



REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA: EXPLORANDO O EFEITO PELTIER EM UM SISTEMA CASEIRO DE REFRIGERAÇÃO

THERMOELECTRIC COOLING: EXPLORING THE PELTIER EFFECT IN A HOME COOLING SYSTEM

Claysson Campos Soares, Marcelo Marques da Silva, Jonas Antônio Padovani Ederli

Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP.

E-mail: clayssoncampos@gmail.com

RESUMO

Os semicondutores são matéria-prima para a produção de circuitos integrados e *chips*, sendo fundamentais na evolução das tecnologias modernas. Entretanto, outros efeitos podem ser explorados, como é o caso das células e pastilhas de Efeito Peltier que, quando submetidas a uma diferença de potencial em seus terminais possuem a capacidade de absorver calor em uma de suas faces, diminuindo sua temperatura, enquanto o dispersa na face oposta, que tem sua temperatura aumentada. Tal constatação permitiu que esse equipamento termoelétrico pudesse ser utilizado em processos de refrigeração de pequenos volumes, combinados a outros aparatos como dissipadores de calor e pequenos ventiladores, essenciais para melhorar o desempenho do conjunto quando dispostos entre si. A disponibilidade e fácil acesso a esses componentes, bem como da construção de um pequeno ambiente controlado e isolado termicamente, permitiram desenvolver um projeto de sistema de refrigeração que se utiliza dos fenômenos termoelétricos das pastilhas de Efeito Peltier. O refrigerador confeccionado fortalece a aplicação das pastilhas nesse quesito, expondo amplitudes térmicas de 14,8°C em relação ao ambiente e mostrando eficácia na diminuição da temperatura em até 11°C em um volume de 250 ml de água inserida nele.

Palavras-chave: semicondutores; pastilhas de Efeito Peltier; temperatura; projeto; sistema de refrigeração.

ABSTRACT

Semiconductors are raw material for the production of integrated circuits and chips, playing a fundamental role in the evolution of modern technologies. However, other effects can be explored, as is the case of Peltier Effect cells and tablets which, when subjected to a potential difference at their terminals, have the ability to absorb heat on one of their faces, lowering its temperature, while dispersing it on the opposite face, which has its temperature increased. This finding allowed that this thermoelectrical equipment could be used in cooling processes of small volumes, combined with other devices such as heat sinks and small fans, essential to improve the performance of the set when placed together. The availability and easy access to these components, as well as the construction of a small controlled and thermally isolated environment, allowed the development of a cooling system project that uses the thermoelectric phenomena of the Peltier Effect tablets. The refrigerator made strengthens the

application of tablets in this regard, exposing thermal amplitudes of 14.8°C in relation to the environment, and showing effectiveness in reducing the temperature by up to 11°C in a volume of 250 ml of water inserted in it.

Keywords: semiconductors; Peltier Effect tablets; temperature; project; refrigeration system.

INTRODUÇÃO

Norteadas pelos avanços tecnológicos que circundavam a sociedade moderna, essencialmente nos meios industriais e de conservação alimentar, a concepção de máquinas térmicas de refrigeração se tornou cada vez mais relevante.

Os processos de refrigeração conhecidos atualmente se desenvolveram à medida que as ciências térmicas, em especial a Termodinâmica, tomaram notoriedade, trazendo conceitos e leis que regem o comportamento de corpos dotados de temperatura, bem como a relação entre o calor e outras formas de energia (Kreith; Manglick; Bohn, 2003).

A refrigeração pode ser definida como um processo de remoção de calor de um corpo em que se pretende reduzir ou controlar a temperatura, transferindo-o para outro ambiente (Menna, 2008). Métodos convencionais contam com a evaporação de um fluido refrigerante utilizando um sistema de refrigeração a vapor (Guimarães, 2012).

Dentro do ramo e sob outra perspectiva, os avanços na termoelétrica permitiram que pastilhas Peltier pudessem ser adotadas na refrigeração de pequenos volumes (Moura, 2010).

Pastilhas Peltier são pequenas unidades que utilizam tecnologia de matéria condensada para operarem na transferência de calor, e o dimensionamento de um sistema de refrigeração baseado nessas células requer estimativas de cargas térmicas e temperaturas nas faces quente e fria do dispositivo (Rufino, 2016).

O resfriamento com esse equipamento é silencioso e as pastilhas, apresentadas comercialmente na Figura 1, têm vida útil de alguns anos, desde que observado os limites estabelecidos pelo fabricante (Silva, 2021).

Figura 1. Exemplos de pastilhas Peltier comerciais.



Fonte: (Santos, 2016).

