

Estudo do efeito Seebeck para a conversão direta de energia térmica em elétrica

Seebeck effect study for direct conversion of thermal energy to electrical energy

RESUMO

Luan Guilherme Dias
Luandias.97@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Romeu Miqueias Szmowski
rmszmowski@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Estudo do efeito Seebeck e sua conversão direta de energia térmica em elétrica com o pressuposto de gradiente de temperatura, demandando assim o desenvolvimento de ambiente experimental adequado, desenvolvendo módulos de captura de dados com a plataforma de controle Arduino® para o monitoramento e averiguação em dados transcritos em um programa desenvolvido para a captura da leitura dos gradientes de temperaturas dos diferentes módulos e sua averiguação de diferença de potencial verificada com o auxílio de um multímetro. As células de controle de temperaturas foram desenvolvidas com o uso de pastilhas Peltier TEC1-12706. Para a pesquisa foram utilizadas diferentes ligas metálicas, com foco em materiais não convencionais, tais como o grafite vendido comercialmente em sua especificidade 6B. O sistema mostrou-se eficiente para o teste com ligas convencionais e para o grafite obteve-se um coeficiente seebeck que, embora aproximadamente 10 vezes menor do que o alúmel chromel, sugere possíveis aplicações futuras devido sua abundância na natureza e baixo custo.

PALAVRAS-CHAVE: Energia. Grafite. Sustentabilidade.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

Study of the Seebeck effect and its direct conversion from thermal to electrical energy with the assumption of temperature gradient, thus requiring the development of a suitable experimental environment, developing data capture modules with the Arduino® control platform for monitoring and data verification. transcribed in a program developed to capture the temperature gradient reading of the different modules and their potential difference verified with the aid of a multimeter. Temperature control cells were developed using Peltier TEC1-12706. Different metal alloys were used for the research, focusing on unconventional materials, such as graphite sold commercially in its 6B specificity. The system proved to be efficient for the test with conventional alloys and for graphite a seebeck coefficient was obtained which, although approximately 10 times lower than the chromel alúmel, suggests possible future applications due to its abundance in nature and low cost.

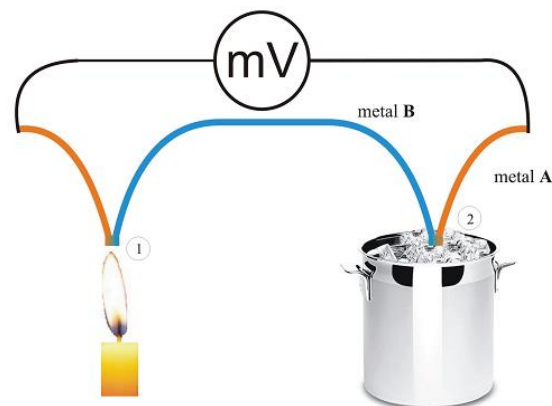
KEYWORDS: Energy. Graphite. Sustainability.

INTRODUÇÃO

A termoeletricidade pode ser entendida como a relação entre temperatura e as propriedades elétricas dos materiais, ou seja, a transformação direta de um gradiente de temperatura em eletricidade ou vice-versa (PIEIDADE, 1997).

Os primeiros fenômenos relacionados à termoeletricidade foram descobertos por Thomas Seebeck em 1821 quando descobriu o efeito que, posteriormente, recebeu seu nome. Trata-se do surgimento de uma diferença de potencial, aferida em um galvanômetro, ao submeter dois metais diferentes, ligados entre si, a um gradiente de temperatura (FERNANDES, 2012). Mais precisamente, ele mostrou que a união de dois metais diferentes sob o efeito de um gradiente de temperatura faz com que os elétrons se movimentem, gerando corrente elétrica (GONÇALVES, 2008). A Figura 1 ilustra este fenômeno.

