

INFLUÊNCIA DA FORÇA DE APERTO SOBRE A GERAÇÃO DE POTÊNCIA ELÉTRICA DE UM GERADOR TERMOELÉTRICO POR MEIO DO EFEITO *SEEBECK*

PEDRO LEINEKER OCHOSKI MACHADO¹, LUÍS VITÓRIO GULINELI FACHINI², ROMEU MIQUEIAS SZMOSKI³ e THIAGO ANTONINI ALVES⁴

¹Engenheiro Mecânico, Discente PPGEM, UTFPR, Ponta Grossa-PR, pedmac@alunos.utfpr.edu.br;

²Engenheiro Mecânico, Discente PPGEM, UTFPR, Ponta Grossa-PR, luisgulineli@gmail.com;

⁴Doutor em Ciências, Prof. Adjunto, UTFPR, Ponta Grossa-PR, rmszmoski@utfpr.edu.br;

⁵Doutor em Engenharia Mecânica, Prof. Associado, UTFPR, Ponta Grossa-PR, antonini@utfpr.edu.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
Palmas/TO – Brasil
17 a 19 de setembro de 2019

RESUMO: Este estudo compreende a investigação experimental da influência da força de aperto sobre a geração de potência elétrica de um gerador termoeletrico por meio do efeito *Seebeck*. Esse efeito consiste na movimentação de elétrons proveniente da exposição de uma junção de dois materiais distintos a um gradiente de temperatura, podendo então ser responsável pelo aproveitamento de energia em atividades industriais em que há a ocorrência de calor residual. Neste estudo um gerador termoeletrico foi submetido a diferentes gradientes de temperaturas, sendo utilizados resistores no sistema de aquecimento que simula o calor residual e um trocador de calor como forma de arrefecimento a proporcionar tais gradientes, além de diferentes forças de aperto obtidas pela aplicação de diferentes massas ao sistema. Os resultados demonstram medições da potência gerada pelo gerador termoeletrico em função da potência dissipada nos resistores e da força de aperto exercida sobre o sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Reaproveitamento de energia. Termogerador, Efeito *Seebeck*, Calor Residual.

INFLUENCE OF THE CLAMPING FORCE ON THE GENERATION OF ELECTRICAL POWER OF A THERMO-ELECTRIC GENERATOR THROUGH THE *SEEBECK* EFFECT

ABSTRACT: This study comprises the experimental investigation of the influence of the clamping force on the electric power generation of a thermoelectric generator through the *Seebeck* effect. This effect consists in the movement of electrons from the exposure of a junction of two different materials to a temperature gradient, which can then be responsible for the reuse of energy in industrial activities where there is residual heat. Thus, in this study a thermoelectric generator was subjected to different temperature gradients, using resistors in the heating system that simulates the residual heat and a heat exchanger as a form of cooling to provide such gradients, in addition to different clamping forces obtained by the application of different masses to the system. The results demonstrate measurements of the power generated by the thermoelectric generator as a function of the power dissipated in the resistors and the clamping force exerted on the system.

KEYWORDS: Energy reutilization, Thermogenerator, *Seebeck* effect, Residual Heat.

INTRODUÇÃO

Os materiais termoeletricos são aqueles capazes de converter gradientes de temperatura diretamente em eletricidade devido a um fenômeno conhecido como efeito *Seebeck* (Nascimento et al., 2012). O efeito *Seebeck* está relacionado ao surgimento de uma diferença de potencial elétrico entre dois materiais diferentes, em contato, porém em temperaturas diferentes. O funcionamento de termopares é um exemplo de aplicação de tal efeito, uma vez que a tensão gerada pelo sensor é

proporcional ao gradiente de temperatura a que esse é submetido (Gonçalves, 2008). Uma das formas de se utilizar o efeito *Seebeck* é por meio do módulo *Peltier*, que consiste em um arranjo de pequenos blocos de telureto de bismuto (Bi_2Te_3) dopados do tipo *N* e tipo *P*, montados de maneira alternada, eletricamente em série e termicamente em paralelo, entre duas placas de boa condutividade térmica, fazendo com que todos os elementos conduzam calor para a mesma direção (Moura, 2010).

O material termoelétrico ideal é aquele que apresenta elevado coeficiente *Seebeck*, baixa condutividade térmica e alta condutividade elétrica. Isso se deve ao fato de que uma alta condutividade elétrica reduz o efeito *Joule*, um coeficiente de *Seebeck* alto maximiza a conversão de calor em eletricidade e uma baixa condutividade térmica ajuda a manter o calor em uma única junção ao manter o gradiente de temperatura entre as junções (Fernandes, 2012). Neste contexto, o presente trabalho propõe uma pesquisa científico-tecnológica de caráter experimental sobre a influência da força de aperto como possível forma de se elevar a eficiência de um gerador termoelétrico.

