

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO – UNISAGRADO

GABRIEL LEÃO COSTA

APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DA EFICIÊNCIA TÉRMICA NO PROCESSO DO  
USO DE PASTILHAS TERMOELÉTRICAS EM AR CONDICIONADO

BAURU/SP

2023

GABRIEL LEÃO COSTA

APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DA EFICIÊNCIA TÉRMICA NO PROCESSO DO  
USO DE PASTILHAS TERMOELÉTRICAS EM AR CONDICIONADO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como parte dos requisitos  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Elétrica – Centro  
Universitário Sagrado Coração.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Marina Valença  
Alencar Guarato

BAURU/SP

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo  
com ISBD

C837a	<p>Costa, Gabriel Leão</p> <p>Aplicação experimental da eficiência térmica no processo do uso de pastilhas termoeletricas em ar condicionado / Gabriel Leão Costa. -- 2023. 26f. : il.</p> <p>Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Marina Valença Alencar Guarato</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Meio Ambiente. 2. Ar-Condicionado. 3. Pastilha Termoeletrica. I. Guarato, Marina Valença Alencar. II. Título.</p>
-------	--

Elaborado por Lidyane Silva Lima - CRB-8/9602

GABRIEL LEÃO COSTA

APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DA EFICIÊNCIA TÉRMICA NO PROCESSO DO  
USO DE PASTILHAS TERMOELÉTRICAS EM AR CONDICIONADO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como parte dos requisitos  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Elétrica – Centro  
Universitário Sagrado Coração.

Aprovado em: 29/11/2023.

Banca examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Marina Valença Alencar Guarato  
Centro Universitário Sagrado Coração

---

Prof. Dr. Danilo Sinkiti Gastaldello  
Centro Universitário Sagrado Coração

Dedico este trabalho a todos aqueles a quem esta pesquisa possa ajudar de alguma forma.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me proporcionou o milagre da vida e a saúde para continuar lutando pelo restante do meu caminho aqui.

Agradeço aos meus pais, que me incentivaram durante todo meu percurso acadêmico e nunca me deixaram faltar nada.

Agradeço à minha esposa Luma Garcia Camargo, por todo apoio e momentos de companheirismo. Meu amor e melhor amiga.

Agradeço a todo corpo docente e discente do Centro Universitário Sagrado Coração, pela qualidade e estrutura oferecidos durante o curso.

Agradeço aos meus colegas de curso, que fizeram parte da jornada, me fazendo crescer pessoalmente e profissionalmente.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Consumo de HCFs.....	12
Figura 2 – Semicondutores tipo p e tipo n.....	15
Figura 3 – Estrutura da pastilha termoelétrica.....	15
Figura 4 – Montagem do sistema com cooler.....	17
Figura 5 – Resultado do primeiro experimento.....	17
Figura 6 – Dissipador com água.....	18
Figura 7 – Temperatura inicial experimento 2.....	19
Figura 8 – Resultado temperatura do experimento 2.....	19
Figura 9 – Dispositivo com peltier de dissipação eficiente.....	20
Figura 10 – Temperatura inicial no centro dos dissipadores secos com pastilhas em paralelo.....	21
Figura 11 – Formação de gelo no dissipador seco.....	21
Figura 12 – Temperatura final dos dissipadores seco em paralelo.....	22
Figura 13 – Temperaturas iniciais do sistema em paralelo na caixa.....	23
Figura 14 – Montagem interna do experimento.....	23
Figura 15 – Temperatura dentro da caixa com sistema em paralelo.....	24

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	13
2.1 PASTILHA PELTIER.....	14
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	16
<b>4 DISCUSSÃO E RESULTADOS</b> .....	16
4.1 DISSIPADOR COM COOLER.....	16
4.2 DISSIPADOR COM ÁGUA.....	18
4.3 RESFRIAMENTO DA PASTILHA EM PARALELO EM MEIO LIVRE.....	20
4.4 PASTILHA PELTIER EM PARALELO NA CAIXA DE ISOPOR.....	22
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	24
REFERÊNCIAS.....	26

## **APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DA EFICIÊNCIA TÉRMICA NO PROCESSO DO USO DE PASTILHAS TERMOELÉTRICAS EM AR CONDICIONADO**

Gabriel Leão Costa<sup>1</sup>, Profa. Dra. Marina Valença Alencar Guarato<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Área de Ciências Exatas, Humanas e Sociais/Centro Universitário Sagrado Coração (UNISAGRADO) – Bauru/Sp – gabriel.leaoc556@gmail.com

<sup>2</sup>Área de Ciências Exatas, Humanas e Sociais/Centro Universitário Sagrado Coração (UNISAGRADO) – Bauru/Sp – marina.alencar@unisagrado.edu.br

