mostra a variação da temperatura da caixa em função do tempo.

Quadro 3: Variação de temperatura da caixa.

T (min)	T °C
0	22,5
15	18
30	10,9
45	6,8

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

60	4,1
75	3,1
90	2,4
105	1,6
120	1,2
135	0,5
150	-1,1

Fonte: Os autores, 2020.

Analisando os resultados do Quadro 3, foi possível elaborar o gráfico da Figura 4 para identificar a curva das variações de temperatura. Observa-se que quanto maior o tempo de refrigeração menor a temperatura, confirmando a eficiência do equipamento.

Figura 4: Gráfico das variações de temperatura.

Fonte: Os autores, 2020.

A Figura 5 apresenta a temperatura inicial e final da cerveja, sendo 27,5 °C e 5,7 °C, respectivamente.

Figura 5: Temperatura da cerveja.

Fonte: Os autores, 2020.

Calculou-se a variação da temperatura da cerveja e da caixa,

$$\Delta T_{\text{cerveja}} = 5,7 - 27,5 = -21,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

e

$$\Delta T_{\text{caixa}} = -1,1 - 22,5 = 23,6 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ respectivamente.}$$

Após, determinou-se a energia térmica total da cerveja e da caixa refrigeradora,

$$Q_{\text{total}} = -34,22 \text{ kJ.}$$

sendo igual

Assim, efetuou-se o cálculo da capacidade térmica da caixa e da cerveja, obtendo

$$C = -1,45 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C.}$$

um valor de

O resultado -1,45 kJ/kg°C da capacidade térmica indica que o material perdeu calor e diminuiu a energia do sistema, ou seja, a energia térmica está saindo do corpo.

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

Isso ocorre quando um corpo recebe ou perde calor e a temperatura aumenta ou diminui, ocorrendo assim a mudança de estado e agregação das moléculas, do estado sólido para líquido, líquido para vapor, ou vice-versa (SCHULZ, 2009). Segundo Bekon (2019) como a capacidade máxima do refrigerador é de 60 garrafas de 300ml, a carga máxima de calor no interior da caixa será 2053,2 kJ. O protótipo atingiu o valor esperado de $-1,1^{\circ}\text{C}$ abaixo de 0°C visto que não necessariamente poderemos ter a carga máxima.

Com o auxílio de um Alicata Amperímetro Digital mediu-se a tensão média e a corrente elétrica, resultando em 127 V e 1,07 A, respectivamente e encontrou o valor da potência dissipada em .

Como a taxa por kWh é aproximadamente R\$ 0,33, estimou-se o gasto de energia elétrica do mini refrigerador por mês em

Quadro 4: Informações de eficiência energética.

Aparelhos Elétricos	Dias Estimados Uso/Mês	Média Utilização/Dia	Consumo Médio Mensal (kWh)
Feezer vertical/horizontal	30	24 h	47,55
Freezer vertical frost free	30	24 h	54,00
Frigobar	30	24 h	18,90
Geladeira 1 porta	30	24 h	25,20
Geladeira 1 porta frost free	30	24 h	39,60
Geladeira 2 portas	30	24 h	48,24
Geladeira 2 portas frost free	30	24 h	56,88

Fonte: Procelinfo, 2006.

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

Figura 6: Valores do kWh das companhias elétricas.

Fonte: Coelho, 2012.

Portanto, o consumo mensal do mini refrigerador foi de R\$ 32,29 durante 30 dias, e conforme o Quadro 4, observa-se que o valor do protótipo é relativamente próximo ao freezer horizontal/vertical, que de acordo com a Figura 6, a taxa administrativa das companhias elétricas é variável. Segundo Kronbauer (2013) no qual possui um

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

refrigerador de capacidade 3 litros compostos de pastilhas termoelétricas que operam utilizando o efeito Peltier, gastou-se 5,88 kWh por mês utilizando a caixa 4h por dia. Portanto, verificou-se que o projeto gastou menos energia e possui uma capacidade maior.

4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho abrange conhecimentos práticos e teóricos do processo de refrigeração, que possibilita essa flexibilidade de transporte devido ao seu tamanho, podendo ser reproduzido facilmente e com baixo custo de fabricação.

Elaborou-se um modelo de refrigeração portátil por compressão a vapor com refrigerante ecológico (R-409) para o resfriamento de bebidas e alimentos, composto basicamente por um evaporador onde o fluido adentra a baixa pressão, compressor onde o gás é comprimido e bombeado e condensador evaporativo atmosférico.

Através dos cálculos referente ao método (MLDT) e testes de funcionamento, o protótipo apresentou uma queda de temperatura de 27,1 °C em 150 minutos sendo que o fluido em temperatura ambiente de 26 °C, atingiu ao término do processo a temperatura de -1,1 °C, resultado satisfatório comparado com a literatura.

À vista disso, o protótipo suportou a capacidade de até 60 garrafas de 300 ml, promovendo uma economia energética considerável, já que depende de uma fonte elétrica para realizar trabalho.

Diante disso o projeto comprovou sua eficiência que validou dados adeptos com a literatura, gerando resultados satisfatórios para essa versão do protótipo.

REFERÊNCIAS

BEKON, Sidnei: Novo mini refrigerador portátil I: Projeto e Execução da Estrutura e Condensador, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/336747810_Novo_Minirefrigerador_Portatil

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

I_I_Projeto_e_Execucao_da_Estrutura_e_Condensador> Acesso em: 23 de fevereiro 2021.