A aplicação das pastilhas Peltier é observada atualmente em alguns aparelhos, como pequenos refrigeradores, estufas controladas para medicamentos, pequenos sistemas de condicionamento de ar e bebedouros refrigerados para criação de animais, por exemplo (Rufino, 2016).

Posto isto, o presente artigo propõe relacionar os semicondutores às pastilhas Peltier e trazer a metodologia e avaliação gráfica dos resultados obtidos com a confecção doméstica de um pequeno refrigerador termoelétrico, no que se refere à construção do módulo Peltier e do recipiente controlado. É proposto também associá-los à teoria por trás dos mecanismos de transferência de calor envolvidos, com a simulação computacional da condução térmica de calor em uma seção elementar da parede do compartimento no momento da estabilidade térmica do refrigerador.

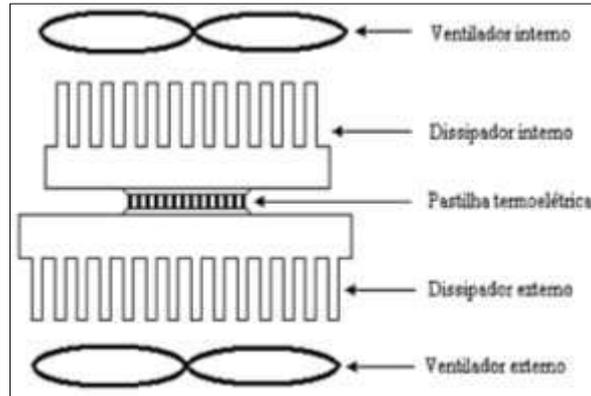
EFEITO E MÓDULOS PELTIER

O Efeito Peltier foi descoberto em 1834 por Jean Charles Peltier e consiste em uma variação do experimento de Thomas Seebeck (1821), no qual uma diferença de potencial era gerada em um circuito composto por dois semicondutores metálicos quando submetidos a temperaturas distintas (Moura, 2010). O Efeito Peltier, por sua vez, promove um gradiente de temperatura na junção entre dois semicondutores

mediante a uma diferença de potencial elétrico aplicada (Fernandes *et al.*, 2010), transferindo o calor da junta fria (face fria do dispositivo, no caso) para a junta quente (face quente) (Bueno; Daloski; Almeida, 2018).

O uso de dissipadores de calor e sistemas de ventilação se faz necessário no processo de dissipação térmica da face cerâmica quente e melhor aproveitamento da convecção e resfriamento da parte fria, normalmente voltada para um ambiente controlado e devidamente isolado (Silva, 2021). Para tanto, é necessário a disposição destes componentes de forma a configurar um módulo (Fernandes *et al.*, 2010), semelhante ao mostrado na Figura 2.

Figura 2. Disposição típica dos elementos.



Fonte: (Fernandes *et al.*, 2010).

SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E DISSIPÇÃO TÉRMICA

O uso de dissipadores de calor, fabricados normalmente em alumínio ou cobre (materiais de alta condutividade térmica, segundo Halliday e Resnick (2016)), é indispensável em ambas as faces do dispositivo (Bueno; Daloski; Almeida, 2018), como também de um sistema de ventilação, para assegurar a convecção forçada responsável por retirar calor da face quente e maximizar o desempenho da refrigeração da face fria (Moura, 2010).

Nas interfaces entre as faces do dispositivo Peltier e seus respectivos dissipadores é recomendado a aplicação de pasta térmica, a fim de melhorar o contato térmico e transferência de calor entre estes (Fernandes *et al.*, 2010).

Acerca do sistema de dissipação térmica, Quites e Lia (s.d.) enfatizam que dissipadores são estruturas que permitem a troca de calor entre fluidos (no caso, o ar atmosférico) separados ambos por uma parede sólida de baixa resistência térmica (as extensões aletadas de pequena espessura do dissipador), como esquematizado na Figura 3.

Figura 3. Esquematização de um dissipador de calor de aletas retangulares semelhante aos utilizados.



Fonte: Modificado de (Quites; Lia, s.d.).

Para tanto, é interessante o uso de um dissipador de medida coincidente a da pastilha Peltier para o resfriamento do interior do compartimento, com o intuito de concentrar a refrigeração e mitigar a transferência térmica entre este e o dissipador da face quente, que deve ser consideravelmente maior (Moraes; Guilherme, 2020).

SEMICONDUCTORES NA TECNOLOGIA DAS PASTILHAS PELTIER

O que diferencia os materiais condutores dos isolantes (dielétricos) é a extensão do que se denomina “zona proibida”, que é a região da eletrosfera atômica onde não é possível a permanência e transição dos elétrons entre os níveis da banda de valência (nível mais sujeito a interações com o núcleo, que praticamente impossibilita a entrada ou retirada de elétrons naturalmente) e da banda de condução (nível mais distante do núcleo que permite a retirada de elétrons mediante força elétrica, vinculada ao tipo de material) (Ribeiro, 2013), ilustradas na Figura 4.