### **RESUMO**

O impacto do efeito estufa tem ocasionado um aumento na temperatura, resultando em calor muito mais intenso. Como resposta a isso, entram em cena os aparelhos de ar-condicionado, que, por sua vez, utilizam gases. Atualmente, o gás refrigerante hidroclorofluorcarboneto (HCFC) substitui o clorofluorcarboneto (CFC) por ser menos prejudicial ao meio ambiente, mas ainda contribui para o efeito estufa e possui uma grande demanda energética. As hidrelétricas são a maior fonte de energia elétrica no Brasil, porém, ao contrário do que muitos pensam, também causam um grande impacto no meio ambiente, como o desmatamento e a negativa afetação da fauna. Antigamente, o gás mais comum era o CFC, que apresentava grandes riscos ambientais. Portanto, foi substituído pelos HCFC, que ainda são prejudiciais, embora menos do que seu antecessor. Tendo isso como base motivadora, este projeto visa analisar a viabilidade de um sistema capaz de resfriar o ar, buscando atingir uma temperatura ambiente próxima dos 24 °C, utilizando pastilhas Peltier (termoelétricas) para retirar o gás da equação, também visando uma redução na demanda energética, consumindo menos do que um ar-condicionado tradicional.

Palavras-chave: Meio Ambiente; Ar-condicionado; Pastilha Termoelétrica.

## **ABSTRACT**

The significant impact of the greenhouse effect has led to a rise in temperature, resulting in much more intense heat. In response, air conditioning units have come into play, utilizing gases in the process. Currently, the hydrochlorofluorocarbon (HCFC) refrigerant gas replaces chlorofluorocarbon (CFC) due to its lower environmental impact, although it still contributes to the greenhouse effect and demands a considerable amount of energy. Hydroelectric power plants are the primary source of electricity in Brazil; however, contrary to common belief, they also cause significant environmental impacts such as deforestation and adverse effects on wildlife. In the past, CFC was the most common gas used, posing substantial environmental risks. Consequently, it was replaced by HCFC, which, although less harmful, still has negative effects compared to its predecessor. With this as a motivating foundation, this project aims to analyze, within approximately a year, the feasibility of a system capable of cooling the air, striving to achieve an ambient temperature close to 24°C. This will be done using Peltier modules (thermoelectric devices) to eliminate gases from the equation, also focusing on reducing energy demand, consuming less power than a traditional air conditioning system.

**Keywords:** Environment; Air Conditioning; Thermoelectric Module.

## 1 INTRODUÇÃO

É possível observar atualmente como as manifestações climáticas estão cada vez mais imprecisas, caóticas e drásticas. Moutinho (2006, P.119) aponta diversas pesquisas que mostram como o aquecimento global está superando qualquer outro evento climático que já tenha passado pela Terra. Ao longo do século XX, a temperatura do planeta teve um aumento de 0,5°C. (*apud* IPCC,2001).

Ainda de acordo com Moutinho (2006, p.119), tendo isso como exemplo, se a concentração de CO<sub>2</sub> e outros gases responsáveis pelo efeito estufa continuarem aumentando, em 100 anos estima-se que a temperatura do planeta sofrerá um aumento em média de 1,4 e 5,8°C. (*apud* IPCC,2001).

O Brasil é um exemplo de uma grande mistura de todas as variações climáticas, e esse projeto abordará especificamente o calor, visto que é o que mais causa transtornos nas regiões. Como forma de combater o calor, uma grande parte da população brasileira conta com a utilização do aparelho de ar condicionado, de modelos e especificações diversas.

Existe nesse contexto a questão do consumo elevado de energia, onde um aparelho ar-condicionado pode chegar a consumir de 700 watts a 2100 watts, dependendo da sua especificação. Com o aumento de demandas de energia, é necessária a construção de mais usinas hidrelétricas, as quais não causam poluição no ar, mas causam grandes impactos ambientais:

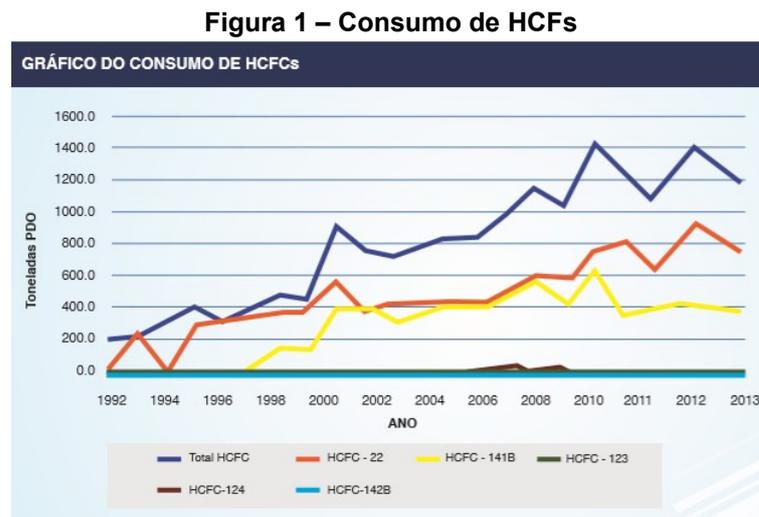
É um estrago e tanto. Na área que recebe o grande lago que serve de reservatório da hidrelétrica, a natureza se transforma: o clima muda, espécies de peixes desaparecem, animais fogem para refúgios secos, árvores viram madeira podre debaixo da inundação... E isso fora o impacto social: milhares de pessoas deixam suas casas e têm de recomeçar sua vida do zero num outro lugar. (PAQUETE, 2011)

