

VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE UMA PASTILHA PELTIER PARA RECUPERAÇÃO DE ENERGIA NA PASTILHA DE FREIO DO PROTÓTIPO DE UM VEÍCULO UTILIZADO EM COMPETIÇÃO BAJA SAE

Luan Júlio Rodrigues dos Santos¹; Franscistônio Dias Jahel²; Matheus Vignoli Rodrigues Pereira³; Juraci de Sousa Araujo Filho⁴; Antonio Carlos Barbosa Zancanella⁵; Rômulo Maziero⁶; Eliane Correia Nascimento Souza⁷; Juan Carlos Campos Rubio⁸

Resumo

Este trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade da utilização de módulos termoeletrônicos para recuperação de energia na utilização em alguns sistemas eletrônicos do protótipo da equipe SamaBaja. Foi analisada a viabilidade deste sistema para utilizar-se do calor gerado pela frenagem para gerar energia elétrica. Sabe-se que os efeitos térmicos e elétricos são detectados em um circuito de dois materiais semicondutores, cujas junções estão em temperaturas diferentes. A pastilha Peltier funciona segundo esse fenômeno, denominado efeito Seebeck e efeito Peltier. O Efeito Seebeck consiste na produção de energia elétrica entre dois semicondutores de junção de materiais diferentes quando estão sob diferentes temperaturas. Módulos termoeletrônicos são feitos de materiais semicondutores selados entre duas superfícies de material cerâmico, uma abrangendo a superfície quente e outra que será a mais fria. Assim, este trabalho apresenta a concepção de um sistema de geração limpa e reaproveitamento de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Recuperação de Energia, Pastilha de Freio, Efeito Seebeck, Energia Limpa.

Abstract

This paper has the objective of studying the viability of using thermoelectric modules to recover energy and use it in some electronics systems of the samabaja team prototype. We will analyze the viability of this system making the use of the heat generated from breaking to generate electric energy. It is known that the thermoelectric effects are detected in a circuit of two semiconducting materials, whose junctions are in different temperatures. The Peltier Module works according to this phenom, denominated Seebeck effect and Peltier effect. The Seebeck

¹ Graduando em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal do Espírito Santo(IFES) - Campus São Mateus. E-mail: luanrodrigues@gmail.com.

² Graduando em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal do Espírito Santo(IFES) - Campus São Mateus. E-mail: jahel.dias@gmail.com.

³ Graduando em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal do Espírito Santo(IFES) - Campus São Mateus. E-mail: vignolirp@gmail.com.

⁴ Mestre em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo(IFES). E-mail: juraciaraujo@ifes.edu.br.

⁵ Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo(IFES). E-mail: antonio.zancanella@ifes.edu.br.

⁶ Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (PROPEMM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo(IFES). E-mail: maziero.ifes@gmail.com.

⁷ Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo Instituto Federal do Espírito Santo(IFES). E-mail: elianecns23@gmail.com.

⁸ Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo, professor associado da Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG. E-mail: juan@demec.ufmg.br.

effect consists in producing electric energy between two semiconductors of junctions of different materials when under different temperatures. Thermoelectric modules are made of semiconducting materials sealed between two surfaces made of ceramic material, one being the hot surface and the other will be the colder one. Thus, this paper presents the conception of a clean energy generation system and energy reutilization.

KEY-WORDS: Energy Recovery, Brake Pads, Seebeck Effect, Clean Energy.

Introdução

O sistema de freio de um veículo é responsável por reduzir progressivamente a velocidade quando em movimento, ou fazê-lo parar, ou conservá-lo imóvel se já estiver parado. Este sistema pode ser do tipo a tambor ou disco. Na equipe SamaBaja, este sistema é do tipo freio a disco. Este trabalho objetiva fazer uma análise teórica da dissipação de calor nas pastilhas do sistema de freios, avaliando a potencialidade de instalação de uma pastilha Peltier para recuperação de parte desta energia para recarregar a bateria do baja.

A busca por um sistema eficiente de geração limpa de energia motiva este trabalho, se mostrando, também, um potencial para geração limpa de energia em outras áreas da engenharia, como em exaustores de motores de combustão interna ou mesmo em plantas de exaustores industriais.

1 Materiais e métodos

O sistema de freio a disco, figura 1, é composto basicamente por três componentes básicos: o disco, a pinça, e as pastilhas de freio:

- Pinça: dispositivo que está fixado na estrutura do veículo e é constituído por um ou mais pistões que realizam a compressão das pastilhas no disco de freio;
- Pastilhas: material de atrito que é constituído de vários elementos químicos (compostos especiais) e vai se desgastando ao decorrer da utilização. Atualmente com o desenvolvimento das pesquisas nesta área já é possível encontrar pastilhas de maior resistência, durabilidade, e de menor custo;
- Disco de freio: recebe o torque de desaceleração pelo atrito com a pastilha, o que acarreta um aumento da temperatura, necessitando, assim, de uma grande área de resfriamento. Este sistema exige uma área de contato com o ar grande para aumentar a eficiência da refrigeração e evita a redução de atrito por aquecimento.