Figura 4. Distribuição das bandas de acordo com a condutividade elétrica dos materiais.



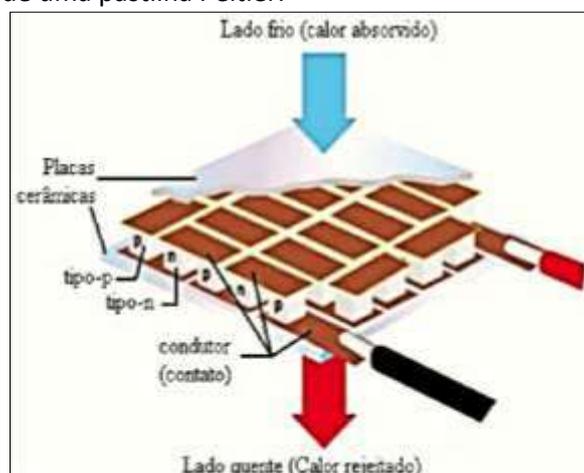
Fonte: (RIBEIRO, 2013).

Materiais semicondutores tem condutividade elétrica intermediária em relação aos condutores e aos isolantes, devido à ocorrência de valores intermediais de “zona proibida”, o que permite que sejam deliberadamente dopados por meio da aplicação de impurezas em sua estrutura cristalina para conferi-los caráter condutor (Ribeiro, 2013).

O processo químico da dopagem produz dois tipos de condutores, sendo o tipo N, dopado com átomos em excesso de elétrons na camada de valência; e do tipo P, com deficiência de elétrons (Moreira; Malavazi; Miyazaki, 2014).

As pastilhas de Efeito Peltier, por sua vez, constituem-se de elementos semicondutores de telureto de bismuto (Bi_2Te_3) dopados com Selênio para o tipo N e com Antimônio para o tipo P (Campanholi Júnior, 2019), conectados em série eletricamente e em paralelo termicamente (Fernandes *et al.*, 2010). Quando estes elementos são submetidos à passagem de corrente elétrica, ocorre a absorção de calor do ambiente e consequente diminuição de temperatura em uma das faces cerâmicas (face fria) e aumento na outra face (face quente), pela qual o calor é dissipado (Rufino, 2016), conforme a Figura 5.

Figura 5. Esquema funcional de uma pastilha Peltier.

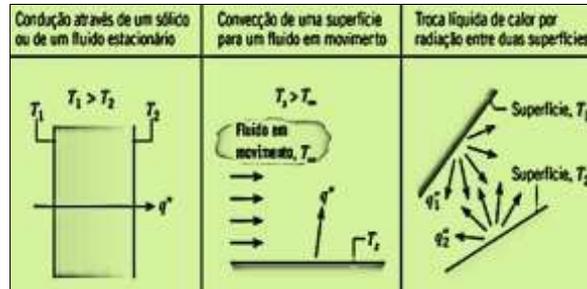


Fonte: (Fernandes *et al.*, 2010).

FENÔMENOS TÉRMICOS ENVOLVIDOS

Projetar um sistema de refrigeração que se utiliza de pastilhas Peltier exige noções básicas de Termodinâmica, especialmente no que diz respeito às formas de transferência de calor. Os estudos de Halliday e Resnick (2016) relacionam o calor ao transporte de energia térmica entre corpos com temperaturas distintas (T_n), bem como que existem três formas de sua transferência (q''), sendo elas: a condução, a convecção e a radiação, esquematizadas na Figura 6.

Figura 6. Esquematização dos modos de transferência de calor.



Fonte: Adaptado de (Bergman; Lavine, 2019).

O desenvolvimento de projetos deste gênero requer a avaliação da potência de refrigeração e variação térmica do módulo durante seu funcionamento, podendo ser feita fundamentalmente por meio de um termômetro que indica a temperatura nas aletas dos dissipadores até a ocorrência da estabilidade (Moura, 2010).

Outro ponto a destacar se trata da escolha e dimensionamento das camadas isolantes do ambiente controlado em razão do fenômeno da condução térmica, pelo qual a transferência de calor se dá em meios geralmente sólidos em contato entre si (Pereira Filho, 2016). Portanto, as paredes do compartimento necessitam ser isoladas termicamente com materiais de baixa condutividade térmica (Moraes; Guilherme, 2020), haja vista que a diferença de temperaturas entre o ambiente externo (de maior temperatura) e o ambiente interno do refrigerador (o qual se pretende resfriar), provoca um fluxo de calor neste sentido, prejudicando a eficiência de refrigeração.