Os gases HCFC substituem os CFCs nos aparelhos de ar condicionado, isso com objetivo reduzir o impacto na camada de ozônio, mas atualmente eles são grandes responsáveis pelo aumento da temperatura do planeta. No Brasil os HCFCs mais utilizados são: HCFC-141b e HCFC-22, e, com base no Siscomex (Sistema Integrado de Comércio Exterior), em 2012 o consumo desses gases foi de 1.387,87

toneladas, das quais 32% é referente ao HCFC-141b e 67% ao HCFC-22. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE 2014, P.61).

No Brasil o consumo do HCFC-22 é principalmente destinado a aparelhos relacionados a refrigeração, usado como fluido refrigerante, como no caso do ar-condicionado. Desse consumo, 15% são representados na construção de novos aparelhos, e 85% para a manutenção dos mesmos. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE 2014, P.62).

A Figura 1 apresenta o consumo de HCFCs no Brasil entre os anos 1992 e 2013. “A Instrução Normativa Ibama no 14, de 20 de dezembro de 2012, dispôs sobre o controle das importações de HCFCs para os anos 2013, 2014 e 2015 com o objetivo de manter o Brasil em cumprimento com as duas primeiras metas do Protocolo de Montreal: o congelamento em 2013 e a redução de no mínimo 16.6% do consumo em PDO em 2015.” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE 2014, P.63).



FONTE: Associações brasileiras para proteção da camada de ozônio.

O motivo pelo qual esse tema foi escolhido foi a sensação incômoda presenciada em casas onde se chega a temperaturas superiores a 35°C em dias quentes, o que gerou a ideia de criar algo que conseguisse controlar a temperatura do ambiente, consumindo menos energia do que um ar-condicionado, além de ser mais acessível em seu valor de aquisição.

Logo, foram feitas algumas pesquisas que mostraram a importância de se analisar os malefícios que os gases utilizados nesses aparelhos podem trazer ao meio ambiente. A necessidade e a problemática ambiental, deram origem a pesquisa a construção de algo com capacidade de resfriar o ambiente, com valor

acessível e sem prejudicar a atmosfera. Dessa forma, buscando estudar diversas formas de montagem de um projeto viável de um sistema para resfriamento do ar.

Através desse projeto de pesquisa será testada uma possível alternativa de montagem de um equipamento de resfriamento, partindo da ideia de retirar o gás do sistema e reduzir o consumo de energia elétrica. Portanto, os relatórios serão feitos a cada teste, mostrando os resultados e a viabilidade para construção e funcionamento dele.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar testes a fim de captar resultados positivos e negativos a respeito da eficiência das pastilhas termoelétricas no contexto de refrigeração de ambiente a partir de experimentos em escala reduzida.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar testes em escala reduzida simulando um sistema de ar-condicionado com pastilhas peltier;

Extinguir o uso do gás refrigerante do aparelho e;

Relatar a viabilidade da pastilha peltier para resfriamento.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Após realizar pesquisas detalhadas e análises em várias fontes, foram identificados estudos anteriores sobre mini geladeiras e sistemas de ar-condicionado que empregam pastilhas Peltier (termoelétricas) com base no mesmo conceito. No entanto, ao serem examinadas essas pesquisas específicas, constatou-se que todas utilizam a pastilha Peltier em conjunto com gelo adicional na tentativa de alcançar temperaturas mais baixas. Infelizmente, essas abordagens não foram bem-sucedidas devido ao rápido derretimento do gelo e à ineficiência dos métodos de dissipação de calor da pastilha Peltier.

Este problema afeta significativamente os resultados obtidos, uma vez que a

presença do gelo influencia os dados, além dos meios de dissipação de calor não serem suficientemente eficazes. Um aspecto crucial que observou-se é a ausência do uso de uma serpentina, um componente que visa ser fundamental para a eficácia do projeto.

É importante ressaltar que, ao especificar as abordagens anteriores, podendo ser citados exemplos mais detalhados. Por exemplo, Danvic, (2020) contribuiu com suas pesquisas sobre as pastilhas Peltier, enquanto Unibusrn (2016) explorou as capacidades de conforto do ar-condicionado no dia a dia, proporcionando *insights* valiosos sobre as limitações encontradas nas pesquisas anteriores. Estas referências específicas serão utilizadas para embasar e comparar os resultados do nosso projeto, fornecendo uma base sólida para nossas conclusões finais.