Figura 1 - Pinça (à direita) e disco de freio (à esquerda).



Fonte: Autores, (2016).

A força aplicada ao pedal do freio age pressionando as pastilhas nos discos. O acionamento destes componentes se dá por meio de um cilindro hidráulico e mangueiras que transmitem a pressão gerada no cilindro para as pinças. Pela força de atrito resultante, a energia cinética do veículo é convertida em energia térmica. Estas cargas mecânica e térmica agindo nas pastilhas e no disco de freio são muito altas, por vezes muito maiores que as cargas geradas pelo motor num instante de aceleração. O sistema de freios deve assegurar alguns requisitos básicos listados abaixo:

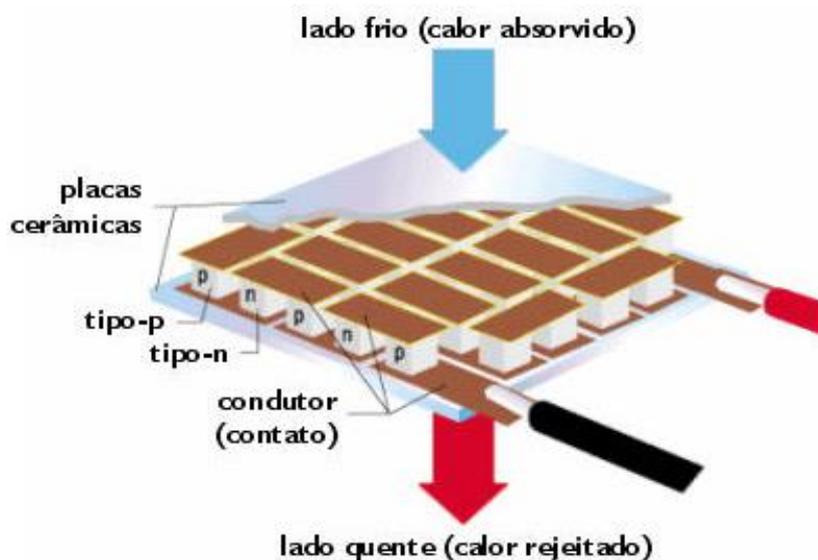
- Estabilidade do coeficiente de atrito em um range de temperatura grande;
- Pouca variação do coeficiente de atrito com variações na pressão de contato, velocidade e fatores externos;
- Boa resistência mecânica e estabilidade dimensional;
- Baixo desgaste.

Os discos e pastilhas de freio formam uma unidade que é essencial para a segurança do veículo, portanto um sistema que atenda todos estes requisitos de forma eficiente é muito importante para o protótipo baja.

Parte da proposta do trabalho consiste na utilização de uma pastilha Peltier para a recuperação da energia, conforme figura 2.

As pastilhas são pequenas unidades de que utilizam tecnologia de matéria condensada para operarem como bombas de calor. Uma unidade típica tem espessura de alguns milímetros e forma quadrada. Esses módulos são uma composição de placas cerâmicas separadas com pequenos cubos de material semicondutor.

Figura 2 - Esquema da montagem de uma pastilha Peltier.



Fonte: Camargo e Oliveira, (2010).

O processo de geração de corrente/tensão se dá quando o condutor (metal, liga ou semiconductor) é aquecido em uma das extremidades. A energia calorífica é transmitida aos elétrons do nível de valência, que ao saltarem das orbitas, tornam-se elétrons livres, iniciando um deslocamento para as zonas mais frias do condutor, onde há níveis de energia mais baixos. A zona aquecida fica, então, com excesso de cargas positivas, enquanto as zonas mais frias ficam com um excesso de elétrons livres. Esta migração de elétrons livres para quando é atingido o equilíbrio (a tensão se iguala à energia que os elétrons possuem para se movimentar), ou se mantém enquanto se tenha gradiente de temperaturas entre a parte quente e a parte fria. A migração de elétrons existirá (condução térmica) até que seja atingido o equilíbrio do gradiente térmico.

1.1 Considerações do projeto

Foi analisada a geração de calor na área de contato da pastilha com o disco e a posterior transferência deste calor para a pastilha. Assim sendo, foram feitas algumas considerações e simplificações. Essas foram listadas em:

- Consideração 1:

Modelagem feita para uma desaceleração de 9,5 m/s para 0 m/s numa distância de 8 metros.

- Consideração 2:

Modelo de ¼ de veículo: análise em apenas uma das rodas do veículo. Para este trabalho foi considerado os efeitos da frenagem em uma das rodas dianteiras do protótipo 2015. As especificações e resultados estão mostrados na figura 3.

Figura 3 - Dimensionamento do sistema.

