

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

Tasciano Elieser Rodrigues Freitas

**APLICAÇÕES DA PLACA PELTIER PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS
DE FEIRAS DE CIÊNCIAS**

Bagé - RS

2023

Tasciano Elieser Rodrigues Freitas

APLICAÇÕES DA PLACA PELTIER PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE
FEIRAS DE CIÊNCIAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Licenciatura em
Física da Universidade Federal do Pampa,
como requisito parcial para obtenção do
Título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Fernando
Teixeira Dorneles

Coorientador: Prof. Dr. Wladimir
Hernandez Flores

Bagé - RS

2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

F862a Freitas, Tasciano Elieser Rodrigues

Aplicações da Placa Peltier para Desenvolvimento de Projetos de Feiras de Ciências / Tasciano Elieser Rodrigues Freitas.

66 p.

Trabalho de Conclusão de Curso II (Graduação) -- Universidade Federal do Pampa, FÍSICA, 2023.

"Orientação: Pedro Fernando Teixeira Dorneles".

1. Placa Peltier. 2. Criação de material didático. 3. Feiras de Ciências. 4. Termoelétrica. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

TASCIANO ELIESER RODRIGUES FREITAS

APLICAÇÕES DA PLACA PELTIER PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE FEIRAS DE CIÊNCIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Licenciado em Física.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: **13 de dezembro de 2023.**

Banca examinadora:

Prof. Dr. Pedro Fernando Teixeira Dorneles

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Dr. Cristiano Corrêa Ferreira

UNIPAMPA

Prof. Dr. Demétrius William Lima



Assinado eletronicamente por **PEDRO FERNANDO TEIXEIRA DORNELES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2023, às 08:14, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **DEMETRIUS WILLIAM LIMA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2023, às 08:32, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CRISTIANO CORREA FERREIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2023, às 09:11, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1334392** e o código CRC **D7FE2F4C**.

Referência: Processo nº 23100.025631/2023-11 SEI nº 1334392

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre as aplicações da placa Peltier controlada pela placa microcontroladora ESP32, no desenvolvimento de projetos para Feiras de Ciências. A placa Peltier, também conhecida como termoelétrica, é um dispositivo semiconductor que permite o controle de temperatura através do efeito Peltier. A pesquisa foi conduzida com o objetivo de investigar as possibilidades e limitações da utilização dessa tecnologia em projetos científicos apresentados em feiras escolares. A revisão bibliográfica inicial abordou os princípios de funcionamento da placa Peltier, explorando os conceitos físicos que regem o efeito termoelétrico, a versatilidade da placa microcontroladora ESP32 e métodos para criação de material didático. Além disso, foram analisados trabalhos prévios que empregaram essas tecnologias em diversas áreas, como eletrônica, refrigeração, automação e energia. Tal revisão mostrou que a placa Peltier é uma ferramenta versátil com potencial para diversas aplicações. Após os estudos realizados sobre a placa Peltier, foram conduzidos diversos testes de eficiência da mesma. Nos capítulos, estão apresentados os resultados obtidos, as formas de montagem do aparato experimental e as justificativas para a montagem e os resultados, os quais evidenciam a potencialidade de monitoramento de temperatura e controle remoto da placa. No entanto, não foi possível atingir temperaturas próximas de zero graus celsius, como era um dos objetivos iniciais. Assim, essa limitação, encontrada no presente trabalho, tem potencial de se tornar objeto de pesquisas futuras.

Palavras-Chave: placa Peltier, microcontroladora ESP32, criação de material didático, feiras de ciências, termoelétrica.

ABSTRACT

This work presents a study on the applications of the Peltier plate controlled by the ESP32 microcontroller board in the development of projects for Science Fairs. The Peltier plate, also known as a thermoelectric plate, is a semiconductor device that allows temperature control through the Peltier effect. The research was conducted with the aim of investigating the possibilities and limitations of using this technology in scientific projects presented at school fairs. The initial literature review covered the operating principles of the Peltier plate, exploring the physical concepts governing the thermoelectric effect, the versatility of the ESP32 microcontroller board, and methods for creating educational material. In addition, previous works that employed these technologies in various areas such as electronics, refrigeration, automation, and energy were analyzed. This review showed that the Peltier plate is a versatile tool with the potential for various applications. After conducting studies on the Peltier plate, various efficiency tests were carried out. The results obtained, the assembly methods of the experimental apparatus, and the justifications for the assembly and the results are presented in the chapters, highlighting the potential for temperature monitoring and remote control of the plate. However, it was not possible to achieve temperatures close to zero degrees Celsius, as was one of the initial objectives. Thus, this limitation, found in the present work, has the potential to become the subject of future research.

Keywords: Peltier plate, ESP32 microcontroller, creation of educational material, science fairs, thermoelectric.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição de uma pastilha termoeétrica	17
Figura 2 – Modelo de ligação eletrônica para a condução elétrica no silício intrínseco: (a) antes da excitação; (b) e (c) após a excitação (os movimentos subsequentes do elétron livre e do buraco em resposta a um campo externo)	18
Figura 3 – Placa ESP32 DEVKIT (30 pinos)	19
Figura 4 – Semicondutor tipo p e n.....	38
Figura 5 – Junção tipo pn	38
Figura 6 – Corrente elétrica gerada através de um campo elétrico.....	39
Figura 7 – a) Modo de resfriamento; b) Modo de aquecimento.....	41
Figura 8 – Ligação dos componentes na protoboard	46
Figura 9 – Dissipadores de calor utilizados no sistema	48
Figura 10 – Fonte estabilizada LFE 123	49
Figura 11 – Fonte de alimentação	49
Figura 12 – Configuração 0	51
Figura 13 – Configuração 1 – a) Adição do cooler lado interno; b) Adição do cooler lado externo	52
Figura 14 – Resultado obtido com a Configuração 1	54
Figura 15 – Configuração 1	55
Figura 16 – Resultado obtido com a configuração 2	56
Figura 17 – Configuração 3	57
Figura 18 – Resultado obtido com a Configuração 3	58
Figura 19 – Código original	59
Figura 20 – Código modificado	60
Figura 21 – Indicação do sistema desligado	61
Figura 22 – Indicação do sistema ligado	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fontes consultadas e demarcação temporal	24
Quadro 2 – Categorização dos trabalhos analisados	26
Quadro 3 – Etapas de desenvolvimento do trabalho	36
Quadro 4 – Componente figura 8	47

LISTA DE ABREVIATURAS

cap. – capítulo

col. – colaborador

coord. – coordenador

et al. – et alii

f. – folha

jr. – júnior

n. – número

org. – organizador

p. – página

rev. – revista

s.d. – sem data

TCC I – Trabalho de Conclusão de Curso I

TCC II – Trabalho de Conclusão de curso II

V – volt

E – tensão elétrica

v – volume

I – intensidade da corrente elétrica

Q – calor Peltier trocado

α - coeficiente Peltier

LISTA DE SIGLAS

BLE – Bluetooth Low Energy
Dem – Departamento de Engenharia Mecânica
DiY – Faça Você Mesmo (Do It Yourself)
ESP32 – Microcontrolador da Espressif Systems
FNC – Feira Nacional de Ciências
HTML - Hypertext Markup Language
HTTP - HyperText Transfer Protocol
IBECC – Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura
IoT – Internet das Coisas
ISSN – International Standard Serial Number
LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A
MAM – Museu de Arte Moderna
MEC – Ministério da Educação
PWM – Modulação por Largura de Pulso
RS – Rio Grande do Sul
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFS – Universidade Federal de Sergipe
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos
UFU – Universidade Federal de Uberlândia
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
MDF – Medium Fiberboard
CC – Corrente Contínua
DC – Direct Current
CA – Corrente Alternada
AC – Alternating Current
3D – Três Dimensões
d.d.p – diferença de potencial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Placa Peltier	14
3.1.2 Microcontrolador ESP32	16
3.1.3 Feiras de Ciências	18
4 REVISÃO DE LITERATURA	22
4.1 Sites e revistas pesquisadas	22
4.1.1 Pesquisa	22
4.1.2 Categoria Experimental/Teórico	25
4.1.3 Categoria Experimental	27
4.1.4 Categoria Teórico	29
5 METODOLOGIA	32
5.1 A Física envolvida na placa Peltier	33
5.1.1 Semicondutores	34
5.1.2 Corrente e Tensão	36
5.1.3 Calor e Temperatura	39
5.1.4 Transferência de calor em uma placa Peltier	40
5.1.5 Equilíbrio térmico	41
5.1.6 Eficiência da placa Peltier	41
5.1.7 Taxa de calor absorvido ou rejeitado pela placa Peltier	41
5.1.8 Construção da caixa	42
5.1.9 Ligação da placa Peltier	43
6 RESULTADOS	47
6.1 Apresentação e discussão dos dados obtidos	47
6.1.2 Configuração 0	47
6.1.3 Configuração 1	49
6.1.4 Configuração 2	51
6.1.5 Configuração 3	53
6.1.6 Controlando a placa Peltier com outra internet	55
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Feiras de Ciência são eventos marcantes na vida dos estudantes da Educação Básica e um atraente espaço de divulgação científica, mas também é um forte indutor de atividades autônomas de pesquisa científica e tecnológica. Integra e anima alunos, professores e famílias, promovendo uma educação para a ciência em que a apropriação do conhecimento ocorre através da investigação científica em busca de soluções para problemas do cotidiano ou de interesse mais geral (PAVÃO; LIMA, 2019).

Bastante populares durante a década de 1990, as Feiras de Ciências estudantis têm uma tradição de mais de sete décadas, acontecendo no Brasil e América Latina desde a década de 1960 como uma oportunidade para estudantes apresentarem suas produções científicas escolares a um público diverso daquele que compõe o ambiente de suas salas de aula (BRASIL, 2006; HARTMANN e ZIMMERMANN, 2009). Do ponto de vista metodológico, as Feiras de Ciências estimulam o aprofundamento dos estudos realizados em sala de aula e promovem a busca de novos conhecimentos; oportunidade de proximidade com a comunidade científica; espaço para a iniciação científica; desenvolvimento do espírito criativo; discussão de problemas sociais e integração escola-sociedade (MIRANDA NETO *et al.*, s.d.).

As Feiras de Ciências são eventos que buscam incentivar a curiosidade e o interesse dos estudantes pela ciência e tecnologia. Nesse contexto, a utilização de tecnologias inovadoras pode contribuir para o desenvolvimento de projetos mais atrativos e relevantes para o público-alvo. Entre essas tecnologias, destaca-se a placa Peltier, um dispositivo termoelétrico que permite a geração de diferenças de temperatura a partir de intensidades de correntes elétricas.

Em 1834, o físico Jean Charles Athanase Peltier descobriu que o calor pode ser gerado ou absorvido de acordo com o sentido que a intensidade de corrente elétrica passa entre os metais, assim criando o efeito Peltier (FIALHO,2008).

Placas de efeito Peltier, também conhecidas como pastilhas termoelétricas utilizam o efeito resfriador ou aquecedor ao se fazer passar corrente elétrica contínua por dois condutores. Com uma voltagem aplicada entre os polos, cria-se um diferencial de temperatura entre as faces opostas da placa. Basicamente, as pastilhas são formadas por semicondutores (materiais os quais possuem uma resistência

situada entre a dos materiais condutores e isolantes) do tipo-p e tipo-n. Esses elementos semicondutores são soldados entre duas placas cerâmicas, eletricamente em série e termicamente em paralelo (FIALHO,2008).

O uso da placa Peltier para o desenvolvimento de projetos de feiras de ciências é uma área promissora de pesquisa, pois permite a criação de soluções criativas e eficientes para problemas relacionados ao controle térmico de sistemas. No entanto, apesar do potencial dessa tecnologia, ainda há poucos estudos que exploram suas aplicações específicas para feiras de ciências.

2 OBJETIVOS

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral investigar as aplicações da placa Peltier para o desenvolvimento de projetos de feiras de ciências. Os objetivos específicos, são:

- analisar as possibilidades de uso da placa Peltier, a partir de uma revisão da literatura, em diferentes temas de projetos para feiras de ciências;
- identificar os principais desafios enfrentados na utilização da placa Peltier em projetos de automação;
- desenvolver e avaliar um protótipo de aparato experimental capaz de ser utilizado como tecnologia central para a solução de problemas abordados em projetos de feiras de ciências (reservatório para armazenamento de remédios, refrigerador de latas, mini estufa de germinação, entre outros).

Para atingir esses objetivos, realizamos uma revisão bibliográfica sobre as aplicações da placa Peltier, com foco em projetos de feiras de ciências. Além disso, realizamos experimentos práticos para avaliar as possibilidades e limitações dessa tecnologia em diferentes contextos. A metodologia foi baseada nos trabalhos de Oliveira *et al.* (2022), Kimura (2010) e Ferreira *et al.* (2019), os quais destacam as características de um material didático e sugerem etapas para o desenvolvimento do material. Seguindo as etapas apresentadas, esperamos além do desenvolvimento do aparato experimental a redação de um artigo para a Revista Física na Escola.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão discutidos os principais aspectos relacionados ao funcionamento da placa Peltier, do microcontrolador ESP32 e da importância das feiras de ciências. Será apresentado um embasamento teórico que servirá para a compreensão das aplicações dessas tecnologias no desenvolvimento de projetos de feiras de ciências e seu impacto no ensino de física.

3.1 Placa Peltier

Uma placa Peltier consiste em dois semicondutores, os materiais semicondutores são do tipo n e do tipo p e são assim chamados porque possuem mais elétrons do que o necessário para completar a estrutura molecular ou rede cristalina perfeita (tipo n) ou não possuem elétrons suficientes para completar a rede cristalina (tipo p) (VOLPE, 1992). Dopados de forma oposta, geralmente materiais como telúrio de bismuto (Bi_2Te_3) ou silício-germânio (SiGe), que operam com base no princípio do efeito Peltier, descoberto pelo físico Jean Charles Athanase Peltier em 1834. Estes materiais possuem propriedades termoelétricas, como o coeficiente de Seebeck, que está associado à geração de uma diferença de potencial elétrico quando uma diferença de temperatura é aplicada.

Materiais semicondutores, são materiais que possuem baixa condutividade elétrica. Esses elementos estão entre os condutores e isolantes, e são capazes de mudar sua condição de condução elétrica com facilidade. Possuem algumas características elétricas únicas que os torna extremamente úteis. As propriedades elétricas desses materiais são extremamente sensíveis à presença de mínimas concentrações de dopantes (Callister, 2002).