O fenômeno da convecção se apresenta na disposição superior do módulo Peltier em relação ao compartimento, que se dá pelo fato de que o ar frio, que é mais denso e está voltado para dentro deste, tende a descer, enquanto o ar quente a subir, formando correntes de convecção que são reforçadas pelo uso de um ventilador interno e estabilizam a temperatura no interior do refrigerador. Nesta linha, a convecção também se apresenta na dissipação de calor das aletas do dissipador externo (em temperatura maior) para o fluido circundante que, no caso, é o ar ambiente (Quites; Lia, s.d.).

A radiação térmica, que consiste na transferência de calor via ondas eletromagnéticas em corpos com temperatura superior ao zero absoluto (0 K), pode ser observada nas estruturas aletadas dos dissipadores de calor, porém seus valores são irrisórios se comparados aos demais fenômenos na situação vigente de convecção forçada (Shabany, 2008). Em relação ao revestimento, este fenômeno pode ser minimizado com o uso de materiais com superfícies refletivas ou espelhadas (Pereira Filho, 2016).

Desta forma, o melhor desempenho de um sistema de refrigeração por meio de células Peltier está diretamente ligado ao aproveitamento e análise dos fenômenos de transferência de calor e, para tal, promover boas camadas de isolamento para o refrigerador e convecção forçada intensa nos dissipadores, tal como examinar o processo de funcionamento das pastilhas e sua eficiência térmica, é imprescindível.

MATERIAL E MÉTODOS

A pastilha Peltier utilizada é a TEC1-12708, exibida na Figura 7, que opera com até 15,2 V de tensão e 8 A de corrente elétrica, com potência máxima de 121,6 W. O dispositivo é quadrado e possui dimensões de 40 mm e 3,5 mm de espessura.

Figura 7. Pastilha Peltier TEC1-12708 utilizada.

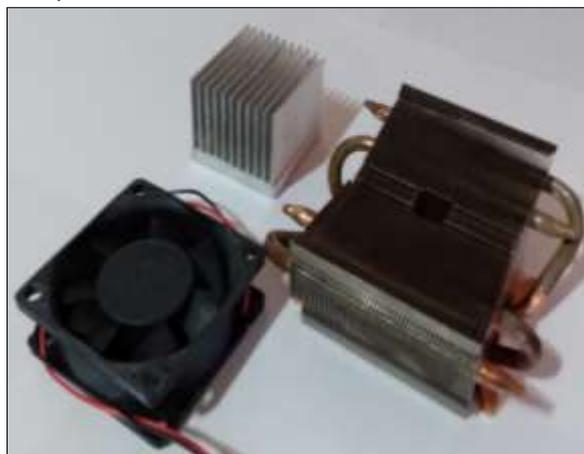


Fonte: Os autores.

Os dissipadores de calor empregados foram retirados de um computador em desuso para aplicação no presente projeto e se tratam de um de medidas suficientemente superiores, para dissipação de calor da face quente, e um com as mesmas medidas da pastilha Peltier, para a face fria. Foi aplicada pasta térmica em ambos os contatos com a pastilha.

Quanto a ventilação, é realizada por ventiladores de computadores, conhecidos comercialmente como *coolers*, do modelo 60 mm x 60 mm x 25 mm, com alimentação de 12 V, corrente de 0,14 A, velocidade de rotação de 5000 RPM e vazão de aproximadamente $0,011 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ - o mais aceitável dentre os disponíveis comercialmente - sendo dois deles para o dissipador maior e um para o menor. Os dissipadores e ventilador utilizados estão expostos na Figura 8.

Figura 8. Modelos usados de dissipadores de calor e ventilador.



Fonte: Os autores.

Todos estes componentes são dispostos entre si formando um módulo que possui uma pequena chapa intermediária e isolante de madeira MDF (*Medium-density fireboard*, de “fibra de média densidade”, em inglês) que aloja a pastilha e comprime os itens mencionados, pelo aperto de porcas metálicas em quatro segmentos de barra roscada, consoante à Figura 9. A chapa é tingida com cor clara, no caso branco, para refletir de forma mais espontânea o calor projetado e transferido desfavoravelmente do dissipador quente para a superfície superior do compartimento (Kreith; Manglick; Bohn, 2003).

Figura 9. Módulo Peltier confeccionado.



Fonte: Os autores.

