

Geração de energia através da diferença de temperatura

Generation of energy through temperature difference

Martin Hideki Mensch Maruyama¹ , Gustavo Alves da Silva Bezerra¹ ,
Iago Rathecke Ellwanger¹ , Cristiano Fradaloza Maidana¹ , Charles Rech¹ ,
Simone Ferigolo Venturini¹ , André Francisco Caldeira¹ 

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil

RESUMO

A energia solar é uma fonte de energia renovável e pode ser utilizada de maneira direta ou indireta. Uma das formas de se aproveitar da energia solar indiretamente é através do efeito Seebeck que consiste na geração de uma diferença de potencial elétrico a partir da diferença de temperatura entre dois materiais condutores ou semicondutores. Baseado no princípio de funcionamento deste efeito, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver um protótipo para a alimentação de dispositivos eletrônicos pela energia gerada de placas Peltier acopladas a uma caixa térmica. Nos testes realizados foi possível obter até 0,6W de potência elétrica nos terminais de carregamento. Tal resultado é diretamente influenciado pela baixa incidência solar e pelo número de placas Peltier utilizadas, de modo que a potência gerada pode ser aumentada com a utilização de mais módulos Peltier. A pesquisa visa contribuir para o entendimento da tecnologia termoelétrica na geração de energia solar indireta, com implicações para futuros desenvolvimentos em energia renovável.

Palavras chave: Efeito Seebeck; Energia solar; Energia termoelétrica; Energia renovável

ABSTRACT

Solar energy is a renewable energy source that can be harnessed either directly or indirectly. One way to utilize solar energy indirectly is through the Seebeck effect, which involves generating an electrical potential difference from a temperature difference between two conductive or semiconductor materials. Based on the operational principle of this effect, the present study aims to develop a prototype for powering electronic devices using the energy generated from Peltier plates attached to a thermal box. In the conducted tests, it was possible to achieve up to 0.6W of electrical power at the charging terminals. This result is directly influenced by the low incidence of solar radiation and the number of Peltier plates used, suggesting that the generated power can be increased by incorporating more Peltier



modules. The research aims to contribute to the understanding of thermoelectric technology in the indirect generation of solar energy, with implications for future advancements in renewable energy.

Keywords: Seebeck effect; Solar energy; Thermoelectric energy; Renewable energy

INTRODUÇÃO

As energias renováveis representam hoje apenas 13% do consumo mundial de energia e apresentam um crescimento constante, no seu conjunto, mais rapidamente do que o consumo de combustíveis fósseis [1]. A irradiação solar constitui uma opção limpa e renovável para a produção de energia [2]. Nesse âmbito, a energia solar mostra-se uma alternativa viável e atrativa, principalmente em regiões tropicais, as quais estão sujeitas a receber níveis de irradiação solar mais elevados e por maiores intervalos de tempo.

O aproveitamento da energia solar pode ser realizado de diferentes formas, através de placas fotovoltaicas ou por meio da conversão da energia térmica associada à irradiação solar. A energia elétrica gerada a partir da conversão da energia térmica é chamada de termoeletricidade [3], e uma das formas de se realizar essa conversão de energias é por meio de geradores termoelétricos (TEG) que possuem características como conversão de energia direta, longa vida útil, confiabilidade e compatibilidade com diversos sistemas, além da possibilidade de operarem também como resfriadores ou aquecedores. Esses dispositivos possuem tal capacidade por conta de seu princípio de funcionamento ser baseado no efeito Seebeck [4][5].

O efeito Seebeck foi descoberto em 1821 por Thomas Seebeck, e consiste na geração de uma diferença de potencial no momento em que dois materiais condutores ou semicondutores, que apresentam um gradiente de temperatura entre eles, são colocados em contato. O gradiente de voltagem gerado é proporcional à diferença de temperaturas dos materiais, assim como o coeficiente de Seebeck S é a representação dessa proporcionalidade e pode apresentar valores negativos e positivos dependendo da maneira com que os elétrons são dispersados pelo material [6][7].