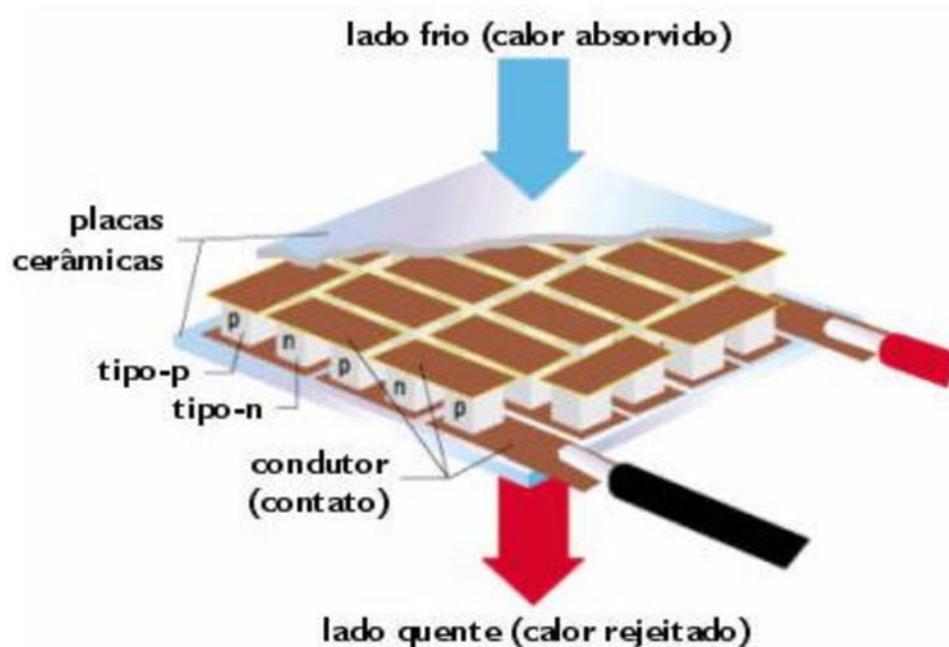
Os semicondutores extrínsecos, quando as características elétricas são determinadas por átomos de impurezas (tanto do tipo n, como do tipo p) são produzidos a partir de materiais que, inicialmente, são de alta pureza, geralmente contendo teores totais de dopantes da ordem de 10^{-7} em percentual atômico. Concentrações controladas de doadores e receptores específicos são então adicionadas intencionalmente. Tal processo de formação de ligas em materiais semicondutores é chamado de dopagem (Berger, 2013).

Quando uma corrente elétrica é aplicada à placa de Peltier, elétrons e lacunas de semicondutores dopados inversamente passam através dos semicondutores. Este

fluxo de cargas resulta em transferência de calor. Na junção por onde a corrente entra, chamada junção fria, ocorre o resfriamento devido à absorção de calor. Na junção oposta, chamada junção quente, ocorre o aquecimento devido à geração de calor.

Esse fenômeno permite que a placa Peltier seja usada tanto para resfriamento quanto para aquecimento controlado. Os elétrons em excesso no material tipo n e as lacunas deixadas no material tipo p são chamados de portadores de carga e são os agentes que transferem energia (calor) da superfície fria para a superfície quente (VOLPE, 1992). As transições da termoeletrônica típica podem ser melhor ilustradas na (Figura 1) a seguir:

Figura 1 – Composição de uma pastilha termoeletrica

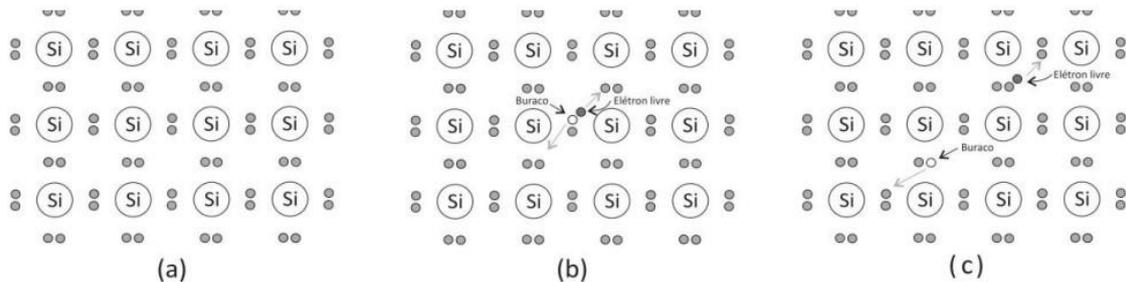


Fonte: DANVIC LTDA, 2023

Em semicondutores reais, para cada elétron excitado para a banda de condução há a falta de um elétron em uma das ligações covalentes, ou no circuito da barra está em um estado vazio na banda de valência (Callister, 2002). Quando um campo elétrico atua sobre um retículo cristalino, a posição do elétron que está ausente na ligação incompleta pode ser considerada como se estivesse se movendo de forma semelhante aos outros elétrons de valência que preenchem essa ligação (Figura 2). Para facilitar a compreensão desse processo, o elétron ausente na banda de valência é tratado como um buraco, uma partícula com carga positiva. O buraco é considerado

ter uma carga de magnitude igual à de um elétron, mas com sinal oposto. Assim, como pode ser observado na figura 2b, na presença de um campo elétrico, os elétrons excitados e as lacunas se movem em direções opostas. Além disso, nos semicondutores, tanto os elétrons quanto as lacunas são dispersos pelas imperfeições no retículo (Callister, 2002).

Figura 2 – Modelo de ligação eletrônica para a condução elétrica no silício



Fonte: Adaptado de Callister (2002)

Uma das vantagens de usar pastilhas Peltier é que, ao mudar a direção da corrente, o lado frio esquenta enquanto o lado quente esfria, facilitando a mudança de temperatura sem que seja necessário alterar a montagem do sistema, se necessário. Além disso, a refrigeração é silenciosa e as pastilhas têm vida útil ilimitada, desde que sejam respeitados os limites de temperatura do lado quente. Um possível problema é que se o calor do lado quente não for bem dissipado e atingir a temperatura de 100°C, a placa Peltier irá derreter (RICHMOND, 2014).

Como vimos, a placa Peltier tem um grande potencial para ser trabalhada em projetos com os alunos; no entanto, precisamos de um cérebro para controlá-la, e um dos componentes que podemos utilizar para fazer esse controle é a placa microcontroladora ESP32.

3.1.2 Microcontrolador ESP32

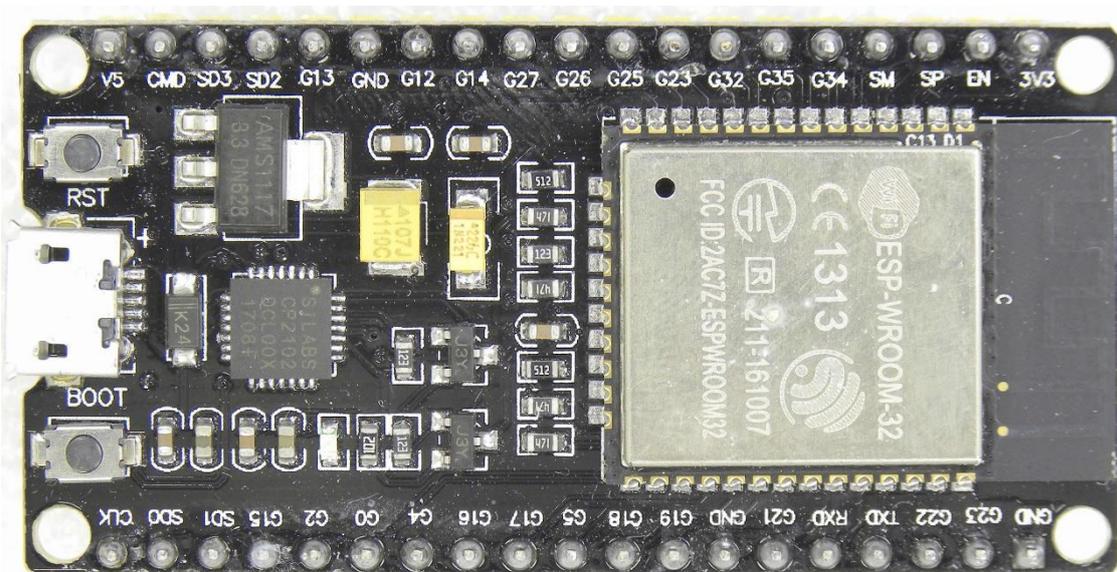
O ESP32 é um microcontrolador de baixo custo e alta performance, projetado especialmente para aplicações de Internet das Coisas (IoT). Ele possui uma arquitetura poderosa, com um processador dual-core e suporte para conexão Wi-Fi e Bluetooth. Isso significa que o ESP32 pode se comunicar com outros dispositivos e se conectar à internet, permitindo que você crie projetos incríveis e conectados como

uma estação meteorológica, automação residencial e fechaduras elétricas através do ESP32¹.

Imagine que você está no comando de uma casa inteligente, onde cada dispositivo eletrônico é controlado por um pequeno cérebro. Esse cérebro é o microcontrolador, e ele executa comandos e toma decisões para garantir que tudo funcione corretamente. O ESP32 é um desses microcontroladores, e ele é realmente especial.

Composto por um microprocessador de 32 bits e baixo consumo de energia, o módulo ESP32 desenvolvido pela empresa chinesa Espressif Systems é um microcontrolador do tipo Arduino e possui conectividade WiFi e Bluetooth integrada, tornando-o uma solução perfeita para aplicações em dispositivos IoT (MAIER, SHARP, & VAGAPOV, 2017; ESPRESSIF SYSTEMS, 2021). As características mais importantes do módulo ESP32 são: baixo consumo de energia, alto desempenho, amplificador de baixo ruído, robustez, versatilidade, confiabilidade e baixo preço em comparação com outros módulos WiFi (ESPRESSIF SYSTEMS, 2021; ALBERGARIA, 2020). A figura 3 ilustra a placa ESP32.

Figura 3 – Placa ESP32 DEVKIT (30 pinos)



Fonte: ELETROGATE, 2022

Uma das principais vantagens do ESP32 é a ampla gama de opções de conexão. Ele suporta Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE) e pode atuar tanto como

¹ Os quais podem ser acessados pelo site <https://www.usinainfo.com.br/blog/esp32/>.

cliente quanto como ponto de acesso. Segundo Curvell (2018), “a combinação de Wi-fi e Bluetooth no ESP32 permite que ele se conecte à Internet e se comunique com outros dispositivos como smartphones e sensores”.

O ESP32² possui uma ampla gama de interfaces e periféricos, tornando-o altamente versátil para uma variedade de aplicações. Inclui interfaces GPIO, SPI, I2C, UART, ADC e DAC, permitindo a conexão com uma ampla gama de sensores e atuadores. Segundo Santos et al. (2019, p. 23), “a versatilidade do ESP32 é uma vantagem significativa para o desenvolvimento de projetos de IoT, pois pode ser facilmente adaptado às necessidades específicas de cada aplicação”.

3.1.3 Feiras de Ciências

As feiras de ciências são eventos nos quais os estudantes têm a oportunidade de explorar, experimentar e compartilhar suas descobertas científicas com colegas e professores. É uma forma emocionante de mergulhar no mundo da ciência de uma maneira prática e divertida.

Imagine que as feiras de ciências são como uma grande vitrine, em que cada projeto é uma joia brilhante, pronta para ser admirada e compartilhada com todos. Ao participar de uma Feira de Ciências, Maturana defende a importância de se trabalhar com aquilo que chama a atenção do estudante e criar um experimento para responder a uma pergunta científica.

Na ocasião de outubro de 1960, a filial paulista do IBICC organizou o pioneiro evento de ciências no Brasil, localizado na área central de São Paulo, na Galeria Prestes Maia (Trabalhos de, 1969). Nos anos subsequentes, essas feiras se disseminaram por várias regiões do estado de São Paulo e também por outros estados, tais como Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Pernambuco, marcando o início do movimento das feiras de ciências. Esse movimento consistia em um conjunto de iniciativas que visam promover a divulgação científica e a organização de feiras, englobando a participação de professores de ciências, estudantes envolvidos em

² Caso você tenha interesse em saber mais sobre o dispositivo e aprender a utilizá-lo de forma eficaz, recomendamos acessar os seguintes links: <http://esp32.net/>; <https://www.esp32.com/viewforum.php?f=23&sid=616c53acc851447061181ef88ffab24f>. Nesses recursos, você encontrará informações detalhadas sobre as configurações, técnicas de operação e práticas recomendadas para tirar o máximo proveito desse dispositivo. São fontes confiáveis e atualizadas, que fornecerão orientações específicas para diferentes níveis de experiência.

clubes de ciências, educadores, meios de comunicação, além de contar com apoio financeiro tanto público quanto privado, além da colaboração direta de instituições governamentais e empresas norte-americanas. Em 1968, a filial carioca do IBCEC seguiu os passos da filial paulista e, em colaboração com a Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado da Guanabara (SCT), realizou a I Mostra Estudantil da Guanabara no Museu de Arte Moderna (MAM) (II MOSTRA, 1969).

No mês de setembro de 1969, ocorreu a primeira edição da Feira Nacional de Ciências (I FNC) na cidade do Rio de Janeiro. Essa iniciativa marcou um importante momento na história do ensino de ciências no Brasil e na divulgação científica, uma vez que a realização de uma Feira Nacional trouxe grande visibilidade ao processo de introdução desse tipo de atividade pedagógica no contexto educacional do país (cf. BRASIL, 2006; BURLAMAQUI, 2018).

As feiras de ciências caracterizam-se como eventos que ocorrem nas escolas ou na comunidade, com o intuito, durante a exposição dos trabalhos, de criar um diálogo com os visitantes e uma discussão sobre os saberes, metodologias de pesquisa e criatividade dos alunos participantes (Mancuso, 2000). Segundo Henning (1986, p. 29), as Feiras de Ciências são uma oportunidade para os alunos se envolverem em projetos de investigação científica e posteriormente apresentarem os resultados alcançados.

Um dos principais objetivos da Feira de Ciências é ter uma intencionalidade didática, que se caracteriza por intervenções realizadas antes e durante o evento. O professor e os alunos dialogam e discutem previamente, unindo teoria e prática sobre o que será apresentado, com o objetivo de produzir conhecimento. É essencial o comprometimento individual e coletivo para alcançar efetivamente a aprendizagem. Posteriormente, o conhecimento adquirido é mantido e diversos benefícios são obtidos, tais como desenvolvimento pessoal, aprimoramento dos conhecimentos científicos e da comunicação, mudanças nos hábitos e comportamentos, aumento da capacidade crítica, envolvimento e interesse, estímulo à criatividade e à politização dos participantes (QUEIROZ *et al.*, 2017). Além disso, segundo Rosa (1995), a Feira de Ciências também tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento nacional,

promovendo maior interesse nas áreas de Ciências Naturais e Tecnológicas, por meio da criação de um espaço de divulgação e debate de novos conhecimentos científicos.

