

ENGENHARIAS

MODELAGEM NUMÉRICA DE UMA PROPOSTA DE MICROGERADOR TERMOELÉTRICO DE ESTADO SÓLIDO PARA CAPTAÇÃO DE ENERGIAS RESIDUAIS (ENERGY HARVESTING).

MARAN, Anderson Luis Oliveira.

Estudante do Curso de Engenharia de Energias Renováveis- ILATTI – UNILA;
E-mail: anderson.maran@aluno.unila.edu.br;

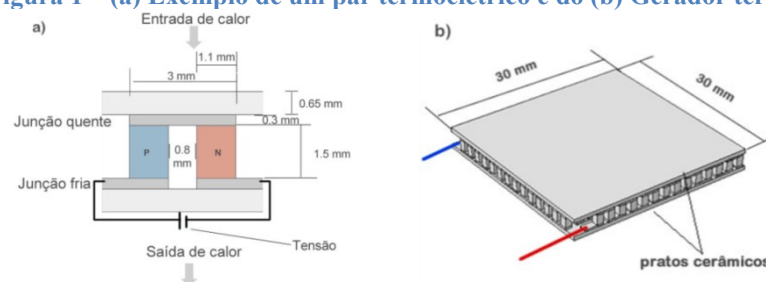
ANDO JUNIOR, Oswaldo Hideo

Docente/pesquisador do curso de Engenharia de Energias Renováveis – ILATTI – UNILA.
E-mail: oswaldo.junior@unila.edu.br.

1 Introdução

A geração de eletricidade termoelétrica é baseada no efeito *Seebeck*, ou seja, se calor é aplicado a uma junção de dois semicondutores dissimilares conectados em um circuito, uma corrente é gerada. Os efeitos termoelétricos podem ser empregados na geração de eletricidade em processos como a captação de energias residuais utilizando-se o gerador termoelétrico (TEG) da figura 1(b) composto de módulos termoelétricos como o da figura 1(a) para o aproveitamento dessas formas de energia e melhoria da eficiência energética. Neste trabalho apresenta-se um modelo geométrico bidimensional de uma série de pares termoelétricos para simulação computacional utilizando o software COMSOL Multiphysics visando avaliar o efeito *Seebeck* para captação de energias residuais.

Figura 1 – (a) Exemplo de um par termoelétrico e do (b) Gerador termoelétrico.



2 Metodologia

A metodologia adotada consiste na elaboração de um modelo geométrico bidimensional 7 pares e suas posterior extrapolação para um dispositivo termoelétrico de dimensões comerciais contendo 126 pares. O módulo termoelétrico em questão é composto por junções p-n, de material termoelétrico Telureto de Bismuto (Bi_2Te_3) eletricamente conectadas em série e termicamente em paralelo enquanto os pares semicondutores são

ligados entre si através de eletrodos de cobre. Além disso, uma placa de Alumina (Al_2O_3) é colocada em cada face do dispositivo. Essa configuração é baseada no gerador termoelétrico TEHP 1263-1.5 produzido pela empresa Thermomamic, aqui utilizado para validação.

A condução de calor através do dispositivo é considerada através de um modelo matemático previamente implementado no software, especificando-se duas temperaturas, uma na face quente, T_h , e outra na face fria, T_c . O efeito termoelétrico computado leva em consideração os efeitos Seebeck e Peltier e o efeito Thompsom é desconsiderado neste caso.

Com todos os parâmetros definidos, o software resolve o conjunto de equações com base no método de elementos finitos que consiste basicamente na divisão do domínio de estudo em sub-regiões de geometria simples. Esse processo de subdivisão ou discretização gera uma malha de elementos finitos, e então o problema é resolvido.

3 Fundamentação teórica

Diversos estudos numéricos em termoeletricidade vêm sendo empreendidos. (Dannowsky; et. al., 2013), propuseram um modelo tridimensional de um módulo termoelétrico individual assimétrico, operando sob altos gradientes de temperatura. Similarmente, (Yushanov; et al., 2011) e (Codecasa; et. al., 2011) e desenvolveram modelos numéricos de módulos termoelétricos, este último composto de um sistema capaz de aproveitar calor radiante de aquecedores a gás para geração termoelétrica.

Já (Hsu; et. al., 2011), simularam aplicações de geradores termoelétricos no aproveitamento de calor proveniente de gases quentes de exaustão para aplicação em escapamentos de automóveis sendo o dispositivo composto de um trocador de calor no qual os TEG são conectados na face quente tendo um sistema de ventilação na face fria. Enquanto (Favarel; et. al., 2016), projetou um dispositivo similar, porém resfriado a água.

Segundo (Dannowsky; et. al., 2013) relataram a modelagem e simulação de um módulo termoelétrico de geometria não convencional onde o arranjo termoelétrico segue uma configuração assimétrica. Nesse trabalho, o modelo matemático proposto é dividido em dois conjuntos de equações diferenciais parciais que descrevem a temperatura e a tensão no módulo termoelétrico sendo analisados separadamente e em seguida são acoplados.

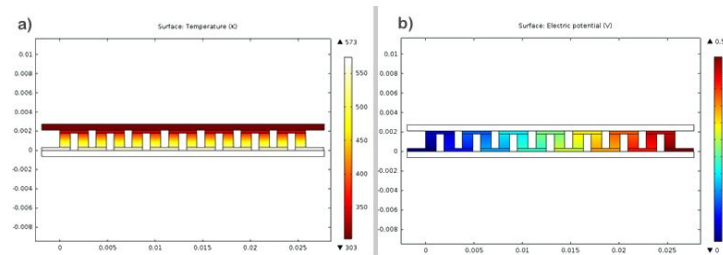
Yushanov et. Al., 2011, apresentam uma abordagem simplificada do fenômeno termoelétrico que leva em conta os efeitos *Seebeck e Peltier*. A partir das relações de Thomsom, é obtida uma equação na forma integral para uma variável de teste que é integrada sobre o domínio computacional tal como é implementada no software. A modelagem do efeito termoelétrico aqui utilizada é semelhante a esta última, no entanto, uma otimização foi

empregada considerando os efeitos das resistências térmicas de contato, conforme proposto por (Grujicic et al., 2006).