MATERIAL E MÉTODOS

A bancada experimental, mostrada na Figura 1, foi composta por um *notebook Dell*TM, um *nobreak NHS*TM, um bloco de alumínio contendo resistências elétricas de cartuchos, um gerador termoelétrico TEG1-12611-6.0, um trocador de calor arrefecido por água, um sistema automatizado de variação de cargas resistivas controlado por *Arduino*TM, um sistema de aquisição de dados *Agilent*TM 34970A com um multiplexador *Agilent*TM 34901A de 20 canais, duas fontes de alimentação *Politem*TM 16E, um banho ultratermostatizado *SOLAB*TM SL-130 e um rotâmetro de área variável *Omega Engineering*TM FL-2051 com válvula reguladora.

Figura 1. Bancada experimental.



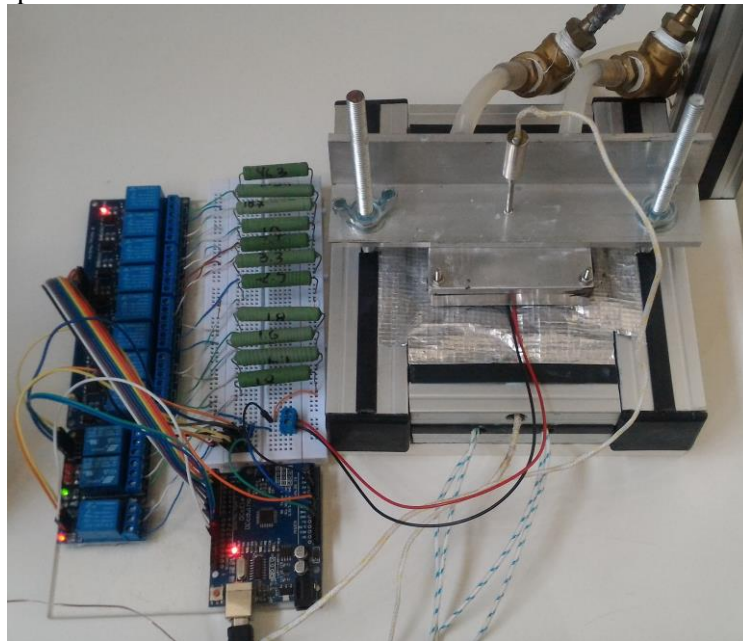
O gerador termoelétrico utilizado para realizar a análise da eficiência de conversão de energia térmica em energia elétrica foi o TEG1-12611-6.0, da empresa *TECTEG*TM. Ele possui área superficial de 0,003136 m² e é composto por um arranjo de pequenos blocos de telureto de bismuto (Bi_2Te_3) dopado tipo *N* e tipo *P*, montados de maneira alternada eletricamente em série e termicamente em paralelo, ao passo que seu corpo é composto por duas placas cerâmicas revestidas com grafite, que tem como intuito proteger o módulo da corrosão, suportar esforços mecânicos, altas temperaturas e apresentar baixa resistência térmica.

O aquecimento do gerador termoelétrico foi realizado por dois resistores de cartucho/alta carga de 250 W de potência. Devido à forma plana do gerador termoelétrico e a forma cilíndrica dos resistores, o contato entre as duas superfícies seria apenas uma linha. Com isso, foi utilizado um bloco de alumínio de superfície plana contendo dois furos cilíndricos passantes para acoplar os resistores e outra furação para acoplar um termopar do tipo K com intuito de aferir a temperatura superficial do bloco de alumínio.

O trocador de calor utilizado para arrefecimento consiste em um bloco de alumínio com uma série de canais usinados em seu interior e um orifício em seu centro de forma a permitir a passagem de um termopar do tipo K.

O aparato experimental para análise do termogerador consistiu em uma base composta por perfis estruturais de alumínio fixados sobre uma placa de madeira. No interior de tal estrutura foi adicionada uma camada de argamassa refratária de forma a protegê-la de altas temperaturas. Sobre a argamassa foi posicionado um módulo de aquecimento no centro da estrutura, colocando um isolante de manta cerâmica em seu contorno, e uma folha de alumínio sobre a camada de isolante, mantendo apenas sua superfície superior exposta. O termogerador foi posicionado sobre o módulo de aquecimento e o trocador de calor sobre o termogerador, utilizando uma fina camada de pasta térmica entre as superfícies. Visando permitir que se apliquem diferentes forças de aperto no sistema, utilizou-se de duas barras roscas e uma chapa de aço, de forma que essa fique em contato direto com a superfície superior do trocador de calor. A Figura 2 ilustra a montagem final do sistema.