Para Pereira *et al.* (2000), as Feiras de Ciências são atividades de carácter técnico, cultural e científico que visam criar uma ligação científico-cultural entre alunos do ensino básico (ensino básico e secundário), regularmente matriculados em unidades de ensino públicas e privadas, incluindo acadêmicos de formação científica. Nesse sentido, as Feiras de Ciências são um momento importante pela possibilidade de divulgação da produção científica dos participantes, uma adequada troca de experiências e conhecimentos, o despertar da continuidade dos trabalhos e o aprofundamento teórico-prático de si mesmo. (OAIGEN, 2004).

Segundo Pavão (2006), as feiras de ciências podem cumprir diversas funções, como repetir experimentos realizados em sala de aula, criar exposições para fins de demonstração, estimular o aprofundamento e a busca de novos conhecimentos, proporcionando proximidade com a comunidade científica, como espaço de iniciação científica, para estimular o desenvolvimento do pensamento criativo, para promover a discussão de questões sociais e promover a integração entre escola e sociedade. Porém, é preciso que a feira esteja inserida no currículo, elaborado desde o início do ano letivo, para que o momento da apresentação seja o ponto alto de todo o processo.

Aceitar que a aprendizagem científica pode ser explorada por meio da prática de pesquisa tanto por professores quanto por alunos envolve compreender que ambos podem criar conceitos, interpretações e conhecimentos relacionados aos eventos e fenômenos da existência. Deste ponto de vista, as salas de aula tornam-se um ambiente propício à exploração natural, pois “o que nelas acontece adquire um significado profundo para professores, alunos e sociedade” (CORZO *et al.*, 2004. p.2).

Além do descrito, Silva *et al.* (2018) também acreditam que as feiras também oferecem uma oportunidade para os professores considerar as mudanças no comportamento de seus alunos, sua participação em pesquisas, seu desenvolvimento cognitivo no campo da ciência e/ou tecnologia e sua capacitância de desenvolver habilidades de raciocínio e criatividade. Numa outra abordagem, Farias e Gonçalves (2007) acrescentam que

Os processos/produtos que constituem as Feiras de Ciências apontam para múltiplas relações existentes, demonstram um carácter formativo que se dá em “via de mão dupla”. Ao mesmo tempo que os sujeitos se formam,

desenvolvendo-se profissionalmente, eles formam também num processo incessante, em busca do conhecimento, de uma completude inalcançável, sem aceitação da realidade como algo pronto e acabado (FARIAS; GONÇALVES, 2007, p. 31).

Como vimos, as férias de ciências desempenham um papel fundamental na construção do conhecimento científico dos estudantes, ajudando em diversas habilidades que serão utilizadas durante toda a vida e, principalmente, dentro da sala de aula, para aprender conceitos científicos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão apresentadas descrições do processo de revisão da literatura, incluindo os sites e artigos localizados, o intervalo de anos considerado para cada site e revista, o número de artigos encontrados e uma descrição dos estudos relacionados com aplicações da placa Peltier para desenvolvimento de projetos de feiras de ciências.

4.1 Sites e revistas pesquisadas

Foram utilizadas diversas fontes de buscas acadêmicas renomadas, incluindo o Google Acadêmico, a Web of Science, o Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, a Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia e o Caderno Brasileiro de Ensino de Física (Quadro 1), as buscas abrangeram o período 2013 e 2023. As palavras-chave utilizadas foram "placa Peltier" e "projetos para feiras de ciências". A pesquisa buscou identificar estudos relevantes que abordassem o uso da placa Peltier como recurso tecnológico em projetos científicos direcionados a feiras de ciências.

Quadro 1 – Fontes consultadas

Local de busca	Endereço Eletrônico
Google acadêmico	https://scholar.google.com.br/
Web of Science	https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php/buscaador-primo.html
Catálogo de Teses e Dissertações da Capes	http://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/
Revista brasileira de ensino de ciência e tecnologia	https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect
Caderno brasileiro de ensino de física	https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/index

Fonte: AUTOR

4.1.1 Pesquisa

Da pesquisa foram obtidos 10 artigos. Os artigos estão separados por categorias. Foram criadas três categorias – Experimental/Teórico, Experimental e Teórico – para organizar e classificar os trabalhos encontrados na pesquisa dos artigos sobre placas Peltier e feiras de ciências. A criação dessas categorias se

justifica pela necessidade de agrupar os artigos de acordo com as suas características e abordagens específicas.

A categoria Experimental/Teórico foi estabelecida para os artigos que apresentam uma combinação entre os elementos experimentais e teóricos. Isso significa que esses artigos possuem uma parte prática, baseada em experimentos, e também uma sólida fundamentação teórica. Eles buscam aliar a aplicação prática dos experimentos com os conceitos e princípios teóricos que sustentam seus resultados e conclusões. Essa abordagem híbrida permite uma conexão direta entre a teoria e a prática, enriquecendo o estudo e proporcionando uma compreensão geral.

A categoria Experimental foi criada para os artigos que se concentram exclusivamente na parte prática e experimental. Esses artigos se dedicam a conduzir experimentos, coletar e analisar dados com o objetivo de testar hipóteses e investigar os fenômenos das placas Peltier. A ênfase está na observação direta e na obtenção de evidências concretas, com o intuito de compreender os processos em estudo de forma mais aprofundada. Os artigos classificados nessa categoria contribuem para a validação empírica do efeito Peltier.

Por fim, a categoria Teórico foi estabelecida para os artigos que se dedicam à construção de teorias e modelos conceituais. Esses artigos se concentram na análise crítica, interpretação e síntese de dados e informações disponíveis, com o objetivo de propor novas explicações e compreensões. Os artigos classificados nesta categoria fornecem contribuições teóricas para o desenvolvimento do trabalho que estamos realizando.

Dessa forma, a criação dessas três categorias visa fornecer uma estrutura organizada e clara para os 10 artigos encontrados na pesquisa. Ao agrupar os artigos de acordo com suas características e abordagens específicas, facilita-se a

compreensão e a análise dos resultados obtidos. A seguintes categorias estão ilustradas no quadro 2.

Quadro 2 – Categorização dos trabalhos analisados. (continua)

Artigos	Síntese dos objetivos
Desenvolvimento e avaliação de banho termostático com controle e aquisição por arduino (MONTEIRO; COSTA, 2018). Experimental/Teórico	Construir um banho termostático que funcione em uma faixa de 10° C a 50° C, sendo o aquecimento promovido por resistência elétrica, o resfriamento por pastilhas Peltier e o controle por sistema implementado em Arduino.
Sistema de controle de refrigeração utilizando célula Peltier (BARBOZA; CALHEIRO, 2017). Experimental/Teórico	Sistema de refrigeração é composto por uma caixa metálica que contém quatro células Peltier que tem a função de resfriar um líquido contido em um recipiente ocluso através de um sistema fechado.
Desenvolvimento de um equipamento para refrigeração de latas (JUNIOR; PELIZZARO, 2016). Experimental	Desenvolver um equipamento capaz de efetuar o resfriamento de lata de bebida armazenado com volume aproximado de 350 mL, em um tempo de, aproximadamente, um minuto.
Condicionador de ar por efeito Peltier (MOREIRA; MALAVAZI; MIYAZAKI, 2014). Experimental	Desenvolver um aparelho de ar baseado no efeito Peltier, para resfriar ou aquecer ambientes. Como objetivo trazer benefícios como: baixo consumo, uso de energia renovável resfriamento por pastilha Peltier.
Projeto e construção de um mini refrigerador com pastilhas termoelétricas (KRONBAUER, 2013). Experimental	Projeto e construção de um mini refrigerador com pastilhas termoelétricas, que tem seu funcionamento baseado no efeito Peltier. Outra finalidade é uma avaliação sobre a eficiência das pastilhas e a viabilidade comercial do mini refrigerador.

Quadro 2 – Categorização dos trabalhos analisados. (conclusão)

Artigos	Síntese dos objetivos
Geladeira para transporte de produtos refrigerados (SANTOS, 2018). Experimental	Propõe a construção de um equipamento de resfriamento de produtos que necessitam de um tratamento térmico adequado utilizando uma placa Peltier.
Desenvolvimento de um sistema de condicionamento de ar em escala reduzida utilizando módulos termoeletrônicos (MAESTRELLI, 2015). Teórico	Estudo e desenvolvimento de um sistema de refrigeração de ambientes utilizando uma concepção diferente da atual já tão consagrada. Este sistema utilizará módulos termoeletrônicos de multiuso atualmente muito utilizados na refrigeração de líquidos.
Estudo dos efeitos termoeletrônicos – atividades experimentais e roteiros para ensino (SILVA, 2017). Teórico	Foi realizado um estudo sobre a história e desenvolvimento da termoeletricidade e seus dispositivos, além de uma revisão teórica dos efeitos termoeletrônicos como Seebeck, Peltier e Thomson.
Mini geladeira (MARQUETTI; SANTOS, 2019). Teórico	O projeto principal foi à construção de uma mini geladeira termoeletrica que possibilitou acompanhar integralmente as propriedades estabelecidas na fabricação de um produto que desobedece a lei da natureza, alcançando temperaturas mais baixas que o ambiente.
Utilização do efeito Peltier para resfriamento de ambientes (SILVA, 2021). Teórico	Este trabalho utiliza do efeito Peltier, para resfriar ambientes sem a emissão de gases tóxicos à atmosfera

Fonte: AUTOR

4.1.2 Categoria Experimental/Teórico

Nesta categoria em específico foram agrupados 2 artigos, sendo eles: MONTEIRO e COSTA, 2018 e BARBOZA e CALHEIRO, 2017.

No trabalho de Monteiro e Costa (2018), foi desenvolvido um protótipo de banho termostático de baixo custo para uso em laboratórios de ensino e pesquisa. O objetivo era criar um banho termostático capaz de operar na faixa de temperatura de 10°C a 50°C, com capacidade de aquecimento e resfriamento de 150 W a 900 W e um volume máximo de dois litros de água. O sistema utiliza resistência elétrica para aquecimento, pastilhas Peltier para resfriamento e controle implementado em Arduino com relés. No que diz respeito aos banhos termostáticos, são descritos como equipamentos

utilizados para manter a temperatura constante de um líquido e são compostos por um recipiente, resistências elétricas, sistema de agitação e termostato. Geralmente, esses banhos termostáticos comerciais utilizam água como líquido, mas também podem utilizar outros líquidos com pontos de ebulição mais altos para atingir temperaturas superiores a 80°C. São explicados os conceitos básicos da termodinâmica, incluindo as leis fundamentais e a formulação matemática da primeira lei da termodinâmica para sistemas fechados. Também são abordados os diferentes modos de transferência de calor: condução, convecção, radiação e transferência de calor por mudança de fase. Além disso, é destacada a existência da resistência térmica, que limita o fluxo de calor em um sistema.

Já no trabalho de Barboza e Calheiro (2017) apresenta uma alternativa para o controle de refrigeração, utilizando placas Peltier e controle por arduino. O uso da placa Peltier como sistema de refrigeração apresenta várias vantagens. Primeiramente, ela é um sistema mais eficiente em termos energéticos se comparado aos condicionadores de ar convencionais. Além disso, a placa Peltier é compacta, o que permite sua utilização em espaços reduzidos. Ela também oferece um controle preciso da temperatura, o que é importante para determinadas aplicações, como resfriamento de equipamentos eletrônicos sensíveis ao calor. Outra vantagem é a ausência de fluidos refrigerantes prejudiciais ao meio ambiente, o que torna a placa Peltier uma opção mais sustentável. Além disso, a placa Peltier é silenciosa em operação, o que é uma melhoria em relação aos aparelhos de ar condicionado convencionais. No entanto, também existem algumas limitações no uso da placa Peltier. A transferência de calor realizada por esse dispositivo é menos eficiente em comparação com outros sistemas de refrigeração, o que significa que a placa Peltier pode não ser a melhor opção em situações que requerem resfriamento intenso. Além disso, a placa Peltier gera calor no lado oposto ao que está resfriando, portanto, é necessário garantir uma boa ventilação e dissipação do calor para evitar o superaquecimento.

Os textos compartilham o interesse em explorar e aplicar as pastilhas Peltier em sistemas de controle de temperatura, destacando suas vantagens, como a eficiência energética, a sustentabilidade e a precisão de controle. Além disso, o uso

do Arduino como plataforma de controle é uma abordagem comum, aproveitando sua acessibilidade e flexibilidade para atingir resultados satisfatórios.

4.1.3 Categoria Experimental

Nesta categoria foram agrupados 4 artigos, sendo eles JUNIOR e PELIZZARO, 2016, MOREIRA, MALAVAZI e MIYAZAKI, 2014, KRONBAUER, 2013 e SANTOS, 2018. Em Júnior e Pelizzaro (2016), os autores propõem desenvolver um equipamento para refrigeração de latas de bebidas, com foco em um modelo específico com capacidade para 48 latas. A motivação para esse trabalho surge da dificuldade de refrigerar as bebidas em eventos, especialmente em locais onde o acesso a geladeiras é limitado. Os autores reconhecem que essa situação pode resultar em bebidas servidas quentes, o que é insatisfatório para os consumidores. Para superar esse desafio, eles estabelecem algumas premissas importantes, como a necessidade de manter as latas geladas por pelo menos 4 horas, considerando a duração média dos eventos e a qualidade desejada das bebidas.

No trabalho de Moreira, Malavazi e Miyazaki (2014), o principal objetivo é desenvolver um aparelho de condicionamento de ar baseado no efeito Peltier, capaz de resfriar ou aquecer um ambiente, mantendo uma temperatura confortável de cerca de 23°C, com um consumo de energia elétrica bastante reduzido. Além desse objetivo central, o projeto de Moreira e Miyazaki também tem outros objetivos secundários que merecem destaque. Um deles é a preocupação com a preservação do meio ambiente, buscando utilizar materiais que não causem danos ambientais significativos. Outro objetivo é explorar a possibilidade de alimentar o sistema por meio de energia renovável, o que seria um avanço importante em termos de sustentabilidade. Para embasar o desenvolvimento do aparelho, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente, que analisou o uso do efeito Peltier em sistemas de condicionamento de ar. Nessa revisão, foram avaliadas as vantagens e desvantagens dessa tecnologia em comparação com os modelos convencionais, fornecendo subsídios valiosos para o projeto. Após o desenvolvimento do protótipo, foram realizados experimentos para verificar seu desempenho na prática. Os resultados obtidos foram bastante promissores, mostrando que o aparelho é capaz de resfriar e aquecer o ambiente de forma satisfatória, além de apresentar um consumo energético bastante reduzido.