O recipiente controlado foi desenvolvido a partir de uma caixa de poliestireno expandido (EPS) térmica de 5 litros com tampa frontal articulada e as dimensões externas de 285 mm x 175 mm x 185 mm e 15 mm de espessura, usinada na parte superior onde foi assentado e fixado a superfície de madeira MDF do módulo Peltier confeccionado. A localização deste assentamento é devidamente isolada com fitas refletivas para evitar transferências indesejadas de calor por radiação nesta região.

Mediante o supracitado, o fenômeno da condução térmica deve ser observado e, para tanto, as paredes da caixa térmica de poliestireno expandido (EPS) são revestidas com algumas camadas de materiais de baixa condutividade térmica, no caso, EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*, de “Etileno acetato de vinila”, em inglês) com 1,5 mm e 10 mm de espessura e folhas de papel alumínio refletoras (Pereira Filho, 2016), aderidas com colas específicas. A tampa frontal, conforme a Figura 10, é também contornada com uma faixa interna de espuma *soft*, utilizada em estofados, devido sua conhecida baixa condutividade térmica (em razão das bolsas de ar da sua estrutura). Na parte inferior foi instalado um contrapeso para estabilidade do projeto.

Figura 10. Recipiente controlado.



Fonte: Os autores.

A fonte que alimentará os componentes elétricos, dispostos em paralelo, fornece 12 V e 10 A e é do tipo *dual voltage*. Uma vez que devidamente montado e feitas as ligações elétricas, estas são acondicionadas em uma cápsula na lateral externa, dotada de um interruptor para ligar e desligar, como também da entrada elétrica do sistema. Desta forma, termodinamicamente, o calor transferido da face fria

(isto é, do interior do compartimento) para a face quente, é dispersado pelo dissipador maior e seus ventiladores para o ambiente externo, ou seja, o ambiente interno perde temperatura, que é medida por um termômetro digital com visor LCD (*Liquid Crystal Display*, de “tela de cristal líquido”, em inglês) com sensor remoto, da Figura 11, instalado na cápsula e com sonda de leitura voltada para o meio, mais precisamente na parte inferior interna do compartimento, sendo protegido contra interferências de contato térmico por uma fina grade metálica.

Figura 11. Termômetro digital LCD com sensor remoto utilizado.



Fonte: Os autores.

Diante dos conceitos e aplicações apresentados, a temperatura interna tende a se estabilizar em temperatura menor que a do ambiente, constituindo um refrigerador, finalizado e demonstrado nas Figuras 12 e 13.

Figura 12. Projeto finalizado em funcionamento.



Fonte: Os autores.

Figura 13. Projeto finalizado com a tampa aberta.



Fonte: Os autores.

RESULTADOS

Anteriormente a sua instalação, foi realizada uma aferição de temperatura no módulo Peltier desenvolvido com o mesmo aparato térmico de medição, constatando que a pastilha, em seu lado frio, alcançava $-7,6^{\circ}\text{C}$, exibida na tela do termômetro na Figura 14, com a formação de uma fina camada de gelo sobre esta, oriunda da condensação e solidificação da umidade presente no ar atmosférico; enquanto as aletas do dissipador interno alcançavam $+2,5^{\circ}\text{C}$ em estabilidade em cerca de 20 minutos, corroborando para o fato de que o uso de pastilhas Peltier fosse eficiente neste projeto.

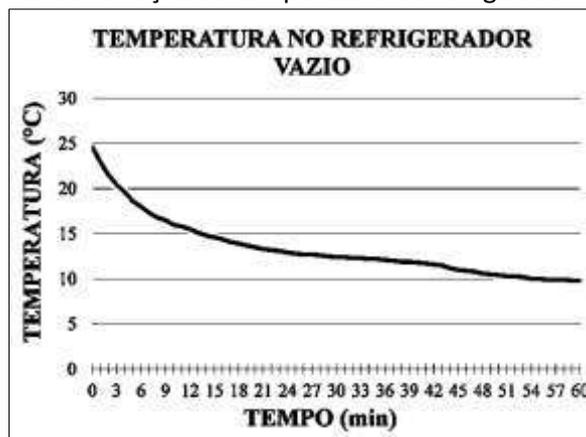
Figura 14. Medição de temperatura na face fria do Peltier em funcionamento.



Fonte: Os autores.

A eficácia do sistema de refrigeração foi observada em duas condições distintas: a começar com o recipiente vazio e, posteriormente com a introdução de alguns alimentos e bebidas, a fim de se perceber, por degustação, a sensação térmica destes após o processo. A princípio, em ambos os casos, a temperatura inicial do compartimento se encontrava em $+24,6^{\circ}\text{C}$ (em estabilidade com a temperatura do ambiente), a qual foi analisada e anotada a cada minuto no decorrer de uma hora de funcionamento (60 minutos). No primeiro caso, estabilizou-se ao final em $+9,8^{\circ}\text{C}$, sendo exibida na representação gráfica da Figura 15.