Um tipo de dispositivo TEG usado para conversão de energia térmica em energia elétrica é o módulo termoelétrico do tipo π , comumente chamado de placa Peltier, cuja estrutura consiste em elementos de junção PN agrupados entre duas placas de material polimérico ou cerâmica, e são indicados para aplicações em que o fluxo de calor é perpendicular às placas [8].

Neste trabalho, é apresentado o desenvolvimento de um protótipo que utiliza o efeito Seebeck para a geração de energia elétrica por meio de placas Peltier acopladas a uma caixa térmica, com o intuito de utilizar a energia gerada para o carregamento de equipamentos eletrônicos. O objetivo do projeto se baseia em fornecer energia a dispositivos eletrônicos, como celulares, em situações em que o usuário se encontra em locais onde não há acesso a outras fontes de alimentação, como tomadas convencionais, ao mesmo tempo, em que é possível gerar energia de maneira sustentável provinda da diferença de temperaturas externa e interna da caixa térmica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Para a concepção deste projeto, foi utilizada uma caixa térmica, duas placas Peltier para a geração de energia elétrica, uma fonte regulável de tensão para estabilizar a tensão em 5.0V e inibir variações decorrentes do contato de objetos dentro da câmara fria com as placas, um adaptador de entrada USB para permitir o carregamento de dispositivos eletrônicos, chapas de alumínio para conduzir o calor para as placas Peltier de maneira uniforme, e também um compartimento impresso em 3D (*case*) para acoplar todos os componentes. A Figura 1 apresenta os materiais utilizados no protótipo.

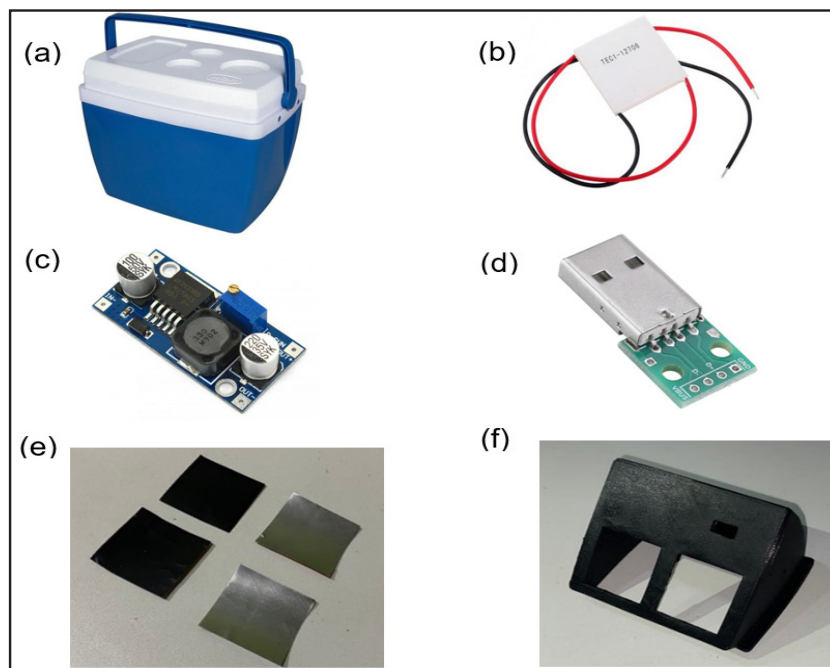


Figura 1 – (a) caixa térmica; (b) Placa Peltier TEC1-12706; (c) regulador de tensão; (d) adaptador USB; (e) chapas de alumínio; (f) case impressa em 3D

O elevador de tensão opera com uma entrada mínima de tensão de 2,0V e com uma saída de 5,0V, que é a mesma compatível com equipamentos eletrônicos convencionais com entrada padrão USB. O modelo da placa Peltier utilizada é o TEC1-12706, cujas especificações de desempenho são apresentadas na Tabela 1. A ficha técnica do modelo também informa uma temperatura máxima de operação de 411K e dimensões de 40x40x3.5mm.