Para o trabalho de Kronbauer (2013) o objetivo é projetar e construir um mini refrigerador utilizando pastilhas termoelétricas, avaliando sua eficiência e viabilidade

comercial. O refrigerador é composto por dissipadores, coolers internos e externos, e uma pastilha termoelétrica responsável por gerar a diferença de temperatura e refrigerar o protótipo. O isolamento térmico é feito com uma caixa de poliuretano expandido (isopor) para manter a temperatura interna mais baixa que a ambiente. O circuito PWM é utilizado para controlar a velocidade de um motor de corrente contínua sem alterar o torque. As pastilhas termoelétricas utilizam o efeito Peltier para refrigerar ou aquecer. O isolamento térmico é essencial no mini refrigerador para evitar a perda de energia para o ambiente externo. O isopor foi escolhido devido à sua baixa condutividade térmica, porosidade, impermeabilidade e baixo custo. A espessura do isolamento foi determinada com base na diferença de temperatura estimada e o coeficiente de condutividade do isopor. Para dimensionar as pastilhas termoelétricas, foram considerados cálculos da carga térmica total do sistema, levando em conta as dimensões internas da caixa térmica, temperatura ambiente, temperatura desejada e isolamento de isopor.

O mini refrigerador desenvolvido por Kronbauer (2013) utilizando pastilhas termoelétricas demonstrou benefícios como baixa vibração, compatibilidade e ausência de fluido refrigerante prejudicial ao meio ambiente. Essas características tornam o dispositivo uma opção interessante para aplicações específicas, como refrigeradores portáteis para viagens ou uso em veículos.

Em relação à viabilidade comercial do dispositivo desenvolvido por Kronbauer (2013), é necessário realizar análises econômicas mais detalhadas, considerando os custos de produção, o consumo de energia e a demanda de mercado. Além disso, é importante buscar alternativas para reduzir o consumo de energia e aprimorar o desempenho do sistema, tornando-o mais eficiente e competitivo em relação a outras tecnologias de refrigeração.

Já o trabalho de Santos (2018) no contexto da refrigeração por efeito Peltier, foram realizados estudos para melhorar a eficiência na retirada de calor do ambiente. Diferentes métodos de dissipação de calor foram testados, como o uso de dissipadores de calor e coolers mais eficientes. No entanto, os resultados não foram satisfatórios. Um experimento foi realizado utilizando uma lata de refrigerante de alumínio, onde um jato de ar comprimido foi direcionado para dentro da lata, resultando em resfriamento extremo. Com base nesse experimento, foi adotada a estratégia de utilizar as paredes de alumínio na câmara de confinamento do dissipador

e cooler, visando resfriar as aletas do dissipador. Além disso, foi utilizado um sistema de dissipação chamado "heat pipe" (tubo de calor) para transferir calor entre as interfaces quente e fria de forma eficiente.

O produto desenvolvido apresenta potencial para resfriamento eficiente com baixo consumo de energia. A geladeira utiliza a Pastilha de Peltier para obter temperaturas homogêneas em um ambiente restrito e fechado, tornando-a adequada para o transporte de alimentos específicos, órgãos para transplante, entre outros. Além disso, possui a vantagem de ser leve, oferecer grande autonomia devido ao uso de uma bateria de 12 V, e ter a possibilidade de substituição fácil da bateria Santos (2018).

Os projetos descritos a cima destacam a importância da colaboração entre diferentes áreas, como engenharia elétrica, engenharia de materiais e termodinâmica. Essa abordagem interdisciplinar permite o desenvolvimento de dispositivos de refrigeração mais eficientes e inovadores. Reconhecem os desafios e limitações enfrentados no uso do efeito Peltier para refrigeração. Alguns dos desafios incluem a dissipação de calor, a eficiência da transferência de calor e a durabilidade dos materiais utilizados. Os projetos buscam soluções para superar essas limitações e melhorar continuamente o desempenho dos dispositivos.

4.1.4 Categoria Teórico

Para esta categoria foram agregados 4 artigos, sendo eles MAESTRELLI, 2015, SILVA, 2017, MARQUETTI e SANTOS, 2019 e SILVA, 2021.

O trabalho de Maestrelli (2015) se concentra no estudo do efeito Peltier e sua aplicação na refrigeração de ambientes. Primeiramente, foi realizado um estudo aprofundado sobre o efeito Peltier. O objetivo desse estudo foi avaliar a viabilidade desse efeito para a refrigeração de ambientes. O trabalho descreve o desenvolvimento de uma montagem experimental específica para testar o fenômeno de resfriamento termoelétrico, utilizando o efeito Peltier. Essa montagem experimental permitiu testar e avaliar as propriedades termoelétricas dos materiais utilizados, bem como verificar a eficiência do sistema. Por fim, o trabalho realiza uma avaliação abrangente do rendimento e da viabilidade técnica e econômica do sistema desenvolvido. São considerados aspectos como custos, eficiência energética, impacto ambiental e outros fatores relevantes para determinar a viabilidade global do projeto.

Os resultados obtidos permitem uma avaliação completa da viabilidade técnica e econômica do sistema desenvolvido, fornecendo informações valiosas para futuros avanços nessa área.

O trabalho de Silva (2017) nos diz que a utilização de atividades experimentais, especialmente relacionadas aos fenômenos térmicos e à energia, pode contribuir para uma aprendizagem mais efetiva e conectada com a realidade dos alunos. Além disso, o estudo da termoeletricidade e dos materiais termoelétricos é relevante para entender a conversão de energia térmica em energia elétrica e explorar aplicações práticas nesse campo.

No Brasil, a geração de energia elétrica é baseada principalmente em usinas hidrelétricas, mas as usinas termelétricas também desempenham um papel importante na matriz energética. Com o crescimento populacional e a demanda por energia, é necessário buscar fontes de energia renováveis e sustentáveis. O país tem investido em energia renovável, mas ainda há desafios a enfrentar Silva (2017).

No trabalho de Marquetti e Santos (2019) durante o desenvolvimento da mini geladeira, foram consideradas as trocas de calor e o isolamento térmico. O calor pode ser transferido por condução, convecção e irradiação, e materiais isolantes, como caixas térmicas e refrigeradores, foram utilizados para evitar as trocas de calor com o ambiente. A compreensão desses princípios é importante na área de transferência de calor. A termodinâmica é a ciência que estuda as mudanças de temperatura e o movimento do calor. Ela abrange diferentes fenômenos relacionados à transferência de calor entre corpos e ao equilíbrio térmico em ambientes isolados ou não. No contexto da fabricação de uma mini geladeira termoelétrica, o objetivo do projeto era criar um produto que refrigerasse uma determinada área fechada, ou seja, alcançar temperaturas mais baixas do que as do ambiente, utilizando isolantes que evitam o equilíbrio térmico entre o corpo e o ambiente.

Ao contrário da refrigeração convencional, que requer componentes como evaporador, compressor, condensador, dispositivo de expansão e fluido refrigerante para completar o ciclo de troca de calor, a mini geladeira desenvolvida utilizou a refrigeração termoelétrica baseada no efeito Peltier. As pastilhas de Peltier foram usadas para criar trocas de calor com o ambiente de forma contínua, sem a necessidade de gases ou equipamentos que possam poluir o meio ambiente. Essa

tecnologia requer apenas uma fonte elétrica de corrente contínua e dissipadores de calor Marquetti e Santos (2019). Os testes realizados mostraram que a geladeira foi capaz de reduzir consideravelmente a temperatura e é adequada para manter bebidas refrigeradas e prolongar a validade de certos alimentos. No entanto, não é recomendado usar essa geladeira para alimentos como cerveja ou sorvetes, que devem ser armazenados e consumidos em temperaturas próximas ou abaixo de 0°C Marquetti e Santos (2019).

Já o trabalho de Silva (2021) aborda o problema do aumento da temperatura global causado pelas atividades humanas, especialmente a queima de combustíveis fósseis, que liberam dióxido de carbono e gases de efeito estufa na atmosfera. Nesse contexto, o autor propôs um método sustentável de resfriamento de ambientes usando um sistema ciclônico-psicrométrico, e este trabalho apresenta uma proposta semelhante, utilizando o efeito Peltier. O trabalho utiliza pastilhas de efeito Peltier para resfriar o ar em ambientes internos, dissipando o calor gerado por condução e convecção. Os objetivos específicos do trabalho incluem identificar os melhores dissipadores de calor, escolher o fluido de circulação, definir potências e áreas de trabalho para resfriar diferentes tamanhos de ambientes, montar um protótipo experimental e comparar os resultados com o método proposto pelo autor anteriormente mencionado. O trabalho conclui com uma síntese dos principais resultados e contribuições, destacando a viabilidade e a eficiência do método proposto de resfriamento de ambientes utilizando o efeito Peltier. Também são apresentadas sugestões para trabalhos futuros, como a otimização do sistema e a aplicação em diferentes contextos e escalas.

Os trabalhos que foram analisados tratam de um assunto em comum, que é o resfriamento de ambientes através do uso do efeito Peltier. Todos eles mencionam o uso de dispositivos termoelétricos baseados nesse efeito para criar trocas de calor e resfriar o ar em ambientes internos. Além disso, destacam a importância dos materiais termoelétricos com boas propriedades elétricas e térmicas para garantir a eficiência desses sistemas. Os trabalhos exploram diferentes aplicações do efeito Peltier.

5 METODOLOGIA

Após a revisão da literatura, na qual foi possível o potencial da placa Peltier para experimentos em feiras de ciências, partimos para o planejamento de um material didático que propicie o controle de temperatura de forma remota em diversas aplicações (reservatório para armazenamento de remédios, banho térmico, análise de materiais com técnicas experimentais, entre outras aplicações). Assim, a definição de material didático deve ser a primeira questão a ser considerada. Normalmente, usamos esse termo sem nos determos em sua verdadeira definição. Nas escolas em geral, quando nos referimos a material didático, geralmente pensamos no livro didático, um material potencialmente significativo que está presente em praticamente todas as escolas brasileiras, tanto públicas quanto privadas.

Assim, sobre a criação de material didático, abordamos o processo de forma estruturada. Para isso, podemos usar uma metáfora para ajudar na compreensão. Imagine que a criação de material didático é como construir uma casa. Antes de começar a construir, é importante ter um projeto bem elaborado, com todos os detalhes e etapas planejadas. O mesmo acontece com a criação de material didático. É necessário ter um plano claro e organizado, considerando os objetivos de aprendizagem, o público-alvo e os recursos disponíveis.

É importante ressaltar que a produção de material didático em si não exclui uma aula conteudista, pois não é o material que profere a organização de uma aula, mas sim o conhecimento teórico, didático e metodológico do aluno e do professor, bem como sua ideologia pedagógica.

Outro aspecto importante da preparação de materiais didáticos para professores é a aquisição, muitas vezes, dos aspectos pedagógicos inerentes à sua profissão, pois na pedagogia é comum nos depararmos com a prática diária de citar e ler extensamente os clássicos pedagógicos, muitas vezes sem estabelecer uma conexão com a realidade do contexto escolar, então, ao aprontar materiais didáticos, o professor é forçado a ir além do discurso pedagógico e do pensamento da educação para se aproximar do pensamento-preparação (KIMURA, 2010).

Quando tratamos de desenvolvimento de protótipos, é relevante salientar que, de acordo com Aguiar (2016), a elaboração de um material didático começa pela identificação do que se almeja alcançar com a sua implementação: seja contribuir para

a compreensão de algum conceito, instigar a curiosidade dos estudantes, bem como auxiliar no processo de ensino e aprendizagem.

Conseqüentemente, após definir o objetivo é necessário delinear um plano de elaboração, que consiste nas etapas em que serão assistidas as propriedades materiais do objeto, em que etapa 1 foi realizada no Trabalho de Conclusão de Curso I e as etapas 2, 3 e 4 no Trabalho de Conclusão de Curso II, como pode ser visto no quadro 3.

Quadro 3 – Etapas de desenvolvimento do trabalho

	Planejamento (ideia)	Desenvolvimento (proposta)	Forma de execução
Etapa 1	Delimitação do tema.	Revisão da literatura.	Pesquisa e análise de trabalhos nos sites de buscas
Etapa 2	Construção de um aparato experimental.	Detalhamento do aparato, incluindo components e resultados esperados.	Montagem e testes do aparato (conexão wifi, coletas de dados e faixas de temperaturas atingidas)
Etapa 3	Criação de um fluxograma de uso do aparato experimental.	Mapeamento dos passos para uso do material.	Fluxograma
Etapa 4	Criação de um fluxograma de construção do aparato experimental.	Detalhamento para construção do aparato.	Fluxograma

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA *et al.* (2022)

5.1 A Física envolvida na placa Peltier

As placas Peltier são construídas com materiais semicondutores de diferentes tipos com junções em que a corrente elétrica flui. Quando uma corrente elétrica é aplicada à placa Peltier, elétrons transportam energia elétrica através dos semicondutores. Nas junções entre os materiais semicondutores, ocorre uma troca de calor com o ambiente. Uma junção se aquece (lado quente) enquanto a outra se resfria

(lado frio), dependendo da direção da corrente elétrica. Essa troca de calor é governada pelo efeito Peltier, que descreve a relação entre a corrente elétrica e a transferência de calor.

Tendo isto em vista, trazendo uma abordagem física deste fenômeno vamos abordar vários conceitos fundamentais sobre aspectos elétricos, calor, temperatura, transferência de calor, equilíbrio térmico e semicondutores.

5.1.1 Semicondutores

Os semicondutores desempenham um papel central nas placas Peltier, pois são os materiais utilizados nessas placas para criar o efeito Peltier, que é fundamental para a transferência de calor controlada.

As placas Peltier são feitas de materiais semicondutores que têm propriedades elétricas únicas. Essas propriedades permitem que elas absorvam ou liberem calor quando uma corrente elétrica passa por elas, dando origem ao efeito.

O uso de semicondutores em uma placa Peltier permite que essa transferência de calor seja controlada e direcionada. Dependendo da polaridade da corrente elétrica aplicada, uma junção de semicondutores esquenta enquanto a outra esfria. Isso é fundamental para aplicações de resfriamento e aquecimento de alta precisão, onde o controle da temperatura é crítico.