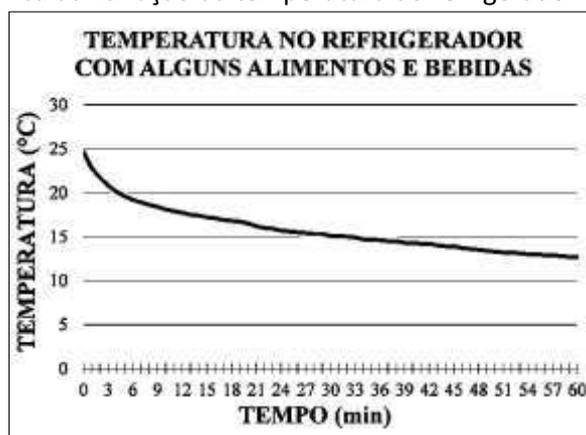
Figura 15. Representação gráfica da variação da temperatura do refrigerador no caso 1.



Fonte: Os autores.

Por outro lado, no segundo caso, a temperatura final chegou em $+12,7^{\circ}\text{C}$, decrementando ao longo do período, conforme a representação gráfica da Figura 16. Nas bebidas, foi constatada também uma diminuição em sua temperatura: uma amplitude térmica de aproximadamente $+11,0^{\circ}\text{C}$ em 250 ml de água analisada.

Figura 16. Representação gráfica da variação da temperatura do refrigerador no caso 2.



Fonte: Os autores.

Laboratorialmente, averiguou-se que a pastilha Peltier operou, neste processo, em 12 V e 3,43 A, ou seja, a própria construção industrial do equipamento requer corrente inferior à declarada em sua ficha técnica, fornecendo então 41,16 W, o que inferioriza a potência de refrigeração interna, sendo inevitável o uso de modelos de corrente elétrica superiores para um desempenho maior do projeto. O fato da diferença entre a temperatura das aletas do dissipador frio e do ambiente controlado se dá justamente pelo fluxo de calor das paredes do recipiente, essencialmente na região da porta e entorno do módulo, já que não são ideais, assim afetando negativamente o desempenho do refrigerador como um todo. Outro ponto a se destacar é a baixa eficiência geral dos dissipadores, sobretudo do responsável por retirar calor da face quente, uma vez que a pastilha o concentra em uma pequena área, diminuindo a performance de dissipação (Campanholi Júnior, 2019).

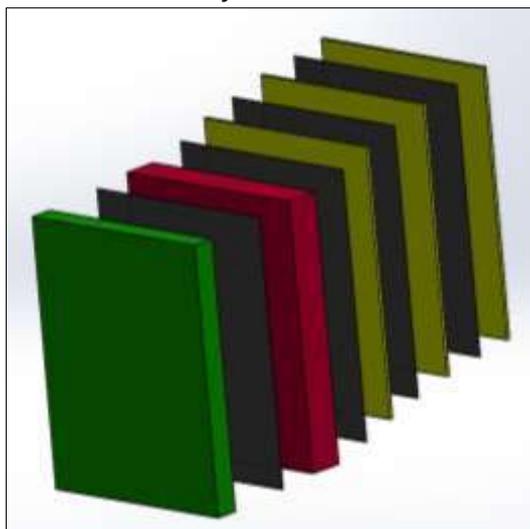
ESTUDO COMPUTACIONAL DA CONDUÇÃO TÉRMICA NA PAREDE DO COMPARTIMENTO

A disposição das camadas isolantes do compartimento permitiu que fosse realizado um estudo do comportamento da dissipação do calor via condução térmica de Fourier com o *software SolidWorks* - referência neste tipo de análise - em uma pequena seção superficial genérica e homogênea da parede desenvolvida, com formato quadrado e dimensões de 100 mm. As variáveis térmicas inseridas foram baseadas nas temperaturas inicial e final expostas pelo gráfico gerado no caso 1 (Figura 15).

A Lei da Condução de Fourier enuncia que o fluxo de calor em corpos homogêneos e suas associações, submetidos à condução térmica, é proporcional à condutividade térmica do material que o compõe, à área superficial e a variação de temperatura, mas também inversamente proporcional à espessura da camada (Kreith; Manglick; Bohn, 2003).