Tabela 1 – Especificações da placa Peltier modelo TEC1-12706

Parâmetros	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura da face quente (K)	298	323
Potência (W)	50	57
ΔT_{max} (K)	66	75
Corrente elétrica máxima (A)	6,4	6,4
Tensão máxima (V)	14,4	16,4
Resistência (Ω)	1,98	2,30

Métodos

Montagem

No processo de montagem do sistema, primeiro foram soldados o regulador de tensão, as placas Peltier e o adaptador de entrada USB, que compõem então o sistema de conversão de energia térmica em energia elétrica e sistema de alimentação. Após isso, as chapas de alumínio com 0,03mm de espessura foram fixadas às faces das placas Peltier utilizando pasta térmica para aumentar o contato térmico. Depois, o circuito foi acoplado ao case, que por sua vez foi fixado na parte lateral da caixa térmica em uma seção vazada. Para fixar o case na caixa térmica, foi utilizado silicone que serviu tanto para impedir que o case se deslocasse como para evitar que houvesse entrada de calor na câmara fria. A Figura 2 apresenta a configuração final do protótipo.

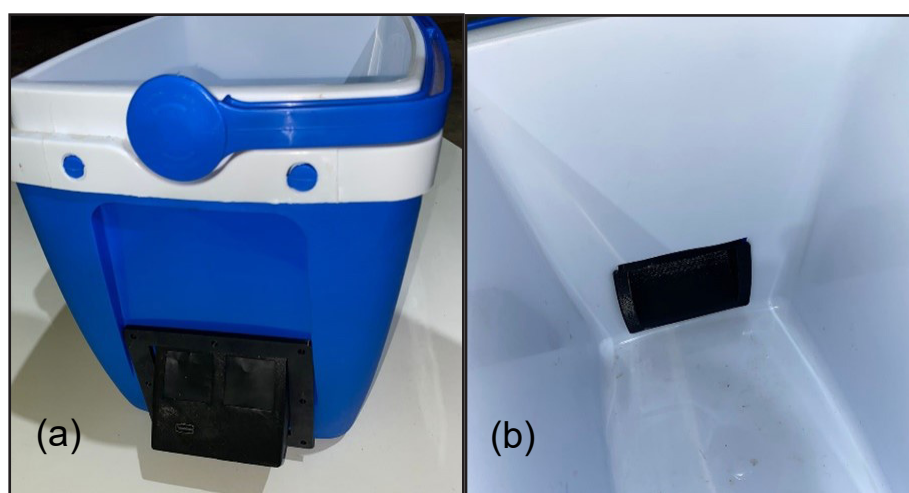


Figura 2 – a) parte externa do sistema; (b) parte interna/câmara fria do sistema

Para permitir que haja geração de energia elétrica pelo sistema, na parte interna da caixa térmica (ou câmara fria) foi adicionada uma sacola de gelo para manter a temperatura fria.



Medição

A aferição de temperatura foi feita utilizando um termômetro digital em conjunto com termopar tipo K. A temperatura interna foi medida fixando o termopar no interior da caixa térmica em contato com a superfície da Peltier, a leitura sendo feita utilizando a conexão de sonda do termômetro digital. Para a aferição da superfície externa das placas Peltier o sensor infravermelho do termômetro digital foi usado, com configuração de emissividade de 0,95 - sendo a aferição feita mantendo o sensor a uma distância aproximada de 20cm das placas.