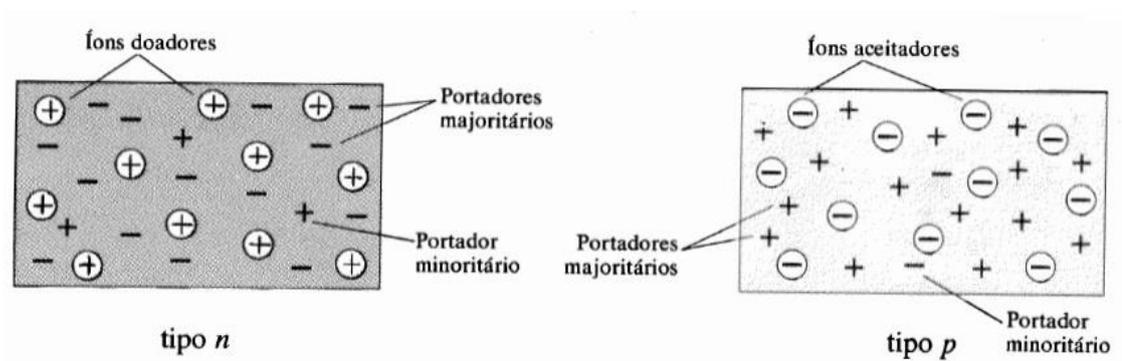
Nas placas Peltier, são comuns a utilização de semicondutores tipo p e n para criar junções de semicondutores que permitem a transferência de calor controlada.

Semicondutores tipo p: Os semicondutores tipo p são materiais que com um excesso de lacunas, ou seja, espaços onde deveriam estar elétrons, como representado na figura 6, são chamados de "tipo p" porque são dopados com átomos que têm um elétron a menos em sua camada mais externa. Na construção de placas Peltier, um material semicondutor tipo p é usado na junção quente, quando uma tensão elétrica é aplicada a essa junção, os elétrons "saltam" das lacunas para preencher os espaços vazios, criando uma corrente elétrica Callister (2020).

Semicondutores tipo n: Os semicondutores tipo n são materiais que com excesso de elétrons, como representado na figura 6, eles são chamados de "tipo n" porque são dopados com átomos que têm um elétron a mais em sua camada mais externa. Na construção de placas Peltier, um material semicondutor tipo n é usado na

junção fria, quando uma tensão elétrica é aplicada a essa junção, os elétrons em excesso se movem em direção às lacunas, criando uma corrente elétrica Callister (2020).

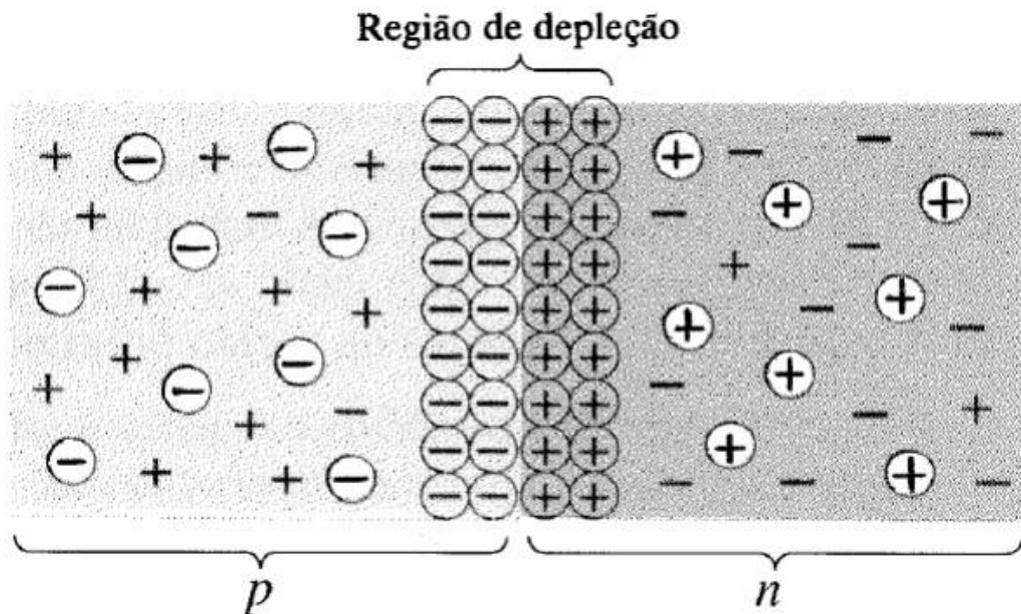
Figura 4 – Semicondutor tipo p e n



Fonte: Diodos de Junção PN, 2013

A combinação entre a junção dos semicondutores tipo p e tipo n permitem a transferência de calor nas placas Peltier. Quando uma corrente elétrica é aplicada, os elétrons movem-se das lacunas para preenchê-las na junção quente, absorvendo calor. Simultaneamente, os elétrons em excesso movem-se para preencher as lacunas na junção fria, dissipando calor. Isso resulta em resfriamento na junção fria e aquecimento na junção quente.

Figura 5 – Junção tipo pn



Fonte: Diodos de Junção PN, 2013

5.1.2 Corrente e Tensão

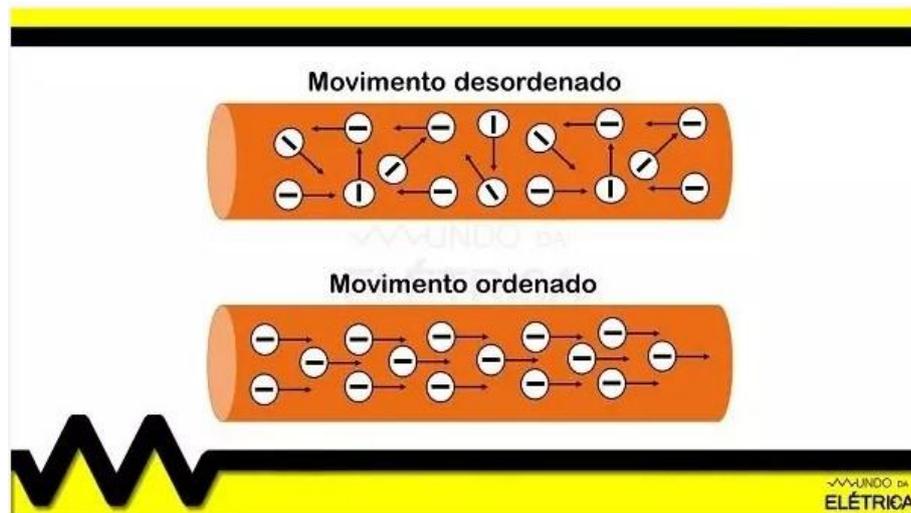
Dentro desta seção serão abordados alguns conceitos importantes para o funcionamento da placa Peltier como o comportamento da corrente elétrica e tensão elétrica.

Segundo Halliday *et al.* (2016) A corrente elétrica é o fluxo ordenado de partículas carregadas, como elétrons, ao longo de um condutor. Microscopicamente as cargas livres estão em movimento aleatório em razão da agitação térmica. No entanto, se aplicarmos um campo elétrico na região das cargas é possível observar que elas passam a ter uma direção preferencial, como pode ser vista na Figura 6.

Nas placas Peltier, a corrente elétrica é aplicada por meio de fios condutores conectados às junções da placa. Essa corrente elétrica é essencial para criar o efeito Peltier.

O controle preciso da corrente elétrica nas placas Peltier permite ajustar a quantidade de calor transferida entre as junções quente e fria. Isso é crucial para manter uma temperatura específica em um lado da placa.

Figura 6 – Corrente elétrica gerada através de um campo elétrico



Fonte: www.mundodaeletrica.com.br/principais-caracteristicas-da-corrente-eletrica

Além disso, a eficiência das placas Peltier está diretamente relacionada à quantidade de corrente elétrica aplicada, à resistência elétrica dos materiais semicondutores e à diferença de temperatura entre as junções. Portanto, o controle cuidadoso desses parâmetros é essencial para maximizar o desempenho e a eficiência desses dispositivos termoeletrônicos.

A corrente elétrica pode ser classificada em duas formas principais: corrente contínua (CC ou DC - Direct Current) e corrente alternada (CA ou AC - Alternating Current). Ambas têm aplicações em eletrônica, mas vamos ver por que a corrente contínua é mais comumente utilizada nas placas Peltier. Corrente Contínua (CC): Direção Constante: A corrente contínua flui em uma única direção constante, ou seja, o fluxo de elétrons é sempre do ponto A para o ponto B.

Aplicação nas Placas Peltier: A corrente contínua é a escolha mais comum para operar placas Peltier. Isso se deve à natureza do efeito Peltier, que é mais eficaz com corrente unidirecional.

Controle preciso: A CC permite um controle mais preciso da quantidade de calor transferida pelas placas Peltier, o que é crucial para aplicações de resfriamento e aquecimento de alta precisão. Uma das maneiras de sabermos qual a corrente que temos em uma placa Peltier, é conforme a equação:

$$I = \frac{E}{R} \quad (1)$$

Onde I é a intensidade da corrente elétrica do sistema, dado em ampere (A), E tensão elétrica, dado em volts (V) e R a resistência elétrica, dado em Ohms (Ω).

A tensão elétrica é um fator importante no funcionamento das placas Peltier, uma vez que desempenha um papel central na criação do gradiente de temperatura necessário para a transferência de calor. Vamos ver como a tensão elétrica funciona nas placas Peltier e sua influência em seu funcionamento:

Segundo Inbraep (2020), tensão elétrica é a força que empurra as cargas elétricas, fazendo-as se mover. Essa força é causada pela diferença de quantidade de cargas elétricas entre dois corpos ou pontos, então dizemos que temos uma diferença de potencial elétrico (d.d.p) ou uma tensão elétrica.

A tensão elétrica ou d.d.p é aplicada às placas Peltier através de fios condutores conectados às junções da placa. A tensão elétrica é responsável por criar um campo elétrico no material semicondutor da placa, o que gera o efeito Peltier. A tensão que alimenta a placa pode ser vista da seguinte forma:

$$E = R \cdot I \quad (2)$$

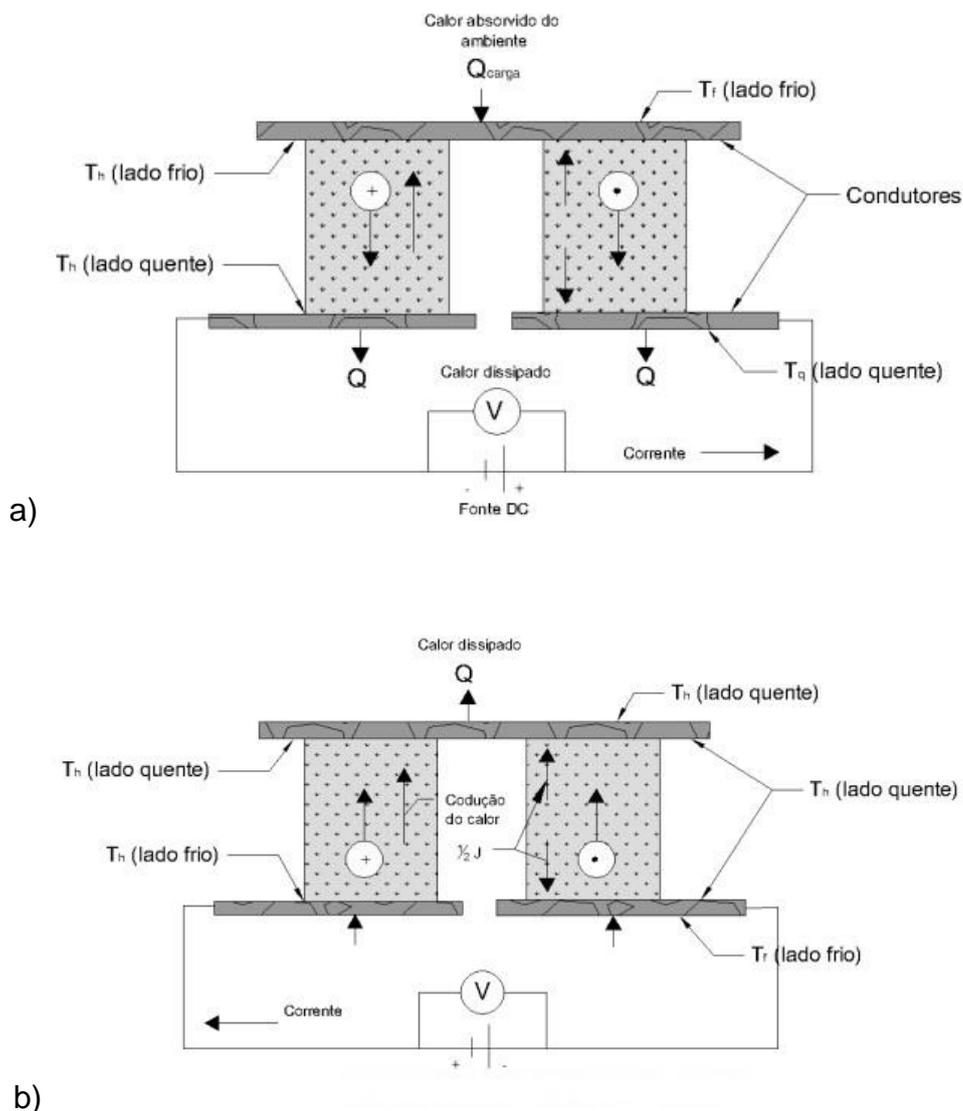
Sendo E a tensão elétrica do sistema, dado em volts (V), R a resistência elétrica, dado em Ohms (Ω) e I a intensidade da corrente elétrica, dado em ampere (A).

A direção da tensão elétrica aplicada determina a direção do efeito Peltier. Se a tensão for aplicada de uma maneira, a junção quente aquecerá, e a junção fria esfriará. Invertendo a polaridade da tensão, inverte-se a direção da transferência de calor. Quando uma corrente elétrica passa por essas junções em uma direção específica, o efeito Peltier faz com que o calor seja absorvido ou liberado na junção, dependendo da direção da corrente Halliday (2016).

Quando a direção do fluxo de corrente em uma placa Peltier é invertida, a direção do fluxo de calor muda. Isso acontece porque o movimento dos portadores de carga, como elétrons e lacunas, também é revertido. Em uma junção do tipo n, os elétrons são os portadores dominantes, enquanto em uma junção do tipo p, as lacunas (falta de elétrons) são os portadores dominantes, e uma reversão da corrente significa uma inversão da direção do fluxo de calor Halliday (2016).