É também importante lembrar que há uma vasta possibilidade de materiais para serem explorados a fim de obter o melhor resultado. A partir de conhecimento adquirido em estudo, é possível notar que a isolamento térmica não foi feita de maneira apropriada, muito menos a distribuição e posicionamento das pastilhas em função do espaço. O meio de dissipação de calor é muito importante, tanto para o lado quente quanto para o lado frio.

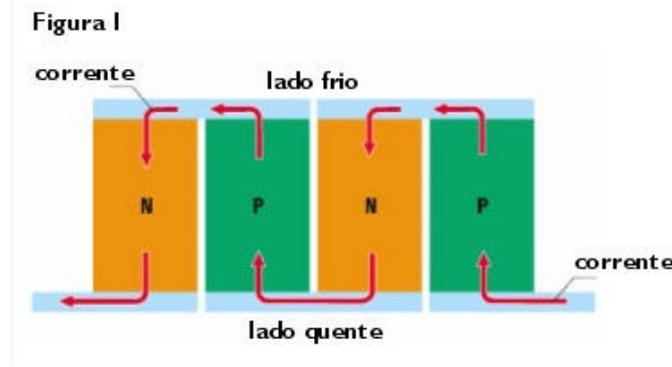
## 2.1 PASTILHA PELTIER

Após entender a origem do chamado efeito peltier, podemos entender o funcionamento da pastilha em si.

Utilizando-se do efeito peltier, as pastilhas termoelétricas operam a partir da teoria de que uma corrente passa por dois condutores diferentes gerando um efeito aquecedor ou resfriador. Quando se tem uma voltagem aplicada em dois polos de materiais distintos é propiciada uma diferença de temperatura, por ter essa diferença, quando se tem o resfriamento na pastilha peltier, o calor é deslocado de um lado ao outro, tendo assim a troca de calor que faz da pastilha termoelétrica um item surpreendente para diversas realizações. (DANVIC, 2020)

Uma pastilha comum contém uma série de elementos semicondutores do tipo-p e do tipo-n, que por sua vez são agrupados em pares como demonstra a Figura 2. Esses pares agem como condutores dissimilares.

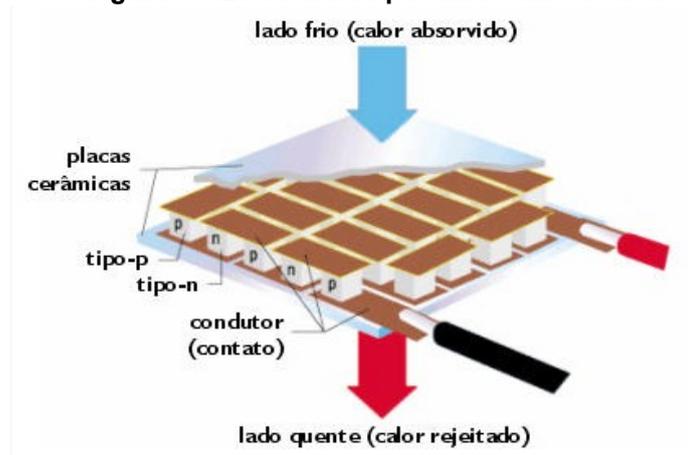
Figura 2 – Semicondutores tipo p e tipo n



FONTE: [www.peltier.com.br](http://www.peltier.com.br)

Entendendo esse conceito, é prescindível isolar esses materiais, e é por isso que esses elementos são soldados entre placas de cerâmica, para que fiquem termicamente em paralelo e eletricamente em série, como mostra a Figura 3. Após essa visualização, uma corrente contínua é aplicada nesses elementos (tipo-n e tipo-p), com isso, quando se resfria o lado mais frio, o calor é transferido pela pastilha por um transporte de elétrons e emitido do lado mais quente dessa pastilha. Essa capacidade de “resfriamento” ou “aquecimento” é proporcional à corrente aplicada e ao número de pares dos elementos n e p. (DANVIC, 2020).

Figura 3 – Estrutura da pastilha termoelétrica



FONTE: [www.peltier.com.br](http://www.peltier.com.br)

De acordo com especificações de diversos vendedores desse produto e testes realizados pelos mesmos, a pastilha de modelo TEC-12706 é capaz de chegar a 30°C negativo de um lado, e a 80°C no outro.

### 3 METODOLOGIA

Após a análise da forma de dissipação das pastilhas vistas em trabalhos correlatos, para os testes a seguir serão usados dissipadores de calor em alumínio com circulação de água, a fim de obter melhores resultados.

O conceito inicial baseia-se em analisar os resultados de resfriamento das pastilhas em meio livre (com dissipadores) e após os dados coletados, testes em ambiente reduzido e controlado serão conduzidos para captação de novos dados.