Equacionamento

A diferença de potencial gerada a partir do gradiente de temperatura e do coeficiente de Seebeck associado ao material é dada pela Eq. (1) [3]:

$$(E_1 - E_2) = S \cdot (T_1 - T_2) \quad (1)$$

onde o coeficiente de Seebeck S (V/K ou V/°C) será positivo no caso da corrente fluir da face quente para a face fria, caso contrário ele será negativo. E_1 , E_2 , T_1 e T_2 representam os potenciais elétricos (V) e as temperaturas (K ou °C) das faces quente e fria, respectivamente.

A corrente elétrica que flui pelo circuito pode ser calculada pela Lei de Ohm, dada pela Eq. (2):

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

onde I é a corrente elétrica (A), V é a diferença de potencial (V) e R é a resistência elétrica (Ω). Já para o cálculo da potência elétrica, utiliza-se a Eq. (3):

$$P = I \cdot V \quad (3)$$

onde P é a potência elétrica do sistema (W). Além disso, nenhuma das equações considera quaisquer perdas de energia ao longo do processo, de modo que os valores encontrados seguem a consideração de que não há perdas e, portanto, a potência útil é igual à potência gerada.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições de temperatura dentro da caixa térmica e na superfície exposta ao ambiente da placa Peltier foram realizadas por meio de um termopar do tipo K e um termômetro digital, respectivamente. As temperaturas foram medidas em um dia com uma temperatura máxima de 303K e 54% de umidade relativa. No experimento, a temperatura interna da caixa térmica foi medida em 270,9K, enquanto a superfície da chapa de alumínio na parte externa atingiu 333,6K.

Para realizar as medições elétricas, foi utilizado um multímetro digital. A resistência interna da placa Peltier atingiu um valor máximo de $2,30\Omega$, conforme descrito pelo fabricante. O coeficiente Seebeck foi obtido experimentalmente a partir dos valores de temperatura e potencial elétrico, e apresentou um valor de 79,7 mV/K. Apesar da expectativa de uma tensão de 6,35V pelo efeito Seebeck, a medição real foi de 1,2V devido às perdas térmicas e de resistência interna. Essas perdas foram atribuídas à variação na incidência solar e na superfície de contato com o gelo. Desta forma, a elevada dissipação de energia impediu que a tensão atingisse a faixa de trabalho do elevador de tensão (2,0V de entrada para 5,0V de saída), resultando em uma tensão real de 1,2 V e corrente de 0,5 A.

Para o cálculo da potência, por meio da Eq. (3) foi possível obter as potências esperadas e reais, que apresentaram valores de 3.175W e 0.600W. Com isso, tem-se que a eficiência do sistema é de, aproximadamente, 19%, o que indica que as perdas associadas à troca térmica e à resistência interna totalizam cerca de 81%.

CONCLUSÕES

A energia termoelétrica se mostra como uma boa opção de fonte de energia renovável no atual cenário global que busca por maneiras de se produzir energia de maneiras sustentáveis. O uso de dispositivos TEG para a geração de energia elétrica a partir da energia térmica solar pode ser uma alternativa em países tropicais que recebem altos índices de irradiação solar e, consequentemente, possuem temperaturas



médias mais elevadas, o que proporciona um maior gradiente de temperatura e uma maior eficiência de conversão de energia por sistemas como o apresentado no presente trabalho. O trabalho apresentou uma maneira alternativa de se gerar energia elétrica de maneira prática e conveniente, com o foco na aplicação de alimentação de dispositivos eletrônicos em situações onde não há outras fontes de energia utilizando a diferença de temperatura entre o meio externo e interno de uma caixa térmica e componentes eletrônicos que baseiam seu funcionamento no efeito Seebeck. Os resultados obtidos mostram que a energia gerada pelas placas Peltier é, sim, capaz de alimentar a bateria de um aparelho celular, porém com um baixo nível de eficiência de 19%. Além disso, a falta de operação do elevador de tensão levou ao consumo parcial da corrente gerada pela célula. Com base nos valores obtidos, estima-se que o pleno funcionamento do protótipo pode ser obtido com no mínimo quatro placas Peltier em série. Para reduzir perdas, sugere-se retirar as chapas de alumínio, colocar as placas diretamente em contato com o gelo e colorir as superfícies externas das placas de preto para aumentar a concentração de calor, além disso, utilizar uma caixa térmica com paredes mais espessas de isolante também auxiliaria em prevenir a entrada de calor na câmara fria. Em dias mais quentes e com maior incidência solar, o sistema se mostra mais eficiente devido ao aumento do gradiente de temperatura. Ao contrário das placas solares, as placas Peltier não perdem eficiência com excesso de radiação solar, tornando-as uma opção viável para carregamento em condições climáticas favoráveis.