Figura 2. Aparato experimental.

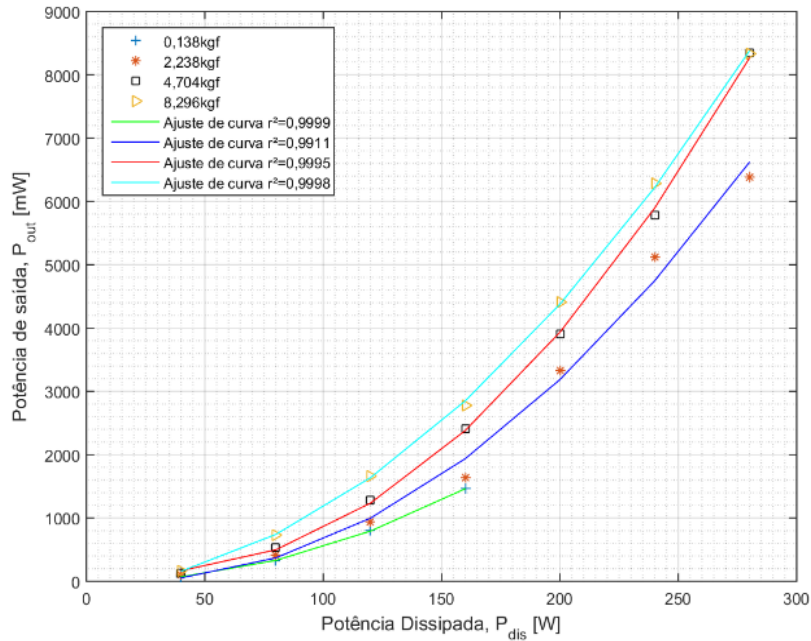


A metodologia adotada durante a execução dos testes experimentais consistiu em variar a diferença de potencial (DDP) aplicada às resistências do sistema de aquecimento que simula o calor residual (resistores de alta carga associados em paralelo), visando a obtenção de cargas térmicas desde 40 a 320 W com variação de 40 W por meio da associação em série das duas fontes de alimentação, ao passo que foi mantida uma vazão de 1,0 L/min de água a 16 °C no trocador de calor por meio do banho ultratermostatizado. Para a obtenção de informações referentes ao gerador termoelétrico, foi utilizado um sistema de aquisição de dados baseado em *Arduino*TM, responsável por comutar cargas resistivas e obter valores de tensão e corrente, e consequentemente, a potência produzida pelo gerador termoelétrico. Este sistema somente era acionado quando a condição do sistema térmico atingisse o regime *quasi* permanente. Foram realizados testes com quatro forças de aperto distintas, sendo essas aplicadas por meio de barras chatas e blocos de aço posicionados sobre a chapa de aço contida no aparato experimental. As forças de aperto utilizadas foram: 0,138 kgf; 2,238 kgf; 4,704 kgf e 8,296 kgf.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

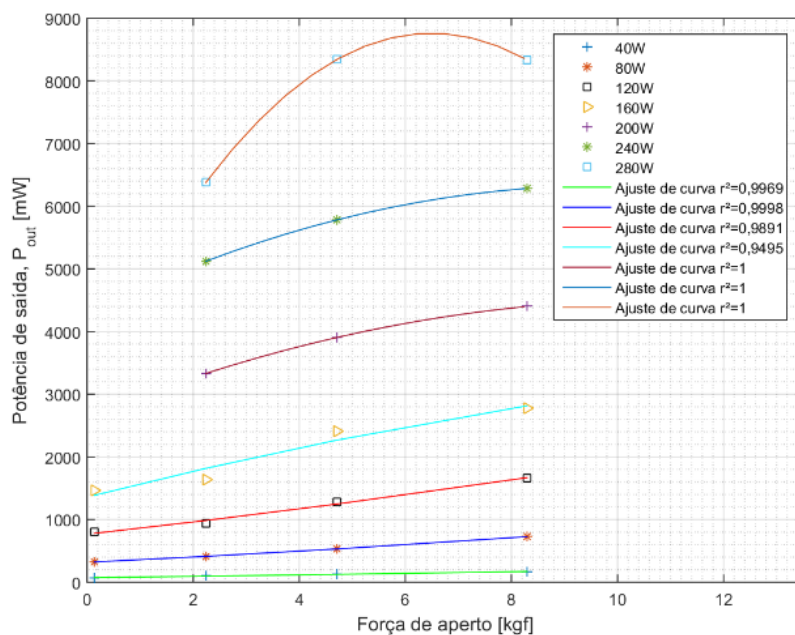
A Figura 3 apresenta os resultados de potência gerada pelo termogerador em função da potência dissipada pelo módulo de aquecimento e parametrizado pela força de aperto.