Figura 1 - Ilustração do efeito Seebeck



Fonte: Moura, 2010

Considerando a Figura 1, em que o circuito é formado por dois condutores diferentes, mostrado pelas cores azul e laranja. Suas junções encontram-se em temperaturas distintas T_1 e T_2 , sendo $T_1 > T_2$, será então produzida uma tensão U satisfazendo a seguinte Equação (1):

$$U = \alpha_{ab}(T_1 - T_2), \quad (1)$$

sendo que U é a tensão dada em volts, T_1 e T_2 , as temperaturas das junções, em Kelvin e $\alpha_{ab} = \alpha_a - \alpha_b$, α_a e α_b são coeficientes de Seebeck absolutos e α_{ab} o coeficiente de Seebeck do par termoeletrico dos materiais.

Se a corrente flui da junção quente para fria α é negativo e se a corrente flui da junção fria para quente α é positivo. Este coeficiente é medido em $\mu\text{V/K}$ e são propriedades do material. A Tabela (1) ilustra valores do coeficiente de Seebeck de alguns materiais.

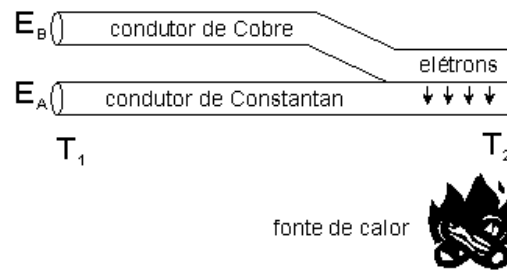
Tabela 1 – Coeficiente de Seebeck para metais, ligas e semicondutores. O termo de comparação é a platina

Metais/Ligas e outros materiais	Coeficiente Seebeck ($\mu\text{V}/\text{K}$)	Semicondutores	Coeficiente Seebeck($\mu\text{V}/\text{K}$)
Antimônio	47,0	Se	900,0
Níquel	25,0	Te	500,0
Cadmio	7,5	Si	440,0
Tungstênio	7,5	Ge	300,0
Ouro	6,5	Bi₂Te₃ (tipo N)	-230,0
Prata	6,5	Bi₂xSb_xTe₃ (tipo P)	300,0
Cobre	6,5	Sb₂Te₃ (tipo P)	185,0
Ródio	6,0	PbTe	-180,0
Tântalo	4,5	Pb₃Ge₃₉Se₅₈	1670,0
Chumbo	4,0	Pb₆Ge₃₆Se₅₈	1410,0
Alumínio	3,5	Pb₉Ge₃₃Se₅₈	-1360,0
Carvão	3,0	Pb₁₃Ge₂₉Se₅₈	-1710,0
Mercúrio	0,6	Pb₁₅Ge₃₇Se₅₈	-1990,0
Platina	0,0	SnBb₄Te₇	25,0
Sódio	-2,0	SnBi₄Te₇	120,0
KOH	-9,0	SnBi₃SbTe₇	151,0
Níquel	-15,0	SnBi_{2,5}Sb_{1,5}Te₇	110,0
Cu Ni Mn Fe	-35,0	SnBi₂Sb₂Te₇	90,0
Bismuto	-72,0	PbBi₄Te₇	-53,0

Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2008

Quando uma barra de um determinado material é aquecida em sua extremidade, aumenta-se a agitação térmica dos elétrons que compõe o material, ocorrendo então a migração destes para a camada de valência, tornando-os elétrons livres, iniciando um deslocamento em direção à região mais fria do condutor. Assim, o local aquecido irá ficar com menos elétrons na camada de valência, ou seja, com excesso de cargas positivas. O local mais frio terá excesso de elétrons. Essa migração de elétrons cessará quando a barra atingir o equilíbrio térmico do sistema. Da mesma forma, quando se colocam dois condutores em contato e estes são aquecidos, os elétrons que saltaram da camada de valência tendem a migrar para o outro condutor, produzindo uma diferença de potencial. A Figura 2 ilustra este processo.