Serão testados: pastilhas TEC1 12706, dissipadores de calor de 10.4 cm de largura por 20 cm de comprimento, coolers de 120x120x25mm 12V 0.3A cada, mangueiras ¼", e, se houver necessidade, todas as mangueiras serão revestidas com algum material isolante térmico a fim de evitar que a água troque calor com o ambiente.

Todo esse sistema será ligado em uma fonte chaveada de 12V, 20A, 240W, podendo eventualmente ser substituída por uma de 30A, caso a demanda das pastilhas seja superior a 20A.

A princípio esse é o projeto que será elaborado, podendo haver alterações no decorrer dos testes a fim de se obter o resultado desejado.

### 4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

#### 4.1 DISSIPADOR COM COOLER

Para esse experimento colocou-se a pastilha com o lado frio voltado para o dissipador dourado e o lado quente em contato com o dissipador maior na cor prata, ambos feitos em alumínio, e retirados de uma CPU. No lado quente do dissipador temos um cooler com o lado exaustão favorecendo o dissipador, esse cooler em específico é 127V, mas na maioria dos casos e os encontrados em computadores são 12V. Dando sequência, a peltier deve ser ligada em 12V, para isso utilizou-se uma fonte chaveada de 12V, 5A. Um termômetro digital foi posicionado no dissipador dourado para ter um controle da temperatura inicial e final em decorrência a um determinado período. A figura 4 apresenta a montagem do dissipador.

**Figura 4 – Montagem do sistema com cooler**



Fonte: Elaborado pelo autor

O teste foi realizado com foco em alguns objetivos, após dez minutos observar quantos graus Celsius a pastilha conseguiu reduzir a temperatura do dissipador referente ao lado frio antes de estabilizar a temperatura. Note que na Figura 4 a temperatura inicial do teste foi de 28.6°C.

Dentro do tempo estipulado no teste foi possível observar que em 4 minutos a pastilha conseguiu atingir seu auge, nos 6 minutos restantes a temperatura se manteve estável nos 17.7°C como mostrado na Figura 5, sendo essa a temperatura final do experimento.

**Figura 5 – Resultado do primeiro experimento**



Fonte: Elaborado pelo autor

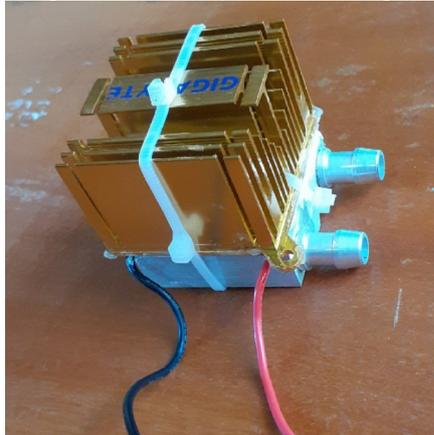
Note que fica fácil de observar a formação de gotículas de água se formando no dissipador frio, isso ocorre em decorrência a diferença de temperatura, mesmo processo que ocorre na unidade evaporadora de aparelhos de ar-condicionado, por esse fato que todos os eletrônicos que contam com unidade evaporadora tem uma

saída para água onde vemos gotejar com frequência quando o mesmo se encontra em funcionamento.

#### 4.2 DISSIPADOR COM ÁGUA

Em vista ao resultado da temperatura final da pastilha a partir da utilização de cooler convencional, necessitou-se de uma nova abordagem para comparar resultados. Por conta disso, como mostra a Figura 6, nessa etapa, utilizou-se dissipador feito em alumínio que permite a passagem de líquido para o arrefecimento da pastilha, da mesma forma que o experimento anterior o dissipador dourado ficou em contato com a parte fria enquanto o de alumínio encontrou-se posicionado junto a parte quente da Peltier.

**Figura 6 – Dissipador com água**



Fonte: Elaborado pelo autor

Na sequência, o sistema foi montado da maneira apresentada na Figura 7, dentro de um balde com água foi posicionada uma bomba d'água submersa de 1000l/h, essa bomba através de uma mangueira de ¼" circulava a água do balde para a pastilha e retornava para o balde.

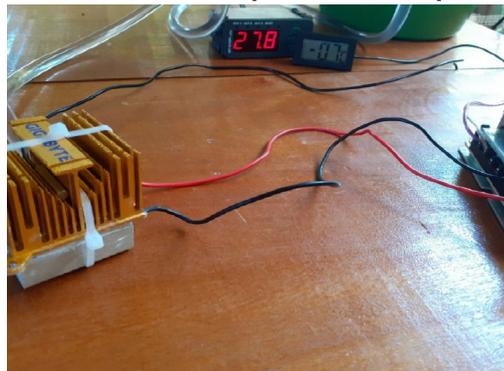
Em síntese o funcionamento do sistema do experimento é bem simples, agora referente a parte elétrica do mesmo, foi dividida da seguinte forma, a pastilha foi conectada a uma fonte de 12V 20A, a bomba ligada em 110V, o termostato de display vermelho tem apenas como objetivo informar em tempo real a temperatura da água dentro do recipiente enquanto o termostato menor marca a temperatura do dissipador dourado que está diretamente em contato com a Peltier, em ambos os lados da mesma utilizou-se pasta térmica para uma melhor condutividade de calor.