Quando a corrente é invertida, os elétrons e lacunas mudam de direção, causando uma mudança correspondente no transporte de calor. A absorção de calor ocorre em junções do tipo n quando elétrons são injetados, enquanto nas junções do tipo p, a absorção de calor ocorre quando lacunas são injetadas. Assim, o efeito Peltier resulta em uma inversão da direção do fluxo de calor quando a polaridade da corrente elétrica é alterada, fazendo com que uma junção anteriormente resfriada comece a aquecer e vice-versa Volpe (1992).

Figura 5 - a) Modo de resfriamento; b) Modo de aquecimento



Fonte: Adaptado de Humel, 2014

5.1.3 Calor e Temperatura

Calor é o modo como a energia é transferida de um objeto para outro devido à divergência de temperatura entre eles. É uma forma de energia térmica em

movimento, fluindo de uma área de alta temperatura para uma área de baixa temperatura. Esse processo de transferência de calor pode ocorrer por condução (quando o calor se move por meio de um material), convecção (quando o calor é transferido por meio de fluidos, como ar ou água em movimento) e radiação (quando o calor é transmitido por ondas eletromagnéticas, como a luz solar) Halliday (2016).

A temperatura de um sistema em um nível microscópico está correlacionada com a velocidade média das partículas no sistema. A temperatura aumenta com o ritmo das partículas, é uma quantificação da energia cinética média das partículas em um sistema. Em termos mais simples, ela mostra o quão quente ou frio um objeto, ou ambiente está. No sistema internacional, o Kelvin (K) é a unidade de medida de temperatura, mas também usamos graus Celsius (°C) e Fahrenheit (°F) em ambientes diários Halliday (2016).

5.1.4 Transferência de calor em uma placa Peltier

A transferência de calor em uma placa Peltier, também conhecida como efeito Peltier, é regida pelos princípios da termodinâmica. A placa Peltier é um dispositivo termoelétrico que pode atuar tanto como um aquecedor quanto como um refrigerador, dependendo da direção da corrente elétrica aplicada.

Segundo Campanholi (2019), as placas são dispositivos termoelétricos que permitem a transferência de calor entre duas superfícies metálicas, quando uma corrente elétrica é aplicada. Essa transferência de calor segue a primeira lei da termodinâmica, também conhecida como lei da conservação de energia. Essa lei é fundamental para entender o funcionamento das placas Peltier, pois ela explica como a energia elétrica é convertida em calor nas junções da placa. Assim, a energia elétrica fornecida à placa de Peltier é convertida em energia térmica nas junções da placa, gerando um efeito de aquecimento ou resfriamento, dependendo do sentido da corrente. Esse efeito pode ser utilizado para diversas finalidades, como refrigeração, aquecimento ou geração de energia elétrica.

Quando trouxermos essa equação para calcular a transferência de calor em uma placa Peltier, utilizamos a seguinte:

$$Q = \frac{k.A.\Delta t}{d} \quad (3)$$

Onde Q se refere a quantidade de calor, dado em Joule (J), k a constante de condutividade térmica do material, dado em em watt por metro e por kelvin (W/(mK))

, A é a área transversal do material, dado em metros (m), Δt é a variação de temperatura, dado em Kelvin (K). e d se refere a espessura do material, dado em metros (m) Halliday (2016).

5.1.5 Equilíbrio térmico

O equilíbrio térmico se refere a uma condição em que não há transferência líquida de calor entre dois corpos ou regiões adjacentes, ou seja, a temperatura permanece constante ao longo do tempo. “Se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, então eles estão em equilíbrio térmico entre si” (TIPLER e MOSCA, 2006, p. 597).

Nas placas Peltier, alcançar o equilíbrio térmico é de extrema importância porque esses dispositivos são usados para controlar e manter temperaturas específicas em suas junções quente e fria. Se olharmos apenas para a placa Peltier, quando em funcionamento, ela está em desequilíbrio térmico, mas quando olhamos para o sistema, é muito importante que o lado frio da placa Peltier esteja em equilíbrio com o lado interno da caixa.

Para que a placa Peltier atinja o equilíbrio térmico, é necessário controlar cuidadosamente a tensão e a corrente elétrica aplicadas. Também é importante monitorar constantemente as temperaturas nas junções quente e fria para garantir que não haja flutuações significativas.

5.1.6 Eficiência da placa Peltier

A eficiência de uma placa Peltier é uma medida de quão bem ela aproveita a energia elétrica para gerar ou remover calor. Uma placa Peltier mais eficiente é capaz de gerar ou remover mais calor com menos energia, o que a torna mais eficaz em sua aplicação.

5.1.7 Taxa de calor absorvido ou rejeitado pela placa Peltier

“A taxa na qual o calor Peltier é absorvido (ou rejeitado) é proporcional a corrente e depende da natureza dos dois materiais que compõe a junção” (ALVES,2007, p. 49).

A quantidade de calor que um dispositivo Peltier pode absorver ou liberar é diretamente relacionada à corrente elétrica que passa por ele e aos materiais específicos que formam a junção do dispositivo. Em outras palavras, quanto maior a

corrente elétrica e mais eficientes forem os materiais da junção, mais calor o dispositivo Peltier poderá absorver ou liberar. O calor absorvido ou rejeitado no efeito Peltier pode ser encontrado pela seguinte equação:

$$Q = \alpha I \quad (4)$$

Onde, Q representa o calor Peltier trocado, dado em Joule (J), α representa o coeficiente Peltier e I a intensidade da corrente elétrica, dado em ampere (A).

Até o momento, foram vistas algumas equações físicas e determinados conceitos físicos para um melhor entendimento da placa Peltier. A importância de cada um dos itens supracitados é fundamental. A seguir, poderemos ver como foi feita a construção da caixa e as ligações dos fios na placa de protoboard para o funcionamento do sistema.

5.1.8 Construção da caixa

A opção adotada para a confecção da caixa deu-se a partir do material MDF (Medium-density fiberboard), pois, para este projeto, escolhemos utilizar recursos encontrados nas dependências da universidade. O corte da caixa foi realizado em uma máquina de corte a laser, com dimensões predefinidas de 25x15x13 cm (comprimento x largura x altura).

A seguir, encontra-se um fluxograma que demonstra a como construir a caixa, informações sobre sites, softwares e dimensões necessárias para a criação de uma caixa MDF. Bem como o código final utilizado neste trabalho encontram-se em (Freitas, 2023) e (Freitas, Código sensor DS18B20, 2023).

No entanto, vale ressaltar que, caso o leitor disponha de uma caixa feita de outro material, com as dimensões corretas, poderá utilizá-la, desde que apresente um bom isolamento térmico. O orifício para a fixação da pastilha Peltier e dos dissipadores foi inicialmente feito no centro da caixa, mas o mais indicado é que seja realizado na extremidade, conforme exemplificado no fluxograma.

Para o isolamento térmico, foi utilizado isopor, encontrado em papelarias, com espessura de 15 mm. Para a dissipação de calor do sistema, inicialmente foram feitos testes com dissipadores de calor encontrados em computadores convencionais; no entanto, não surtiu o efeito desejado. Este modelo de dissipador de calor não

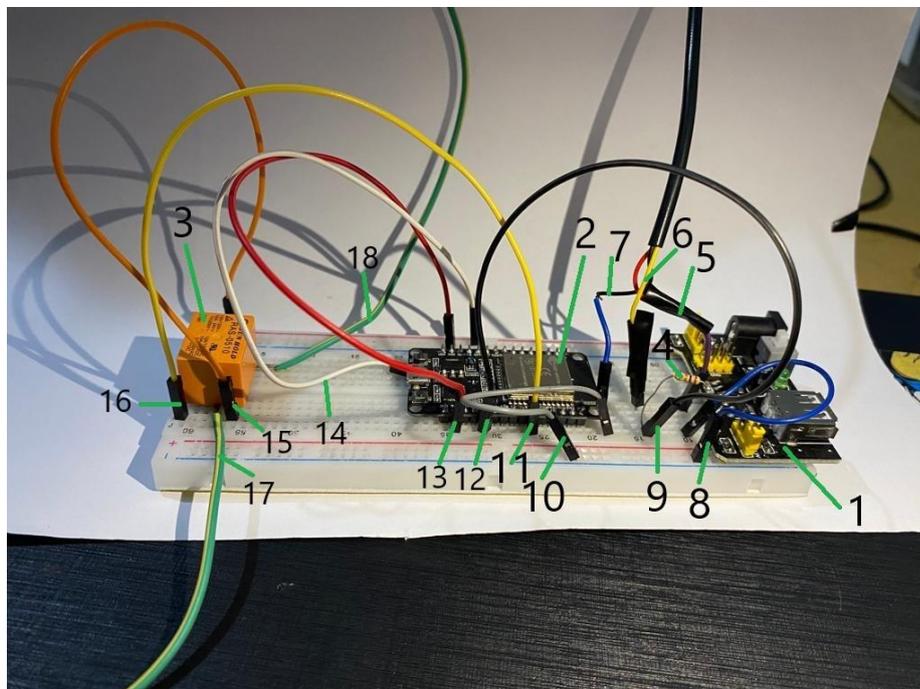
conseguiu refrigerar a placa Peltier, resultando na queima de uma das placas Peltier utilizadas no projeto.

Outro ponto importante que deve ser levado em conta, é a utilização de pasta térmica entre os dissipadores de calor e a placa Peltier, usada para melhorar a condução de calor entre componentes eletrônicos, como processadores, e seus dissipadores de calor. Ela preenche pequenos espaços e irregularidades, garantindo uma transferência mais eficiente de calor, o que ajuda a manter a temperatura dos componentes em níveis adequados para o desempenho e a durabilidade.

5.1.9 Ligação da placa Peltier

Ao observar a Figura 8, é possível identificar todos os componentes necessários para o correto funcionamento do sensor de temperatura DS18B20. Todos os itens mencionados a seguir serão conectados a uma Protoboard Breadboard 830 Pontos de Furos Protótipo Arduino.

Figura 8 – Ligação dos componentes na protoboard



Fonte: AUTOR

Neste ponto, serão listados os nomes e o funcionamento de cada um dos componentes enumerados na figura 8.

Quadro 4 – Componentes figura 8. (continua)

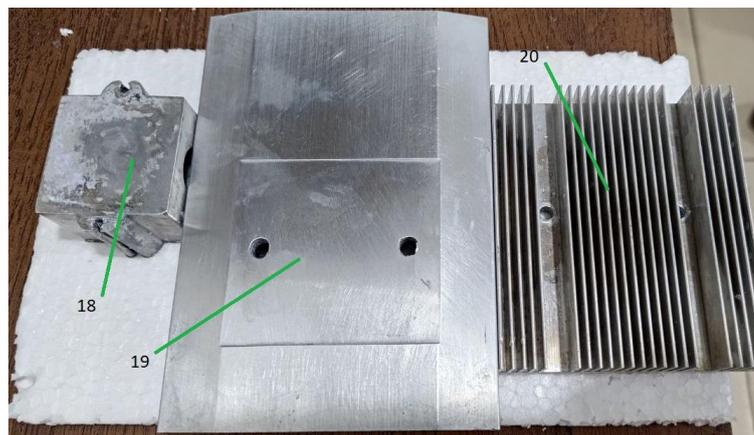
Número dos item	Nome do item	Função do componente
1	Módulo Fonte para Protoboard MB102	fornece alimentação elétrica estável para uma protoboard, facilitando a prototipagem de circuitos eletrônicos ao prover tensões reguladas de 5V e 3.3V.
2	Placa DOIT ESP32 - ESP32-WROOM-32D - WiFi / Bluetooth	é um módulo compacto que integra funcionalidades WiFi e Bluetooth. Ela serve para criar projetos de IoT (Internet das Coisas) de forma eficiente, permitindo a comunicação sem fio e o controle remoto de dispositivos por meio da conectividade WiFi e Bluetooth.
3	RAS-0510 - Mini Relê 10A /5VDC	utilizado para controlar circuitos de maior corrente ou tensão por meio de sinais de baixa potência, como os provenientes de microcontroladores.
4	Resistor 10K 5% (1/2W)	é usado no circuito com o sensor DS18B20 para criar uma rede de resistência pull-up. Essa configuração ajuda na comunicação e leitura precisa de temperatura, garantindo uma resposta estável e confiável do sensor.

Quadro 4 – Componentes figura 8. (conclusão)

Número do item	Nome do item	Função do componente
5, 6 e 7	Parte do sensor de temperatura DS18B20	é utilizado para medir e fornecer dados precisos de temperatura em projetos eletrônicos. Ele possui uma interface digital única, permitindo uma comunicação eficiente com microcontroladores, e é amplamente empregado em aplicações de controle térmico e monitoramento ambiental.
8, 9, 10, 11, 12, 13,14, 15 e 16	Fios de conexão	são utilizados para várias conexões entre os equipamentos e a protoboard
17 e 18	Fios de conexão	utilizados como interruptor para a ligação da pastilha Peltier.

Fonte: AUTOR.

Figura 9 – Dissipadores de calor utilizados no sistema



Fonte: AUTOR

Na figura 9 temos os dissipadores de calor utilizados no sistema, utilizados para dissipar o excesso de calor gerado por componentes eletrônicos, como processadores ou circuitos integrados, garantindo que permaneçam em uma faixa de temperatura segura para o seu funcionamento.

Figura 10 – Fonte estabilizada LFE 123



Fonte: AUTOR

Na figura 10, encontra-se a fonte estabilizada utilizada para ligação da placa Peltier e do módulo fonte para protoboard MB102, com tensão máxima de 12V e corrente de 3A.

Figura 11 – Fonte de alimentação



Fonte: AUTOR

Como pode ser visto na figura 11, temos a fonte de alimentação universal, utilizada para ligar os coolers.

6 RESULTADOS

No início da confecção do Trabalho de Conclusão de Curso I, a intenção de criar a caixa refrigeradora era alcançar uma temperatura próxima de 0°C no seu interior, possibilitando assim o armazenamento de objetos, remédios e até mesmo alimentos. No entanto, com os testes realizados, não foi possível atingir a temperatura desejada. Mesmo diante dessa dificuldade, foi dada continuidade às etapas seguintes do projeto, as quais incluem o controle da placa Peltier de qualquer lugar (de forma remota), a confecção de um fluxograma para a criação do aparato experimental e um fluxograma para a utilização do aparato experimental.

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos e em seguida uma discussão de cada um dos resultados, juntamente com os motivos destes resultados.