Figura 2 - Ilustração a movimentação dos elétrons entre materiais diferentes, sendo $T_1 < T_2$



Fonte: Gonçalves, 2008

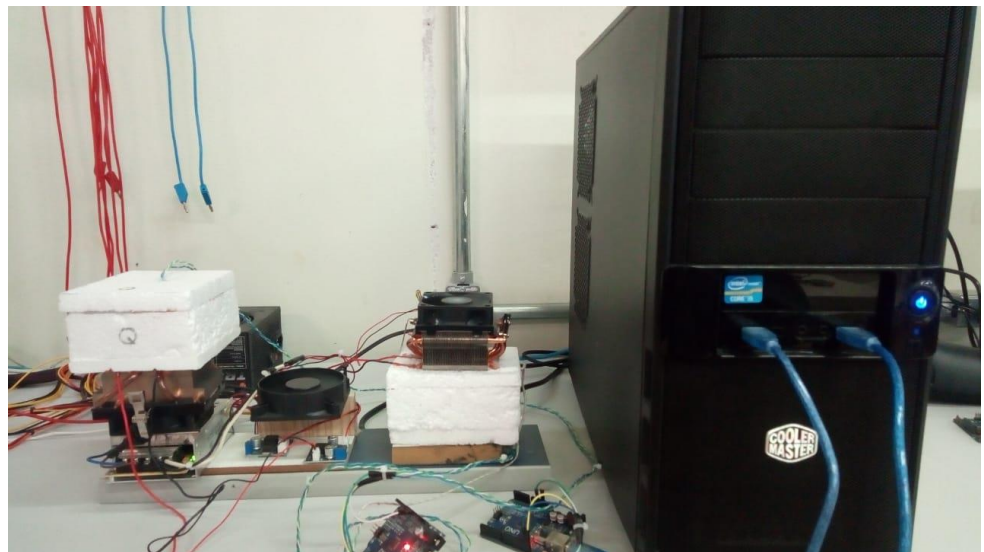
Este trabalho tem como objetivo evidenciar, a partir de testes laboratoriais, o efeito Seebeck para diferentes junções de materiais (convencionais e não convencionais). Para que isso fosse possível, foi necessário montar um sistema de aquecimento e resfriamento controlável para submeter as junções à diferentes temperaturas. Também foi necessário desenvolver um sistema de monitoramento da temperatura e da tensão gerada nas junções e isto foi feito utilizando sensores acoplados ao microcontrolador Arduino, que é uma plataforma de prototipagem eletrônica de software e hardware livres.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no presente trabalho foram o Alumel e o Chromel, os quais estão presentes em termopares comerciais e possuem um comportamento bem determinado, e também o cobre e o grafite. Os dois primeiros foram utilizados basicamente para calibrar o sistema enquanto que os outros dois para verificar a magnitude da tensão gerada neste novo tipo de junção.

O sistema de aquecimento e resfriamento foi construído utilizando duas placas ou pastilhas de Peltier TEC1-12706 fixadas em um dissipador de calor e isoladas termicamente do ambiente por paredes de isopor. As pastilhas de Peltier são constituídas por duas faces cerâmicas com uma malha de material condutor na superfície interna onde encontram-se diversos pares de semicondutores do tipo "n" e "p", responsáveis pelo efeito Peltier, isto é, transformar energia elétrica em energia térmica, absorvendo calor em uma face e dissipando o calor em outra. A vantagem do uso destas pastilhas é que o efeito de Peltier possibilita de produzir um resfriamento ou aquecimento, sem a expansão e contração de gases, como ocorre normalmente em sistemas de aquecimento e resfriamento. Para a aferição da temperatura na superfícies das placas de Peltier, onde foram fixados os fios dos materiais a serem estudados, foi utilizado o sensor de temperatura por infravermelho MLX90614. Este sensor, acoplado ao microcontrolador Arduino, permite aferir temperatura de objetos no intervalo de -70oC até 382,2oC com uma resolução de 0,14oC. Por fim, para medir as tensões ou ddp's geradas utilizamos um multímetro com interface USB com resolução de 0,01mV. A Figura 3 mostra o sistema de aquecimento e resfriamento acoplados ao computador utilizado para armazenamento e tratamento dos dados.