Os materiais que compõem as paredes do recipiente estão destacados com suas devidas disposições conforme a Figura 17, partindo do meio externo para o interno, e foram isolados entorno da caixa de EPS (que apresenta condutividade térmica $k = 0,035 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ e representada na cor bordô), com EVA ($k = 0,036 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) de 1,5 mm e 10 mm de espessura, representados nas cores amarelo e verde, respectivamente. Entre estas camadas, foram intercaladas folhas de papel alumínio ($k = 237 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), expostas em cinza, e que, por serem refletivas, seriam úteis no processo de impedir a transferência de calor por radiação para dentro do refrigerador.

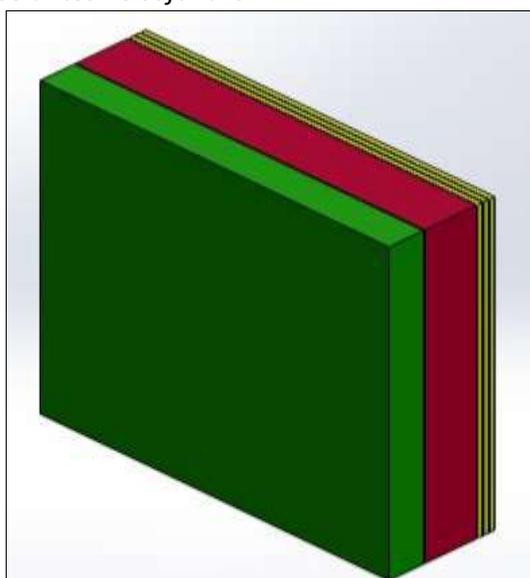
Figura 17. Disposição das camadas isolantes no *software*.



Fonte: Os autores.

A união dos materiais segue de acordo com a perspectiva da Figura 18. Ambas projeções foram desenvolvidas no *software SolidWorks*.

Figura 18. União das camadas isolantes no *software*.



Fonte: Os autores.

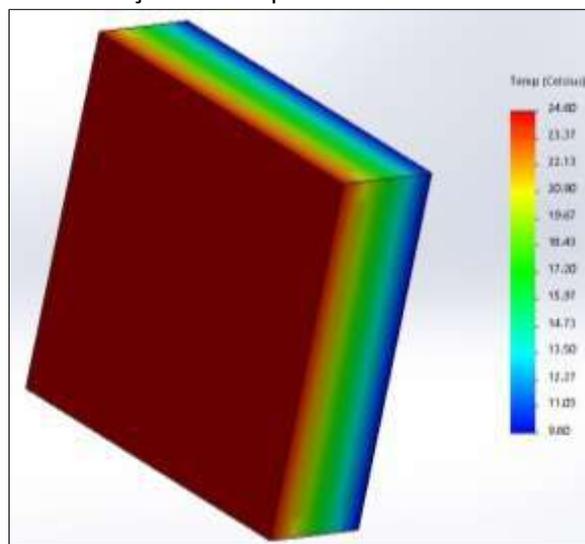
A fim de tornar a análise térmica o mais elementar possível, considerou-se que as camadas de papel alumínio não contribuiriam significativamente no fenômeno da condução térmica, em razão da sua

espessura substancialmente pequena (entre 0,06 e 0,1 mm, de acordo com o fabricante). Considerou também que a camada mais exterior (EVA exposto em verde) encontrava-se, ao final de 60 minutos de funcionamento, na mesma temperatura que o ambiente controlado inicial, ou seja, a variação da temperatura ambiente sobre o exterior do refrigerador neste período foi julgada desprezível.

As convecções natural e forçada, respectivamente relacionadas ao ambiente externo e interno (pelo uso do ventilador), não foram inseridas, haja vista que o processo de obtenção de tais medidas, como coeficientes de convecção e de película (no contato intrínseco entre as camadas da parede), é extremamente analítico ou experimental, e requer incorporar inúmeras variáveis relativas ao fluido (ar atmosférico) como densidade, viscosidade dinâmica e velocidade, como também das características geométricas e térmicas do corpo submetido à convecção (Silva *et al.*, 2019), o que foge do escopo do projeto. Quaisquer manifestações da radiação térmica também foram desprezadas, conforme mencionado.

A execução da simulação da condução térmica é manifestada na Figura 19, evidenciando que o fluxo de calor é quase constante e suave à medida que adentra as camadas isolantes no sentido do interior do compartimento (de +24,6°C do exterior para +9,8°C do interior), conforme o que se esperava; e se dá pelo fato de que os materiais que foram utilizados possuem valores muito próximos entre si em relação às suas condutividades térmicas.

Figura 19. Simulação térmica de uma seção do compartimento ao fim de uma hora no caso 1.



Fonte: Os autores.