6.1 Apresentação e discussão dos dados obtidos

Para a apresentação dos resultados, foram realizadas quatro configurações diferentes de fixação da placa Peltier na caixa. As ligações dos fios, as tensões e a intensidade de corrente elétrica foram mantidas iguais para todas as configurações. As modificações foram feitas apenas no modo de fixação

Chamaremos as configurações de Configuração 0, Configuração 1, Configuração 2 e Configuração 3. Serão apresentadas fotos de cada uma das configurações, bem como fotos dos resultados. Também será fornecida a justificativa para a escolha do modo de montagem em cada configuração, acompanhada de uma explicação para esses resultados.

6.1.2 Configuração 0

Nesta configuração, a placa Peltier foi fixada no lado externo com um dissipador de calor, acompanhado por um cooler para auxiliar na refrigeração. Entre o lado externo e o lado interno da caixa, foi inserido outro dissipador de calor para aprimorar a refrigeração e facilitar o contato da placa Peltier com ambos os dissipadores. Dentro da caixa, foi colocado apenas um dissipador, sem cooler e para o isolamento térmico

foi utilizado isopor de 15mm. Todos esses detalhes podem ser observados na Figura 12.

Figura 12 – Configuração 0



Fonte: AUTOR

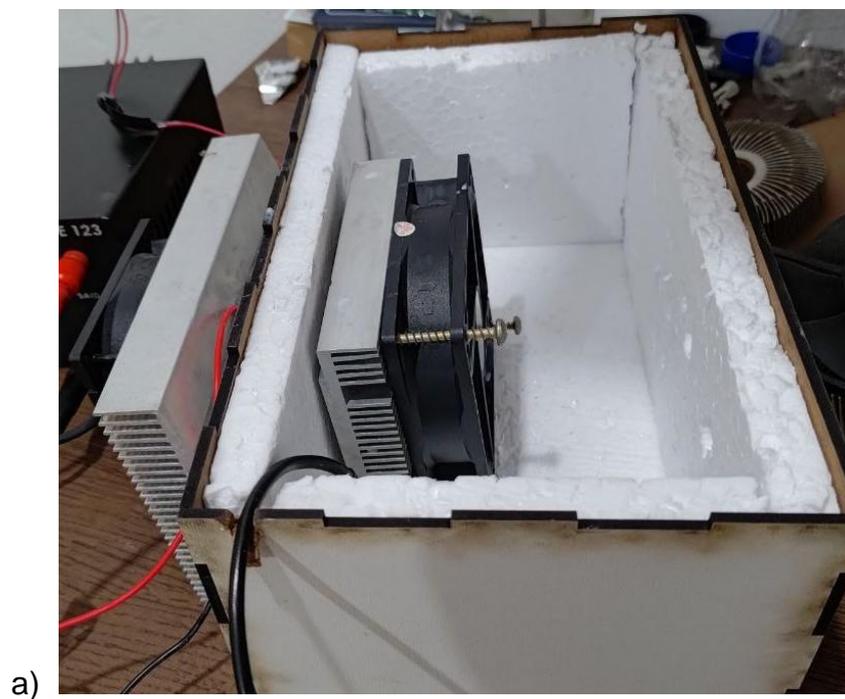
Com esta configuração, a temperatura interna da caixa permaneceu igual à temperatura ambiente, que era de 26°C, mesmo com o dissipador de calor estando a

uma temperatura inferior. Após esse resultado, a Configuração 0 foi descartada, e não foram realizados mais testes com ela.

6.1.3 Configuração 1

Na Configuração 1, foram mantidas as mesmas configurações tanto para os dissipadores de calor quanto para o isolamento térmico utilizando isopor, com a adição de um cooler no lado interno da caixa, como ilustrado nas figuras 13a) e 13b).

Figura 13 – Configuração 1 - a) Adição do cooler lado interno; b) Adição do cooler lado externo





b)

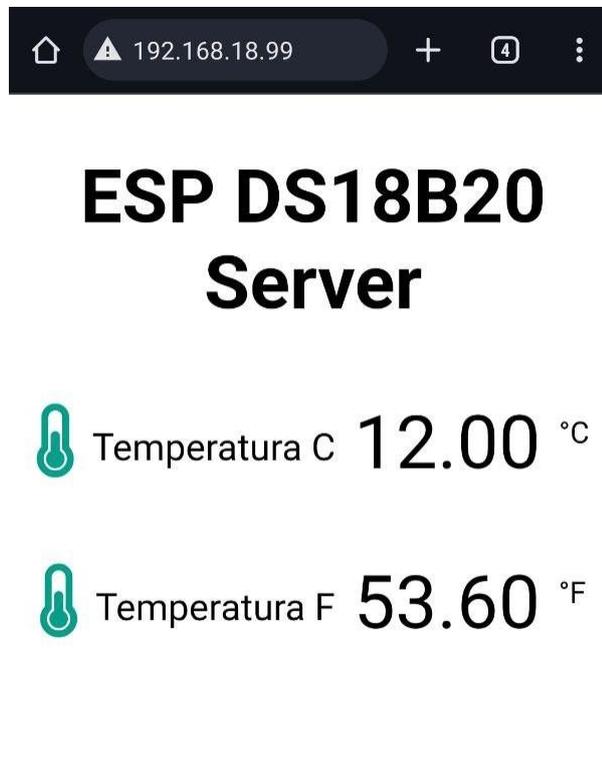
Fonte: AUTOR

Após os testes realizados na Configuração 0, verificou-se que apenas o dissipador de calor no lado interno da caixa não foi suficiente para atingir a temperatura desejada. Portanto, foi adicionado um cooler para possibilitar a circulação de ar interna.

Na Configuração 1, foram realizados diversos testes, todos apresentando resultados superiores à configuração anterior, com temperaturas constantemente abaixo de 20°C. A Figura 12 foi capturada no momento em que a temperatura interna atingiu seu valor mínimo, registrando 12°C após 2 horas de funcionamento, enquanto a temperatura externa estava por volta de 28°C. Essa temperatura foi alcançada

aproximadamente após 1 hora e 20 minutos; os últimos 40 minutos não provocaram mais alterações na temperatura interna da caixa.

Figura 14 – Resultado obtido com a Configuração 1



Fonte: AUTOR

Como pode ser visto na Figura 14, apenas adicionando o cooler dentro da caixa, obteve-se um resultado melhor do que na configuração anterior a). No entanto, ainda não foi alcançada a temperatura interna desejada, de atingir internamente uma temperatura próxima a 0°C.

6.1.4 Configuração 2

Nesta configuração, a alteração realizada foi posicionar a placa Peltier no lado interno da caixa, enquanto do lado externo ficaram um dissipador de calor e um cooler. No lado interno, além da placa Peltier, foi mantido um dissipador de calor e outro

cooler, sendo o isolamento térmico preservado mais uma vez. A montagem pode ser observada na Figura 15.

Figura 15 – Configuração 2



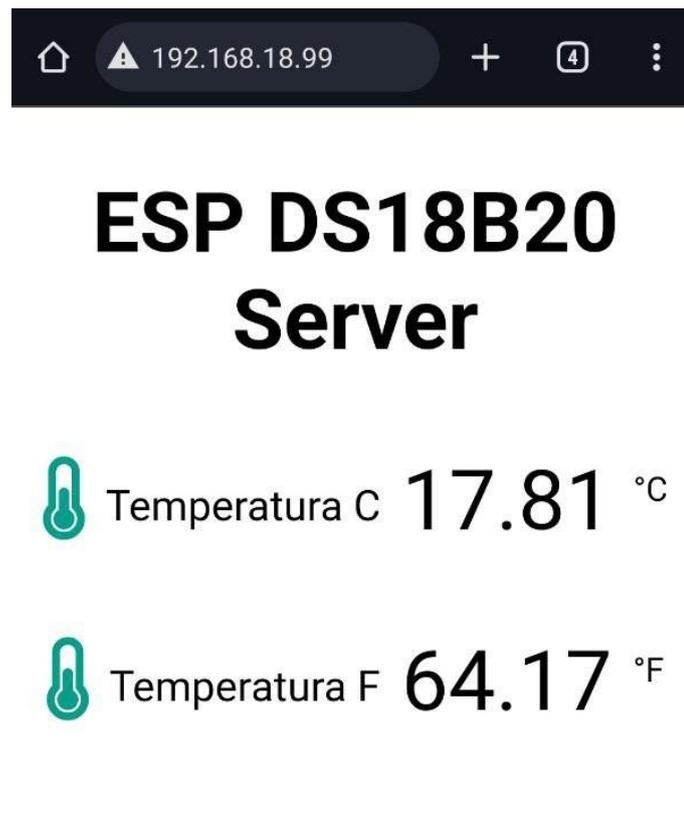
Fonte: AUTOR

Essa alteração foi realizada porque foi observado o surgimento de gotículas de água no dissipador em contato direto com a placa Peltier durante o seu funcionamento. Isso indicou um resfriamento muito mais eficiente do que o interior da caixa. Assim, mover a placa Peltier para o interior da caixa foi uma tentativa de aproveitar o cooler para direcionar o vento diretamente na junção e melhorar ainda

mais o resfriamento. No entanto, o resultado não foi o esperado; o lado quente da placa Peltier dentro da caixa prejudicou o processo de resfriamento.

A temperatura dentro da caixa permaneceu abaixo dos 20°C, mesmo com a temperatura ambiente em 28°C. O sistema operou por 2 horas, alcançando um resfriamento máximo de 17,81°C, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Resultado obtido com a configuração 2



Fonte: AUTOR

Após alguns testes realizados com esta configuração, observou-se que não seria possível atingir a temperatura desejada, e a temperatura mínima alcançada foi inferior à da configuração anterior. Optou-se então por prosseguir com outra configuração.

6.1.5 Configuração 3

Após a Configuração 2 não ter apresentado os resultados desejados e ser menos eficiente que a Configuração 1, na Configuração 3 optou-se por manter a montagem semelhante à Configuração 2, porém, adicionando mais isopor no interior da caixa para obter um isolamento térmico mais eficiente. Ao mesmo tempo, a caixa

foi reduzida em tamanho, com o comprimento diminuindo de 25cm para 18cm e a largura de 15cm para 11cm. Podemos observar a mudança na figura 17.

Figura 17 – Configuração 3



Fonte: AUTOR

Com a Configuração 3, foi alcançada uma temperatura mais próxima da desejada. Aproximadamente 1 hora após o sistema ser ligado, atingiu-se uma temperatura de 9,50°C. Mesmo deixando o sistema ligado por mais 1 hora, não houve

alteração na temperatura interna. Ao observar a Figura 18, podemos verificar esse resultado.

Figura 18 – Resultado obtido com a Configuração 3



Fonte: AUTOR

Esta foi a última configuração testada. Mesmo não atingindo a temperatura desejada no início do projeto, foram seguidas as etapas pré-definidas. Devido à falta de tempo para mais testes, a etapa seguinte seria conseguir controlar a placa Peltier de qualquer lugar desejado. Até então, os testes realizados ocorriam na *intranet*, utilizando o mesmo Wi-Fi no celular e na placa microcontroladora ESP32.

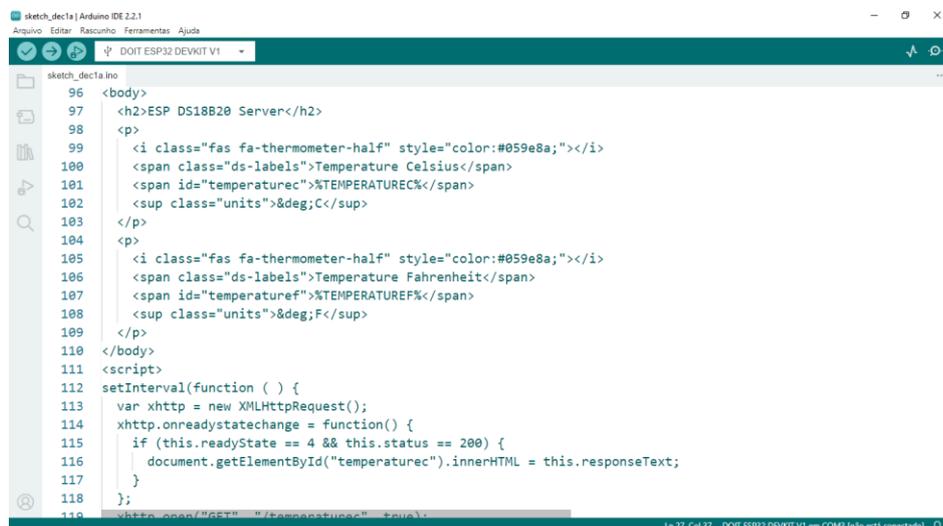
6.1.6 Controlando a placa Peltier com outra internet

Para esta etapa, foram feitas modificações no código original. Foi necessário adicionar linhas de código para incluir o botão de ON/OFF na página da web. O módulo de fonte para protoboard MB102 foi incorporado ao sistema, juntamente com o relé, pois, para o funcionamento do relé, são necessários 5V, e a placa microcontroladora fornece apenas 3,3V. O relé foi adicionado ao sistema para atuar

como um interruptor da placa Peltier. Com a inserção do relé no sistema, tornou-se possível adicionar a opção de ligar e desligar a placa Peltier.

Observando a Figura 19, podemos ver uma parte do código original, e na Figura 18, a modificação feita para incluir o botão de ON/OFF. Já na Figura 21, é observada a legenda intitulada 'ESTADO', indicando que o sistema está desligado, e na Figura 22, está a indicação de que o sistema está ligado.