Figura 3: Sistema de aquecimento/resfriamento e aquisição de dados



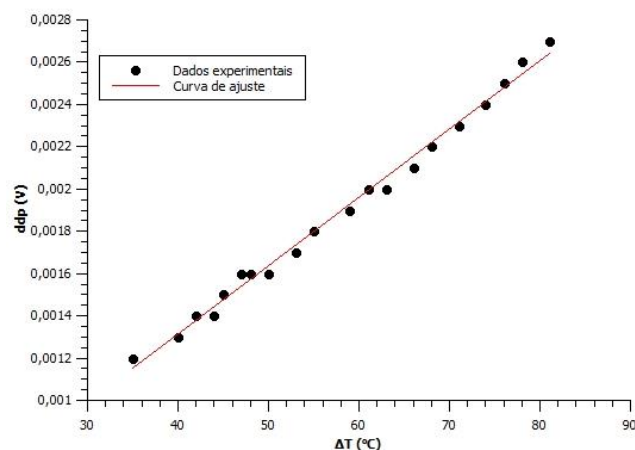
Fonte: Autoria Própria

Os materiais em estudo foram fixados sobre a superfícies das pastilhas de Peltier com fita kapton e os sensores de temperatura foram colocados na tampa do recipiente de isopor de modo a obter informação de toda a área da superfície das pastilhas, a saber 40 x 40 mm. Para testar o sistema primeiramente foi utilizado um fio de termopar tal como ele é vendido comercialmente. Na sequência foi mantido um dos fios e utilizado outro material como o cobre e o grafite.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Visando verificar a eficácia do sistema de controle de temperatura e aquisição de dados primeiramente foi testada a junção alumel-chromel presente em fios de termopares. A Figura 4 exibe o comportamento da ddp em função da diferença de temperatura na junção quente e fria.

Figura 4: DDP em função da diferença de temperatura para a junção Alumel-Chromel



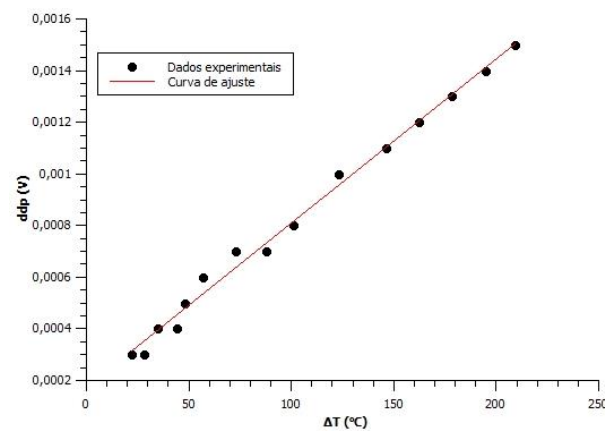
Fonte: Autoria própria.

Para comparar com o valor de referência para a junção em questão, fizemos a reta de ajuste dos dados e obtivemos o coeficiente Seebeck pelo coeficiente angular da reta. O valor encontrado foi $39 \mu\text{V}/\text{oC}$, o qual está bem próximo do encontrado na literatura para a junção em questão, que é

$$S_{chromel} - S_{alumel} = 22 - (-18) = 40 \mu\text{V}/\text{oC}.$$

Uma vez validado o sistema de aquecimento e resfriamento o alumel foi substituído por uma barra de grafite e repetimos o procedimento.

Figura 5: DDP em função da diferença de temperatura para a junção Chromel-Grafite



Fonte: Autoria Própria.

Neste caso o coeficiente angular obtido pela reta de melhor ajuste foi de $20,4 \mu\text{V}/\text{oC}$. Substituindo o valor do chromel, isto nos leva a

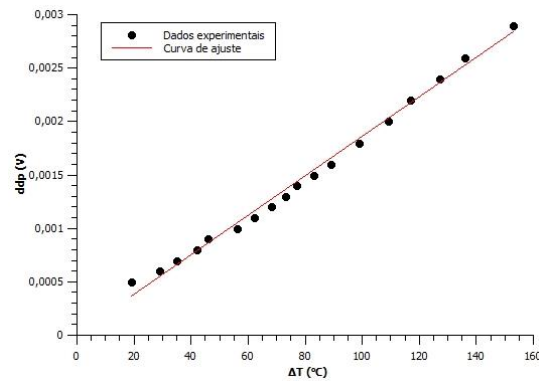
$$S_{chromel} - S_{grafite} = 22 - S_{grafite} = 20,4 \mu\text{V}/\text{oC}$$

ou,

$$S_{grafite} = 22 - 20,4 = 1,6 \mu\text{V}/\text{oC}.$$

Para confirmar o valor encontrado substituímos agora o chromel pelo alumel e repetimos os procedimentos. A Figura 6 exibe a ddp medida na junção em função da temperatura dos blocos.