**Figura 7 – Temperatura inicial experimento 2**

Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, observa-se que a temperatura inicial da água era de  $25^{\circ}\text{C}$  enquanto no dissipador marcava  $33.6^{\circ}\text{C}$ . Da mesma forma que o experimento anterior, o sistema será ligado e acompanhado por 10 minutos, sendo que ao final desse tempo serão registrados os resultados.

Dando sequência, após o tempo esperado, a temperatura final do dissipador dourado foi de  $-0.7^{\circ}\text{C}$  como mostra a Figura 8, essa temperatura foi atingida logo nos primeiros três minutos, porém essa não se manteve estável, variou desde  $-1.8^{\circ}\text{C}$  até  $1.5^{\circ}\text{C}$ . Mesmo com pequena variação o resultado foi promissor em relação ao experimento anterior com o cooler.

**Figura 8 – Resultado temperatura do experimento 2**

Fonte: Elaborado pelo autor

É importante relatar a temperatura da água que tem como função resfriar o lado quente da pastilha, essa sofreu um aumento de  $1.8^{\circ}\text{C}$ , mas levando em consideração a temperatura ambiente, o aumento da temperatura do líquido ainda não significa um problema. Porém, quando o sistema tiver que funcionar por um

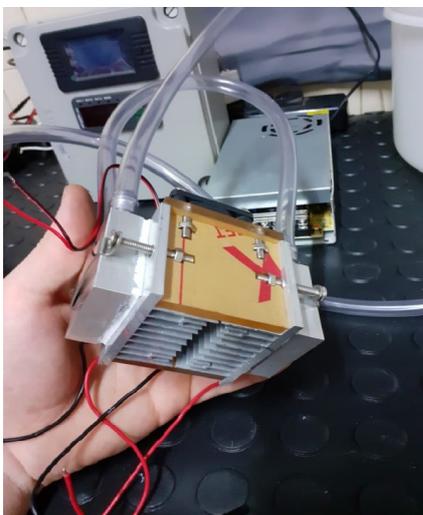
período maior, algo deverá ser feito como medida para evitar que essa temperatura suba sem regulação. Em decorrência disso, construiu-se uma estrutura com um condensador com uma tubulação  $\frac{1}{2}$ ", acoplado unido a uma ventoinha de exaustão, desse modo, conectou-se a mangueira de retorno d'água na entrada da serpentina, fazendo a água circular por ela até que retorne ao reservatório com a bomba. Em poucos minutos de funcionamento, nota-se que a temperatura da água do recipiente se eleva rapidamente até atingir a temperatura ambiente, pois o líquido que ali circula absorve a temperatura juntamente impulsionada pela ventoinha.

Com esse resultado, pode-se concluir que esse sistema de refrigeração da água do circuito pode ficar desativado, mas com um sensor termostato que, quando detectar o aumento da temperatura do líquido do sistema, inicia a circulação através da serpentina, podendo assim, a partir de um *set point*, evitar o aquecimento prematuro da água que arrefece as peltier.

#### 4.3 RESFRIAMENTO DA PASTILHA EM PARALELO EM MEIO LIVRE

Após uma busca minuciosa pela internet, foi encontrado um sistema vendido na China que cumpre com os requisitos desejados. Por aproximadamente 150 reais, o item foi importado. Ele é constituído por duas pastilhas peltier com um sistema de resfriamento utilizando dissipadores de água para obter maior eficiência, mostrado na Figura 9, e ambas conectadas aos dissipadores de alumínio com um cooler para potencializar a troca de calor com o ambiente.

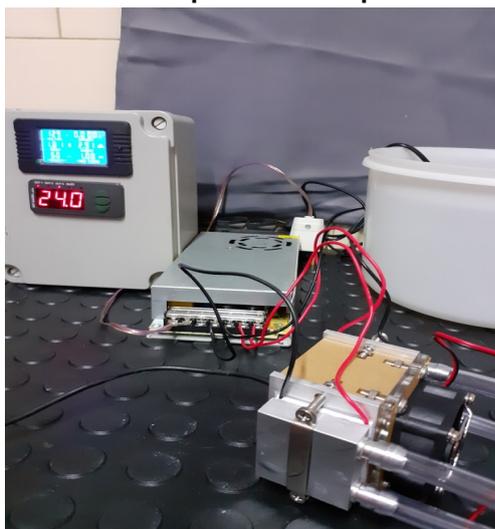
**Figura 9: Dispositivo com peltier de dissipação eficiente**



Fonte: Elaborado pelo autor

Desse modo, no primeiro teste todo o sistema foi ligado em paralelo, as temperaturas iniciais foram registradas no início do teste apresentado na Figura 10, a qual é de 24°C e, será realizada uma nova aferição ao final de 10 minutos de teste.