BISQUOLO, Paulo Augusto, **Potência elétrica – Cálculo do consumo de energia elétrica**, 2021. Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/potencia-eletrica-calculo-do-consumo-de-energia-eletrica.htm>>. Acesso em: 27 de fevereiro 2021.

BORGNAKKE, Claus, SONNTAG Richard. **Fundamentos da Termodinâmica**, 2002. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/261696>>. Acesso em: 21 de Abril de 2021.

CARMEIS, Dean Willian Moraes. **Os efeitos da diversidade de tensões de distribuição no setor elétrico brasileiro: Estudo do Caso do Refrigerador Doméstico**, 2002. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/261696>>. Acesso em: 21 de abril 2021.

COELHO, Barbara. **Tarifação da Energia Elétrica**, 2012. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1012705_2012_cap_6.pdf>. Acesso em: 31 de julho 2021.

EVANGELISTA, Carla Reis. **Vaporização**, 2010. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/termodinamica/vaporizacao/amp/>>. Acesso em: 22 de fevereiro 2021.

FERRAZ, Fábio. **Apostila de refrigeração**. Centro Federal de Educação Tecnológica, 2008. Disponível em: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/ref13.pdf>>. Acesso em: 06 de março 2021.

JÚNIOR, Luiz Carlos Martinelli. **Refrigeração**, 2003. 134p. Disponível em: < http://www.portaldoeletrrodomestico.com.br/cursos/refrigeracao_ar/apostila_refrigeracao.pdf>. Acesso em: 14 de abril 2021.

KRONBAUER, Ana Claudia do: **Projeto e construção de um mini refrigerador com pastilhas termoeletricas**, 2013. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13610/2/MD_COMIN_2012_2_03.pdf>. Acesso em: 14 de abril 2021.

MARQUES, João Carlos Borges. **Análise de desempenho de um refrigerador de pequeno porte com drop in de refrigerantes hidrocarbonetos**, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15655/1/JoaoCBM DISSERT.pdf>>. Acesso em: 29 de julho 2021.

MARTÍNEZ, Luiz Carlos Castilho. **Otimização dos circuitos de refrigerante nos trocadores de calor de sistemas de refrigeração por compressão de vapor**, 2009. Disponível em: < https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/31763/31763_4.PDF>. Acesso em: 23 de janeiro de 2021.

MCKINLEY, Thomas; ALLEYNE, Andrew. **Um modelo avançado de trocador de calor não linear comutado para ciclos de compressão de vapor usando o método de limite móvel**, 2008. Disponível em: < <https://experts.illinois.edu/en/publications/an-advanced-nonlinear-switched-heat-exchanger-model-for-vapor-com>>. Acesso em: 13 de maio 2021.

MORAIS, André Neves. **Simulação numérica de um ciclo de refrigeração por absorção**, 2012. Disponível em: < https://bdm.unb.br/bitstream/10483/3374/1/2012_AndreNevesdeMoraes.pdf>. Acesso em: 26 de julho 2021.

NUNES, Tallita Karolline. **Modelagem, simulação e otimização de sistemas de refrigeração por compressão de vapor**, 2015. Disponível em:

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

<http://www.pgmecc.ufpr.br/teses/tese_036_tallita_karolline_nunes.pdf>. Acesso em: 28 de julho 2021.

OLIVEIRA, Mário Henrique da Fonseca; REBELLATO, Daisy Aparecida do Nascimento; YAMASHITA, Bruno Dantas. **Análise dos refrigeradores e freezers utilizados no Brasil e de novas tecnologias que possam aumentar sua eficiência energética.** Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/viewFile/1484/735#:~:text=O%20fen%C3%B4meno%20da%20refrigera%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9,conforme%20exposto%20pela%20Figura%201>>. Acesso em: 27 de julho 2021.

PROCELINFO, Blog. **Centro brasileiro de informação de eficiência energética**, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>. Acesso em: 25 de julho 2021.

REY, Anderson. **Os tipos de refrigeração** – Curso de refrigeração, 2019. Disponível em: <<https://refrimaq.org/os-tipos-de-refrigeracao/>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2021.

SALVADOR, Francisco. **Modelagem e simulação de sistemas de refrigeração de pequeno porte com dispositivo de expansão constituído por tubo capilar**, 1999. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3139/tde-05102010-112239/publico/Dissertacao_Francisco_Salvador.pdf>. Acesso em: 29 de julho 2021.

SCHULZ, Daniel. Capacidade térmica, 2009. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/capacidade_termica.htm>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

SEELANT, Jonas Josiel. **Refrigeradores de bebidas de alto rendimento**, 2011. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13706/2/MD_COMIN_2011_2_08.pdf>. Acesso em: 25 de julho 2021.

RC: 96275

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/refrigeracao-portatil>

SILVA, Thadeu Alfredo Farias da. **Atenuação térmica nos grupos geradores de energia utilizando trocadores de calor de água gelada controlada**, 2012.

Disponível em:

http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266690/1/Silva_ThadeuAlfredoFarias_M.pdf>. Acesso em: 21 de abril 2021.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. Equação fundamental da calorimetria, 2021. Disponível em: <<https://m.mundoeducacao.uol.com.br/amp/fisica/equacao-fundamental-calorimetria.htm/>>. Acesso em: 05 de maio 2021.

Enviado: Junho, 2021.

Aprovado: Setembro, 2021.