Figura 6: DDP em função da diferença de temperatura para a junção Alumel-Grafite



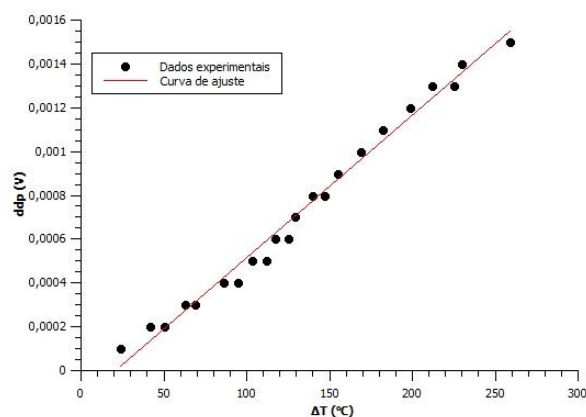
Fonte: Autoria Própria.

Neste caso o coeficiente foi de $19,4 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, o que nos leva a $S_{\text{grafite}} = 1,4 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Como não encontramos um valor na literatura para o grafite e ambos os valores ficaram próximos, assumimos que este o coeficiente Seebeck do grafite é

$$S_{\text{grafite}} = \frac{1,4 + 1,6}{2} = 1,5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

Por fim, analisamos a junção cobre grafite para confirmar o coeficiente que atribuímos ao grafite e verificar a viabilidade de utilização de elementos mais facilmente encontrados. A Figura 7 exibe a ddp em função da diferença de temperatura nas junções. Como podemos observar também, neste caso, o comportamento linear foi observado. Fazendo a reta de ajuste obtivemos um coeficiente Seebeck para a junção de $7,8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Como o coeficiente do cobre é, de acordo com a Tabela 1, $6,5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, isto resulta em um coeficiente Seebeck para o grafite utilizado igual a $1,3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, o que está bem próximo do valor encontrados nas medidas anteriores.

Figura 7: DDP em função da diferença de temperatura para a junção Cobre-Grafite



Fonte: Autoria Própria.

CONCLUSÕES

Os testes preliminares realizados com junções comerciais, cujos coeficientes Seebeck são conhecidos, validaram a metodologia utilizada. O sistema de aquecimento/resfriamento usando pastilhas de Peltier permitiu um controle preciso da temperatura das junções e o uso do sensor infravermelho com o microcontrolador Arduino possibilitou a aquisição automática dos dados durante as medidas. Enfim a junção de um material pouco convencional como grafite ligados a outros materiais já bem estabelecidos na literatura, possibilitou estimar coeficiente Seebeck para o grafite, cujo valor ficou bem próximo para os três materiais utilizados. Novas medidas com melhoramento do sistema estão sendo implementadas a fim de comprovar os valores encontrados e avaliar potencial aplicação para o material em estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Romeu Miqueias Szmoski por ser meu orientador durante toda a pesquisa e a sua total dedicação para que a mesma fosse bem supervisionada e orientada;

Agradeço a Fundação Araucária por proporcionar apoio à pesquisa e financiar este projeto;

Agradeço a UTFPR do Campus Ponta Grossa por disponibilizar laboratório para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

FERNANDES, Alberto Emanuel Simões dos Santos. **Conversão de Energia com Células de Peltier**. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

GONÇALVES, L. **Microssistema termoeléctrico baseado em teluretos de bismuto e antimónio**. 2008 Tese (Doutorado) Universidade do Minho, 2008.

PIEIDADE, P. M. **Efeitos Termoeléctricos e suas aplicações. Aquisição e Processamento de Sinais** 1997. IST – Lisboa.