4 Resultados

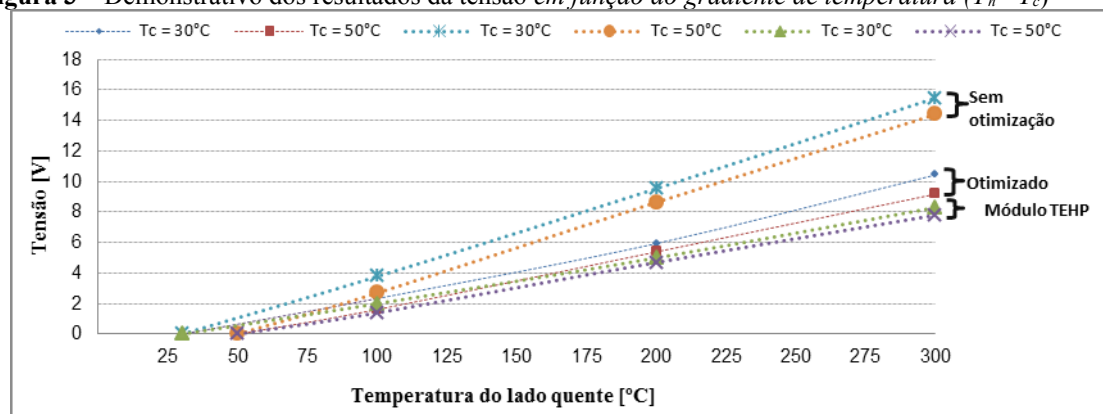
A distribuição de temperatura no gerador termoelétrico é mostrada na figura 2(a). Nota-se que o maior gradiente de temperatura ocorre no material termoelétrico. A isto se deve o fato de que esse material apresenta menor condutividade térmica que os demais e portanto possui maior resistência à transferência de calor. Na figura 2(b), observa-se a variação do potencial elétrico ao longo da série de pares termoelétricos. Esse resultado é coerente com a teoria e está de acordo com os resultados de Yushanov et. Al., 2011.

Figura 02 - (a) distribuição de temperatura e (b) tensão no módulo termoelétrico



Para fins de validação, comparou-se os resultados obtidos neste trabalho aos fornecidos pelo fabricante do dispositivo real. Na figura 03 observa-se as curvas de tensão a vazio para as simulações do modelo mais simples, o modelo otimizado e as informadas dadas pelo fabricante para as temperaturas na face fria de 30°C e 50°C. Observa-se que as curvas do modelo otimizado com as resistências térmicas de contato localizam-se ligeiramente acima das informadas pelo fabricante, enquanto as curvas do modelo não otimizado estão muito mais acima. O erro obtido para o modelo não otimizado é de 87%, enquanto o modelo otimizado apresenta erro de 15%, em relação aos dados do fabricante. Esse resultado implica que as resistências térmicas de contato exercem grande influência na transferência de calor por condução e diminuem a tensão obtida entre os terminais do dispositivo.

Figura 3 – Demonstrativo dos resultados da tensão *em função do gradiente de temperatura* ($T_h - T_c$)



5 Conclusões

Apresenta-se um modelo geométrico bidimensional de uma série de pares termoelétricos e sua simulação computacional visando avaliar o efeito *Seebeck*. Conforme os resultados de Yushanov et al. (2011), o aumento da tensão ao longo da série é linear e proporcional ao número de pares termoelétricos. O efeito das resistências térmicas de contato é relevante, conforme verificou-se pela redução do erro com a otimização. O efeito *Thompson*, perdas de calor por convecção, bem como o comportamento do sistema sob regime transiente deverão ser estudados futuramente melhorando a acurácia do modelo.

6 Principais referências bibliográficas

- Dannowski M., Beckert W, Wagner L., Hans-Peter M., **3D-Model of Asymmetric Thermo-Electric Generator Modules for High Temperature Applications**, Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference 2013 Rotterdam (2013)
- Yushanov S.P., Gritter L.T., Crompton J.S. and Koppenhoefer K.C. **Multiphysics Analysis of Thermoelectric Phenomena**. COMSOL Conference in Boston 2011.
- Codecasa M.P., Franciulli C., Gaddi R., Paz F.G., Passaretti F., **Design and Development, via Prototype Testing and Multiphysics Modelling, of a Thermoelectric Generator (TEG) for Integration in Autonomous Gas Heaters** Excerpt from the Proceedings of the 2011COMSOL Conf, Stuttgart (2011)
- Dannowski M., Beckert W, Wagner L., Hans-Peter M., **3D-Model of Asymmetric Thermo-Electric Generator Modules for High Temperature Applications**, Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference 2013 Rotterdam (2013)
- Favarel C., Bedecarrats J.P., Kouksou T., Champier D., **Experimental analysis with numerical comparison for different thermoelectric generators configurations**, Energy Conversion and Management 107 (2016) 114–122
- Hsu C.T, Huang G.Y., Chu H.S. Yu B, Yao D.J., **Experiments and simulations on low-temperature waste heat harvesting system by thermoelectric power generators**, Applied Energy 88 (2011) p 1291–1297