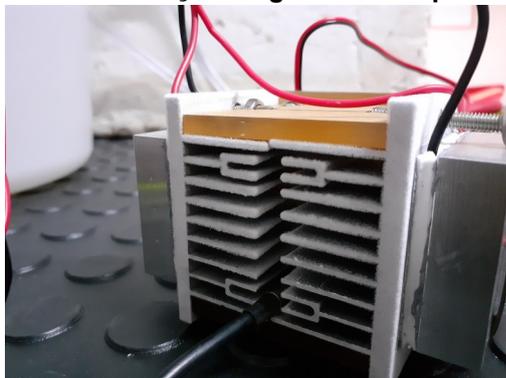
**Figura 10 – Temperatura inicial no centro dos dissipadores secos com pastilhas em paralelo**



Fonte: Elaborado pelo autor

A potência do sistema funcionando permaneceu em torno dos 161W. Notou-se uma queda brusca de temperatura logo de início, aos 5 minutos de execução do experimento. É possível observar na Figura 11 a formação de gelo nos dissipadores, em que no momento da imagem, a temperatura era de -2°C.

**Figura 11 – Formação de gelo no dissipador seco**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se na Figura 12 que no final dos 10 minutos, contatou-se a temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  nos dissipadores e uma potência estável de consumo do sistema de 152W.

**Figura 12 – Temperatura final dos dissipadores seco em paralelo**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Importante salientar que a temperatura ainda estava caindo, porém, como o critério de avaliação foi determinado 10 minutos de teste, esse encerrou-se por ali, mas se ele fosse mais extenso obter-se-iam temperaturas ainda menores.

#### 4.4 PASTILHA PELTIER EM PARALELO NA CAIXA DE ISOPOR

Visto o desempenho do sistema no teste realizado anteriormente, utilizou-se uma caixa de isopor na qual foi montado o mesmo sistema dentro da caixa, e, assim como o anterior, o teste terá um tempo de duração de 10 minutos.

A temperatura inicial interna da caixa relatada foi de  $36^{\circ}\text{C}$ , enquanto a temperatura no núcleo do dissipador era de  $28.4^{\circ}\text{C}$ , apresentado na Figura 13.

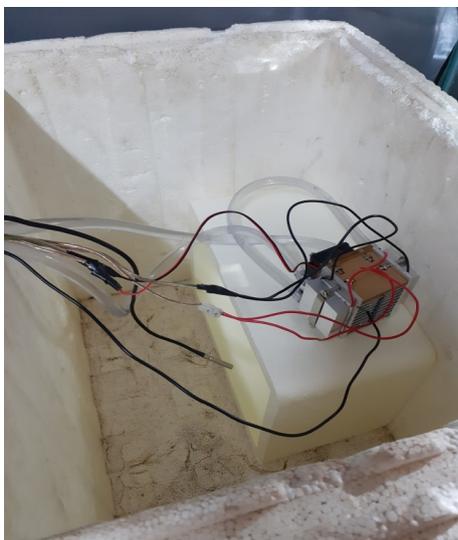
**Figura 13 – Temperaturas iniciais do sistema em paralelo na caixa**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como mostra a Figura 14, o sistema foi posicionado no centro da caixa com um termômetro registrando a temperatura diretamente dos dissipadores da pastilha e outro localizado livre na caixa, que foi devidamente fechada e isolada termicamente, para assim iniciar do teste.

**Figura 14 – Montagem interna do experimento**



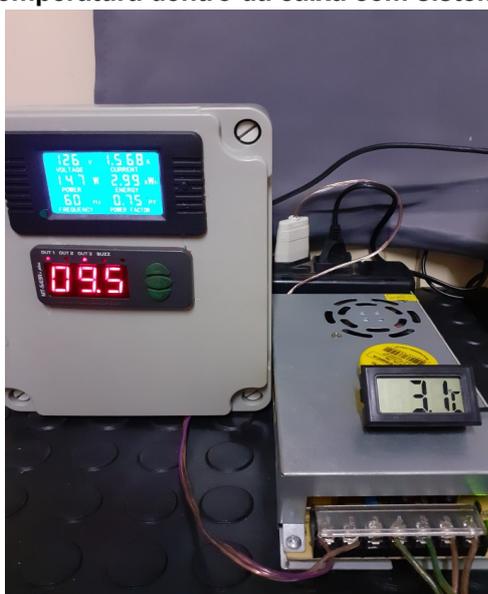
Fonte: Elaborado pelo autor.