Outro ponto a se perceber é a adequabilidade dos materiais aplicados no projeto, essenciais para impedir transferências de calor, em razão de suas baixas condutividades térmicas; e induzindo a observação de que regiões não homogêneas como a da tampa frontal (que não possui contato ideal com o compartimento) e na região de instalação do módulo (que é o limiar entre os dissipadores com temperaturas distintas), devem ser muito melhor isoladas termicamente em projetos desta classe, afim de se angariar resultados ainda mais satisfatórios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração de tal projeto contribuiu para fundamentar as aplicações dos módulos Peltier no que diz respeito à refrigeração, bem como inter-relacioná-los às pesquisas e tecnologias envolvendo os semicondutores, objeto de fascínio dos cientistas contemporâneos e presente nas mais diversas áreas atualmente. Desta forma, esta concepção consegue reunir diferentes áreas de estudo, partindo dos circuitos elétricos e termoeletricidade, essenciais nos dispositivos conectados, e alcançando as ciências térmicas e seus mecanismos de transferência de calor, servindo adequadamente para ilustrar estes conteúdos de forma didática nas disciplinas ministradas academicamente, quando aliadas aos cálculos e dimensionamentos pertinentes.

Do ponto de vista técnico, as aplicações das células e pastilhas do Efeito Peltier representam um grande potencial explorável no que tange os sistemas de refrigeração termoelétricos, especialmente pelo fato de já estarem presentes em alguns equipamentos, como mostrado.

REFERÊNCIAS

BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BUENO, A. L.; DALOSKI, L. C.; ALMEIDA, R. D. **Aplicação de pastilhas Peltier para fabricação de hidromel**. 2018. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em automação Industrial) - Departamento de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

FERNANDES, J. D. F. S. *et al.* Refrigeração utilizando pastilhas de Efeito Peltier. **HOLOS**, Natal, v. 2, p. 25–31, 2016. <https://doi.org/10.15628/holos.2010.383>

PEREIRA FILHO, S. C. **Análise de duas propostas de métodos – propagação cilíndrica e plana – para a determinação da capacidade de isolamento térmico de mantas de EVA**. 2016. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) - Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, 2016.

GUIMARÃES, C. R. **Dimensionamento de um sistema de refrigeração para uma máquina fabricante de gelo**. 2012. 60f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Automação e Sistemas, Universidade São Francisco. Campinas, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 9. ed. Rio de Janeiro : LTC, 2016.

CAMPANHOLI JÚNIOR, 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. 197f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019.

KREITH, F.; MANGLIK, R. M.; BOHN, M. S. **Principles of Heat Transfer**. 7. ed. Stanford: Cengage Learning: 2011.

MENNA, M. R. M. **Modelagem e análise de custo de sistemas de refrigeração por absorção**. 2008. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Desenvolvimento de Processos - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

MOURA, J. A. S. **Filmes nanométricos de FeN e AlN crescidos por sputtering e aplicações do Efeito Peltier**. 2010. 147f. Tese (Doutorado em Física) - Departamento de Física Teórica e Experimental - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

MORAES, R. S.; GUILHERME, A. P. Aprendizagem de conceitos físicos a partir da construção de uma mini geladeira de pastilha Peltier. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 4, p. 84–97, 2020 <https://doi.org/10.26512/rpf.v4i3.31837>

MOREIRA, G. A. Z.; MALAVAZI, L.; MIYAZAKI, Y. G. **Condicionador de ar por Efeito Peltier**. 2014. 73f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Automação e Sistemas, Universidade São Francisco. Campinas, 2014.

QUITES, E. E. C.; LIA, L. R. B. **Introdução à Transferência de Calor**.

RIBEIRO, W. S. **Semicondutores: um panorama geral com ênfase na purificação do Silício**. 2013. 44f. Monografia (Graduação em Licenciatura em Física) - Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2013.

RUFINO, C. A. **Bebedouro refrigerado tipo nipple para criação animal utilizando Efeito Peltier**. 2016. 171f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Instrumentação - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

SANTOS, A. V. **As pastilhas termopar nas aulas experimentais de termologia**. 2016. 106f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física- Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2016.

SHABANY, Y. Radiation heat transfer from plate-fin heat sinks. In: 24th SEMICONDUCTOR THERMAL MEASUREMENT AND MANAGEMENT SYMPOSIUM, 2008. San Jose. **Anais [...]**. San Jose: IEEE, 2008. P. 132-136. <https://doi.org/10.1109/STHERM.2008.4509379>

SILVA, L. N. *et al.* Determinação do coeficiente de transferência de calor por convecção natural e forçada em um corpo de alumínio. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS (CONAPESC), 2019, Campina Grande. **Anais [...]** Campina Grande: Realize, 2019.

SILVA, T. P. **Utilização do Efeito Peltier para resfriamento de ambientes**. 2021. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.