Figura 19 – Código original



```

96 <body>
97 <h2>ESP DS18B20 Server</h2>
98 <p>
99 <i class="fas fa-thermometer-half" style="color:#059e8a;"></i>
100 <span class="ds-labels">Temperature Celsius</span>
101 <span id="temperaturec">%TEMPERATUREC%</span>
102 <sup class="units">&deg;C</sup>
103 </p>
104 <p>
105 <i class="fas fa-thermometer-half" style="color:#059e8a;"></i>
106 <span class="ds-labels">Temperature Fahrenheit</span>
107 <span id="temperaturef">%TEMPERATUREF%</span>
108 <sup class="units">&deg;F</sup>
109 </p>
110 </body>
111 <script>
112 setInterval(function () {
113   var xhttp = new XMLHttpRequest();
114   xhttp.onreadystatechange = function() {
115     if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {
116       document.getElementById("temperaturec").innerHTML = this.responseText;
117     }
118   };
119   xhttp.open("GET", "/temperaturec", true);

```

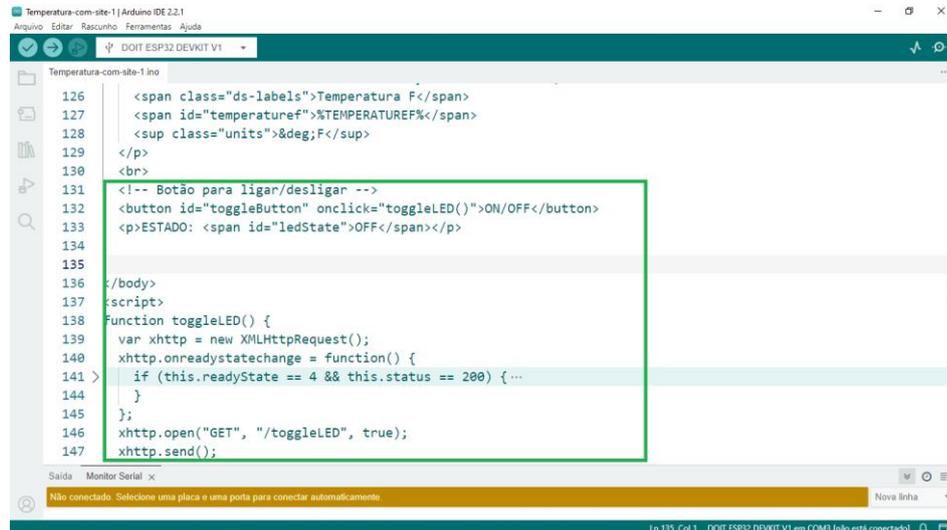
Fonte: AUTOR

O código original foi retirado de um site especializado³ em construir uma variedade de projetos com a utilização da placa microcontroladora ESP32. Devido ao site estar em inglês, dentro do código há uma função para exibir a temperatura em graus Celsius e Fahrenheit. Tentou-se modificar o código para mostrar apenas os graus Celsius. No entanto, ao excluir a função de graus Fahrenheit, o código

³ <https://randomnerdtutorials.com/>

apresentou erro em sua estrutura. Optou-se então por mantê-lo dessa forma para permitir a continuidade dos testes.

Figura 20 – Código modificado



```

126     <span class="ds-labels">Temperatura F</span>
127     <span id="temperaturef">%TEMPERATUREF%</span>
128     <sup class="units">&deg;F</sup>
129   </p>
130   <br>
131   <!-- Botão para ligar/desligar -->
132   <button id="toggleButton" onclick="toggleLED()">ON/OFF</button>
133   <p>ESTADO: <span id="ledState">OFF</span></p>
134
135
136 </body>
137 <script>
138 function toggleLED() {
139   var xhttp = new XMLHttpRequest();
140   xhttp.onreadystatechange = function() {
141     if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {...
142     }
143   };
144   xhttp.open("GET", "/toggleLED", true);
145   xhttp.send();
146 }
147

```

Fonte: AUTOR

Figura 21 – Indicação do sistema desligado

ESP DS18B20 Server

🌡 Temperatura C 28.00 °C

🌡 Temperatura F 82.51 °F

ON/OFF

ESTADO: OFF

Fonte: AUTOR

Figura 22 – Indicação do sistema ligado

ESP DS18B20 Server

 Temperatura C 24.12 °C

 Temperatura F 75.42 °F

ON/OFF

ESTADO: ON

Fonte: AUTOR

A figura 22 demonstra o sistema ligado após 2 minutos de funcionamento.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente, a caixa seria feita de material 3D. No entanto, as dimensões requeridas para a caixa foram demasiadamente grandes para a impressora 3D. O projeto apresentou algumas dificuldades inesperadas, como o isolamento térmico. A primeira placa Peltier utilizada nos testes estava defeituosa, os dissipadores não surtiram o efeito desejado, o local escolhido para a abertura da caixa não foi adequado, e a conexão de internet inicialmente não permitia abrir portas no roteador para uso externo.

Uma possível solução para o problema do isolamento térmico seria adicionar espuma expansiva nas junções do isopor com a caixa. No entanto, não foi possível testar essa solução devido à falta de tempo para testes posteriores. O problema com os dissipadores de calor foi resolvido com a utilização de dissipadores mais robustos e o uso de pasta térmica.

Quanto à abertura da caixa, não foi possível solucionar o problema, pois não havia mais disponibilidade do material utilizado para a confecção da caixa nas instalações da universidade. Por último, o problema com a *internet* foi resolvido ao mover o sistema para um local diferente dos testes realizados.

Mesmo não sendo possível atingir a temperatura desejada no interior da caixa, o projeto demonstrou bom potencial para ser trabalhado com alunos do Ensino Médio e apresentado em feiras de ciências, abordando conceitos físicos relevantes para o dia a dia e a potencialidade de monitoramento de temperatura e controle remoto da placa.

Por fim, destaca-se que as limitações, encontradas no presente trabalho são potenciais para se tornarem objetos de pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS

ADRETTA Jr, A.; PELIZZARO, R. D. **Desenvolvimento de um Equipamento para Refrigeração de Latas**. 2016. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

AGUIAR, L. D. C. D. **Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2016.

ALVES, E. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, **PROPRIEDADES FÍSICAS DO SEMICONDUTOR Bi₂Te₃**, Natal-RN, 2007).

BARBOZA, B. F.; CALHEIRO, B. S. **Sistema de controle de refrigeração utilizando célula Peltier**. 2017. Trabalho de Graduação (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação) – Departamento de Engenharia Mecânica – DEM, Universidade de Taubaté, Taubaté, Brasil, 2017.

BERGER, D. **Efeito da Pressão na Obtenção e nas Propriedades Óticas e Sensoras de Filmes finas à base de SnO₂ com a adição de ZnO [Report]**. - Araraquara: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”, 2013. - p. 21.

BRASIL. Ministério da Educação/Secretaria de Educação Básica. **Programa Nacional de Apoio às Feiras de Ciências da Educação Básica**. 84 p. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/EnsMed/fenaceb.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2023.

BURLAMAQUI, M. M. **Escritos de um caixeiro-viajante das ciências – As publicações de José Reis no Grupo Folha (1947 – 2002)**. Rio de Janeiro, 2018. Tese (Doutorado em História das Ciências, das Técnicas e Epistemologia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

CALLISTER, W. D.; Rethwisch, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2020. 864 p.

CAMPANHOLI, J. L. **O uso de um protótipo de refrigerador com Pastilhas Peltier: uma proposta didática para o processo ensino-aprendizagem das leis da termodinâmica e introdução aos conceitos de termoeletricidade**. 2019. xv, 182 f. Dissertação (mestrado nacional profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual de Maringá, 2019, Maringá, PR. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/5450>. Acesso em: 09 set. 2023.

CORZO. **Aula Investigativa: Reencuentro**. Análisis de Problemas Universitários nº 26. Disponível em: <https://www.reencuentro.xoc.uam.mx/~cuaree/no26/Aula/Aula.htm>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CURVELLO, A.(2018). **ESP32 – Um grande aliado para o Maker IoT** Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/esp32-um-grande-aliado-para-o-maker-iot/>. Acesso em: 18 de junho de 2023.

DORNFELD, C. B.; MALTONI, K. L. **A Feira de Ciências como auxílio para a formação inicial de professores de ciências e biologia.** Revista Eletrônica de Educação. São Carlos, SP: UFSCar, v. 5, no. 2, p.42-58, nov. 2011. Disponível em <http://www.reveduc.ufscar.br>. Acesso em: 14 jun. 2023.

ESPRESSIF SYSTEMS, **ESP-Mesh.** Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/software/esp-mesh/overview>. Acesso em 19 jun. de 2023.

FARIAS, L. N.; GONÇALVES, T. V. O. **Feira de Ciências como espaço de formação e desenvolvimento de professores e alunos.** AMAZÔNIA - Revista de Educação em Ciências e Matemática, v. 3, n. 5, p. 25–33, 2007.

FREITAS, T. E. R. **Fluxograma para uso do aparato experimental.** Disponível em: https://www.canva.com/design/DAF2CszxTKU/frEr_zP5Z3j2MIBOVbs2Wg/view?utm_content=DAF2CszxTKU&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=editor. Acesso 01 dez. de 2023.

FREITAS, T. E. R. **Código sensor DS18B20.** Disponível em: <https://docs.google.com/document/d/1WSoVYWIZUm4S2o1qDBJRnuiC5HpwYbTsq5cE7OvhDXU/edit?usp=sharing>. Acesso em 26 nov. de 2023

FERREIRA, C. C.; GUTIERRES, L. F. F.; CUNHA, P. S.; MENDES, D. R. **Prototipagem 3D na componente curricular de tópicos especiais como apoio às ações extensionistas em escolas de Bagé.** Revista de Ensino de Engenharia, v.38, n.1, p. 34-42, 2019 – ISSN 2236-0158 – DOIS: 10.5935/2236-0158.20190004

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica –projeto. Dimensionamento e análise de circuitos.** 5. ed. Erica, São Paulo 2008.

HALLIDAY, David, 1916-2010, **Fundamentos de física**, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica / David Halliday , Robert Resnick , Jearl Walker ; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. – 10. ed. – Rio de Janeiro : LTC, 2016.

HARTMANN, A. M.; ZIMMERMANN, E. **Feira de Ciências: a interdisciplinaridade e a contextualização em produções de estudantes de ensino médio.** In: VII ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em educação e Ciências, Florianópolis – SC, 2009. Disponível em: <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/178.pdf>. Acesso em: 14 jun. de 2023.

HENNING, G. J. **Metodologia do Ensino de Ciências.** Porto Alegre RS: Ed. Mercado Aberto, 1986.

Humel, V. **POTENCIAIS APLICAÇÕES DE MODULOS TERMOELETRICOS**, 2014. X f. Projeto de Monografia (Graduação) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

II MOSTRA. **O Globo**, Rio de Janeiro, p. 14, 2 jul. 1969

INBRAEP - INSTITUTO BRASILEIRO DE ENSINO PROFISSIONALIZANTE (Brasil). **O que é Tensão elétrica?**. Santa Catarina: Equipe INBRAEP, 21 de outubro de

2020. Disponível em: <https://inbraep.com.br/publicacoes/tensao-eletrica/>. Acesso em: 17 de outubro de 2023.

KIMURA, S. **Geografia no ensino básico: questões e propostas**. 2ª ed. São Paulo: Contexto, 2010.

KRONBAUER, A. C. **Projeto e construção de um mini refrigerador com pastilhas termoeletrônicas**. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

MAESTRELLI, E. **Desenvolvimento de um sistema de condicionamento de ar em escala reduzida utilizando módulos termoeletrônicos**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

MAIER, A. SHARP, A. e VAGAPOV, Y. **Análise comparativa e implementação prática do módulo de microcontrolador ESP32 para a internet das coisas**. Internet Technologies and Applications (ITA), p. 143-148, 2017.

MANCUSO, R. A. **Evolução do Programa de Feiras de Ciências do Rio Grande do Sul. Avaliação Tradicional X Avaliação Participativa**. Florianópolis: UFS, 1993. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1993. Contexto Educativo. Revista digital de Educación y Nuevas Tecnologías Nº 6, abril 2000.

MONTEIRO, A. M.; COSTA, F. E. C. **Desenvolvimento de um banho termostático com controle e aquisição por Arduino**. Niterói, RJ: [s.n.], 2018. 52f.

MOREIRA, G. A. Z.; MALAVAZI, L.; MIYAZAKI, Y. G. **Condicionador de ar por efeito Peltier**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica – Automação e sistemas) – Universidade São Francisco. Campinas, São Paulo, 2014.

MURTA, J. G. A. Conhecendo o ESP32 – Introdução (1). **Blog ELTROGATE**. 2022. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/conhecendo-o-esp32-introducao-1/>. Acesso em: 03 jul. 2023.

OAIGEN, E. R. **A iniciação à Educação Científica e a compreensão dos fenômenos científicos: a função das atividades informais**. Anais do XII ENDIPE, Painel Aberto, Curitiba, 2004.

OLIVEIRA, C. R. A.; FERREIRA, C. C.; MARTINS, C. S. L. **Modelo didático para o ensino de Ciências, construção por meio de impressão 3D: análise e avaliação do processo ensino-aprendizagem**. REVISTA IBEROAMERICANA DE TECNOLOGIA EM EDUCACIÓN Y EDUCACIÓN EM TECNOLOGÍA (EM LÍNEA)., v.junio, p.44 – 53, 2022.

PAVÃO, A. C. **Feiras de Ciências: Revolução Pedagógica**. Disponível em: <https://www.espaccciencia.pe.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PAVÃO, A. C.; LIMA, M. E. C. **Feiras de ciência, a revolução científica na escola**. Revista Brasileira de Pós-Graduação, [S. l.], v. 15, n. 34, p. 1–11, 2019. DOI:

10.21713/rbpg.v15i34.1612. Disponível em:
<https://rbpg.capes.gov.br/rbpg/article/view/1612>. Acesso em: 14 jun. 2023.

PEREIRA, A. B.; OAIGEN, E.R.; HENNIG, G. J. **Feiras de Ciências**. Canoas: Ulbra,2000

PETRY, C. A. **Diodos de Junção PN**, 2013. Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrônica, Eletrônica I. Disponível em:
https://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Eletronica_I/2013_1/Apresentacao_Aula_04.pdf. Acesso em: 05 nov. 2023

RICHMOND, P. E. **The Peltier Effect**. Department of Education, niversity of Southampton: 2014

SANTOS, B. F. **Geladeira para transporte de produtos refrigerados**. Relatório Final de Pesquisa (Vice-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Paulista) – Universidade Paulista. São Paulo, São Paulo, 2018.

SANTOS, J. W.; LARA Jr, R. C. **Sistema de automatização residencial de baixo custo controlado pelo microcontrolador ESP32 e monitorado via Smartphone**. 2019. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

SILVA, E. H. B. **Estudo dos efeitos termoelétricos e roteiros para ensino**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Física, 2017. Caruaru, Pernambuco, 2017.

SILVA, T. P. **Utilização do efeito Peltier para resfriamento de ambientes**. Orientador: Luiz Gustavo Martins Vieira. 2021. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.669>

TIPLER Paul Allan, 1933 - **Física para Cientistas e Engenheiros**, V.1: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica/ Paul A. Tipler, Gene Mosca; tradução Fernando Ribeiro da Silva, Gisele Maria Ribeiro Vieira, - Rio de Janeiro: LTC, 2006

TRABALHOS DE **estudantes em Feira de Ciências**. Folha de São Paulo, São Paulo, p. 6, 8 abr. 1960.

VOLPE, P. L. O. **O que são termopastilhas, como funcionam e como os químicos podem utilizar estes componentes**. Instituto de Química – departamento de FísicoQuímica – UNICAMP – Campinas – SP, 1992.