O consumo do sistema se mantém em 147W. Poucos minutos depois, percebe-se uma grande queda de temperatura, lembrando que junto aos dissipadores das pastilhas existe um mini cooler, que ajuda na troca de calor com o meio interno da caixa térmica.

Após o tempo do teste, nota-se a temperatura final da caixa na casa dos  $9.5^{\circ}\text{C}$ , uma perda de  $26.5^{\circ}\text{C}$  em um tempo relativamente curto, levando em consideração tal sistema.

Um ponto importante a ser destacado, como evidenciado na Figura 15, a temperatura interna do recipiente foi de  $9.5^{\circ}\text{C}$ , porém, a temperatura no centro dos dissipadores registrava temperatura de  $3.1^{\circ}\text{C}$ . Ou seja, a temperatura da caixa tende a se igualar com a temperatura resultante da troca de calor das pastilhas. Com mais tempo de teste, teríamos temperaturas mais baixas no interior da caixa, possivelmente chegando a um número negativo.

**Figura 15 – Temperatura dentro da caixa com sistema em paralelo**



Fonte: Elaborado pelo autor.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ao final dos testes mostrados acima, foi possível observar que as pastilhas peltier tem grande potencial de resfriamento levando em conta seu tamanho. Sendo assim, se torna viável sua utilização em aparelhos de resfriamento de ar, porém com apontamentos, já que os testes foram realizados em escala reduzida, encontra-se dois cenários viáveis: o primeiro é o sistema ligado em série resfriando a caixa de isopor, esse é o mais eficiente e consegue atingir temperaturas baixas rapidamente,

mas, com um consumo elevado, em torno de 150W, já o segundo sistema é em série, e, mesmo apresentando desempenho um pouco inferior ao teste em paralelo, ainda sim é viável para resfriamento e o mais importante é que este tem um consumo relativamente reduzido em comparação ao anterior, ficando na casa dos 68W.

Supondo que o teste seja realizado em escala real, seriam utilizados pelo menos 5 sistemas de resfriamento contendo 10 peltier e mais uma para resfriar o reservatório de água. Em série o consumo ultrapassaria os 700W, o que já deixaria questionável a relação do consumo e economia, a não ser que o local conte com sistema de geração própria, como, por exemplo, um sistema fotovoltaico. No quesito extinção do gás refrigerante, o sistema com pastilha se mostrou 100% viável.

Portanto, foi possível concluir que há uma viabilidade – variável – na utilização das pastilhas térmicas em relação a refrigeração, sendo completamente viável na substituição do gás refrigerante, porém, a redução de consumo dependerá do tamanho do sistema a ser montado. Mas, de forma geral, existe uma redução em comparação a aparelhos de ar-condicionado comuns. Na questão resfriamento em espaços pequenos, tal qual foram realizados os experimentos do presente trabalho, se mostram extremamente eficientes, dando um resultado muito significativo dentro de um curto período de tempo, possibilitando a abertura de novos estudos para diversas finalidades de resfriamento, comportando testes até mesmo com temperaturas negativas.

## REFERÊNCIAS

ADIAS, AR-CONDICIONADO. **Afinal, o que são fluidos refrigerantes de ar-condicionado?**. 19 de fev. de 2018. Disponível em: <<https://blog.adias.com.br/afinal-o-que-sao-fluidos-refrigerantes-de-ar-condicionado/#>>. Acesso em 08 e set. de 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Ações brasileiras para a proteção da camada de ozônio**. Brasília: MMA, 2014. 144 p.

MOUTINHO, Paulo. **Biodiversidade e Mudança Climática: sob um Enfoque Amazônico**. Separata de: BIOLOGIA da Conservação: Essências. 1. ed. São Paulo: Rima, 2006. v. 1, cap. 5, p. 119.

SANTOS, R. A., FREITAS, D. D. DE, SILVA, S. J. DA, JOSÉ, M. **Principais características das pastilhas de efeito peltier**. 2019. 17 p. Monografia (Mestrado em Eng. Elétrica) - Uni Drummond. São Paulo.

**INTRODUÇÃO AO EFEITO PELTIER**. Danvic, 2020. Disponível em: <[peltier.com.br](http://peltier.com.br)>. Acesso em 10 de set. de 2023.

**ENGENHBUS: AR CONDICIONADO E CAPACIDADE DE CONFORTO PERFEITO**. Unibusrn, 2016. Disponível em: <<https://unibusrn.com/2016/10/02/engenhbus-ar-condicionado-e-capacidade/>>. Acesso em 11 de set. de 2023.

**VOCÊ PODE ME EXPLICAR UM POUCO MAIS SOBRE A TEORIA DAS PASTILHAS TERMOELÉTRICAS?**. Danvic, 2020. Disponível em: <<http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq>> Acesso em: 17 de set de 2023.

MATEDE, H. **Diferenças entre circuito série e paralelo**, 2021. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/diferencas-entre-circuito-serie-e-paralelo/>. Acesso em 16 de set. de 2023.