REFERÊNCIAS

- [1] Goldemberg, J.; & Paletta, F. C. (2012). *Energias renováveis*. São Paulo: Blucher.
- [2] Kemerich, P. D. da C., Flores, C. E. B., Borba, W. F. de, Silveira, R. B. da, França, J. R., & Levandoski, N. (2016). Paradigm of solar energy in Brazil and the world. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental*, 20(1), 241–247. Recuperado de <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/16132>. doi: <https://doi.org/10.5902/2236117016132>
- [3] Machado, P. L. O. (2019). *Investigação experimental do uso de gerador termoeletrico para conversão de energia térmica em energia elétrica por meio do efeito Seebeck* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil.
- [4] Pourkiaei, S. M., Ahmadi, M. H., Sadeghzadeh, M., Moosavi, S., Pourfayaz, F., Chen, L., Yazdi, M. A. P., & Kumar, R. (2019). Thermoelectric cooler and thermoelectric generator devices: A review of present and potential applications, modeling and materials. *Energy*, 186, 115-130. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054421931521X?via%3Dihub>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.179>



- [5] Tohidi, F., Ghazanfari Holagh, S., & Chitsaz, A. (2022). Thermoelectric Generators: A comprehensive review of characteristics and applications. *Applied Thermal Engineering*, 201, 117793. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431121012175?via%3Dihub>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117793>.
- [6] Bergman, T. L., Lavine, A. S., & Incropera, F. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (7a ed.). Hoboken: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-13725-3.
- [7] Reverter, F. (2021). A Tutorial on Thermal Sensors in the 200th Anniversary of the Seebeck Effect. *IEEE Sensors Journal*, 21(20), 22122-22132. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9514860>. doi: 10.1109/JSEN.2021.3105546.
- [8] Zhang, Q. H., Huang, X. Y., Bai, S. Q., Shi, X., Uher, C., & Chen, L. D. (2016). Thermoelectric Devices for Power Generation: Recent Progress and Future Challenges. *Advanced Engineering Materials*, 18(2), 194-213. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adem.201500333>. doi: 10.1002/adem.201500333.

Sobre os autores:

Martin Hideki Mensch Maruyama

Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil
E-mail: martin.maruyama@acad.ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0002-2606-581X>

Gustavo Alves da Silva Bezerra

Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil
E-mail: gustvoasbezerra@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0002-9378-0354>

Iago Rathecke Ellwanger

Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil
E-mail: iago.ellwanger@acad.ufsm.br - <https://orcid.org/0009-0000-5459-4965>

Cristiano Frandaloso Maidana

Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil
E-mail: cristiano.maidana@ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0003-3137-6177>

Charles Rech

Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil
E-mail: charles.rech@ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0001-8523-6300>

Simone Ferigolo Venturini

Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil
E-mail: sfventurini@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0002-9439-0008>

André Francisco Caldeira

Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil
E-mail: andre.caldeira@ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0002-4939-2709>

Como citar este artigo

Maidana, C. F., Maruyama, M. H. M., Bezerra, G. A. da S., Ellwanger, I. R., Rech, C., Venturini, S. F., & Caldeira, A. F. (2025). Geração de energia através da diferença de temperatura. *JESTA*, Cachoeira do Sul, (3) e88120, Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/JESTA/article/view/88120>.