Figura 3. Potência de saída em função da potência dissipada.



Pela Figura 3 pode ser observado que, em geral, quanto maior a força de aperto, maior a potência gerada pelo TEG. Isso se deve à redução da resistência térmica de contato entre o gerador e os outros componentes, fazendo com que a potência seja dissipada de forma mais eficiente para o gerador, proporcionando um maior ΔT ao qual o termogerador é submetido, e fazendo com que a hipótese de que a superfície do módulo de aquecimento e a superfície do TEG estejam na mesma temperatura seja cada vez mais próxima da realidade. Após análises, também pode ser verificado que para a P_{dis} de 280 W foi gerado praticamente os mesmos valores de potência para as forças de aperto (F_{ap}) de 4,704 kgf e 8,296 kgf. Esse fato pode ser melhor visualizado pela Figura 4.

Figura 4. Potência de saída em função da Força de Aperto.



Tratando-se da força de aperto de 0,138 kgf, foram obtidos resultados apenas até a $P_{dis} = 160$ W por motivos de segurança, uma vez que a temperatura do módulo de aquecimento ultrapassou 270°C. Surgem então duas hipóteses para tal fato, ambas envolvendo o ΔT a qual o TEG foi exposto. A primeira hipótese consiste no fato de que o ΔT mais elevado ocasionou a geração de uma potência elevada o suficiente para aquecer os resistores que compõe o sistema de aquisição de dados, alterando então sua resistência e a afastando do valor de resistência interna do gerador. Tratando-se da segunda hipótese, essa foi formulada com base na Figura 1. Pode ser observado que, para o telureto de bismuto, ocorre um decréscimo na Figura de Mérito a partir de certo valor de temperatura, ou seja, as propriedades físicas do material se afastam das ideais necessárias para maximizar a geração de energia. Com isso, o ΔT atingido pode estar em uma faixa de temperatura em que se alteram as condutividades térmicas e elétricas, fazendo com que parte da energia disponível seja dissipada na forma de calor ao invés de convertida em energia elétrica. A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados de potência elétrica gerada em função da potência dissipada e da força de aperto.

Tabela 1. Resumo dos resultados experimentais obtidos.

P_{dis} [W]	P_{out} [mW]			
	0,138 kgf	2,238 kgf	4,704 kgf	8,296 kgf
40	72,57	99,79	123,20	171,55
80	322,33	415,98	527,90	727,49
120	801,12	933,40	1.287,34	1.659,38
160	1.460,03	1.634,61	2.406,91	2.779,73
200	-	3.331,36	3.905,09	4.402,04
240	-	5.121,50	5.780,91	6.285,15
280	-	6.377,88	8.339,70	8.334,64

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma investigação experimental da influência da força de aperto na potência elétrica gerada por um gerador termoelétrico. Os resultados obtidos indicam que, em geral, ocorre um aumento na potência gerada pelo gerador com o aumento da força de aperto a que esse está submetido. Dentre as forças de aperto foi verificado que a que permitiu a maior geração de potência elétrica foi a de 8,296 kgf, apresentando uma geração de aproximadamente 8,34 W para uma potência dissipada de 280 W. Desta forma fica evidenciado que a força de aperto exerce influência significativa no desempenho de um gerador termoelétrico, sendo então necessários cada vez mais estudos acerca desse parâmetro, utilizando maiores faixas de análise de forma a se buscar um aumento em sua potência elétrica gerada e, conseqüentemente sua eficiência, contribuindo para que se possa reaproveitar o calor residual de diversos processos e gerar energia sem impactos negativos ao meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são prestados à CAPES, à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UTFPR, à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e ao Departamento Acadêmico de Mecânica da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa.

REFERÊNCIAS

- Fernandes, A. E. S. S. Conversão de energia com células de Peltier. 97f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2012.
- Gonçalves, L. M. V. Microsistema termoelétrico baseado em teluretos de bismuto e antimônio. 198f. Tese (Doutorado em Electrónica Industrial). Escola de Engenharia. Universidade do Minho. Guimarães, 2008.
- Moura, J. A. S. Filmes nanométricos de FeN e AlN crescidos por Sputtering e aplicações do efeito Peltier. 147f. Tese (Doutorado em Física). Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.
- Nascimento, A. L. E. S.; Lubanco, J. C.; Moreira, T. A. Fontes alternativas de energia elétrica: potencial brasileiro, economia e futuro. Bolsista de Valor: Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. Rio de Janeiro, v.2, n.1, p.23-36, 2012.