DADOS DE ENTRADA			DADOS GERAIS			DADOS DIANTEIRA		
m	kg	320,000	W	N	3.136,000	Wfs	N	1.206,154
g	m/s ²	9,8000	m	kg	320,000	Wf	N	1.955,923
V	m/s	0,0000	g	m/s ²	9,800	Fp	N	880,165
Vo	m/s	9,5000	x	-	0,6154	Mp	N.m	246,446
Δs	m	8,0000	ac//ax	m/s ²	-5,641	Rp	m	0,280
b	m	0,8000	A2	m ²	0,000380	Fd	N	2.899,368
c	m	0,5000				Rd	m	0,085
h	m	0,5400				F	N	1.159,747
L	m	1,3000				P	Pa	602.726,414
μ1 (solo)	-	0,4500				A1	m ²	0,000962
μ2 (past)	-	0,4000				n	unid.	2
Dpf	m	0,5600				Fc	N	229,109
Dpr	m	0,5600				Re	-	0,916
Ddf	mm	170,000						
Ddr	mm	242,000						
D1f	mm	35,000						
D1r	mm	25,400						
nf	und.	2						
nr	und.	2						
D2	mm	22,000						
Fa	N	250,000						

A1- Área embolo da pinça
D1f - Diâmetro pinça frente
D1r - Diâmetro pinça traseira
D2 - Diâmetro do cilindro mestre
Dp - Diâmetro da roda

Fonte: Autores, (2016).

Sabendo que a massa do carro é 320 kg, a energia mecânica total do carro a 34,2 km/h é dada pela equação 1:

$$Em_0 = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

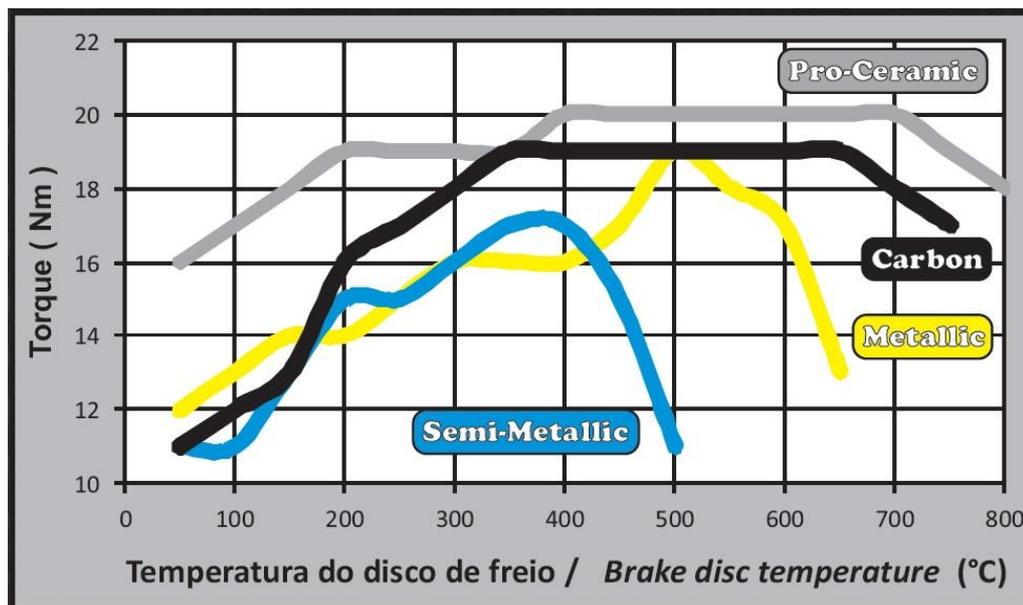
Onde m é a massa do veículo em Kg e v a velocidade em m/s.

A energia então é de 14.440 Joules. Calcula-se um tempo de frenagem de 1,6842 segundos. Pode-se dizer que há a dissipação de energia com uma taxa de 8.573,80 W.

Aplicando-se a consideração 3, chega-se a uma taxa de dissipação de energia de 7.287,73 W. Considerando que 70% dessa potência sai do sistema pela convecção e condução de calor no disco de freio e 30% desta é dissipada pela pastilha. Assim a taxa de dissipação de energia por meio das pastilhas será de 2.186,32 W. Dividindo esta taxa pelas seis pastilhas existentes no protótipo, chega-se a um valor de 364,4 W por pastilha.

Na figura 4 mostra-se o ensaio dinamométrico realizado pela Fischer (fabricante de pastilhas e discos de freio) que apresenta a relação entre o torque de frenagem e a temperatura do disco.

Figura 4 - Ensaio dinamométrico normatizado realizado pela Fischer.



Fonte: Fischer, (2014).

A figura 4 mostra que os materiais Pro-Ceramic e Carbon possuem bom desempenho de frenagem em temperaturas baixas e estabilidade do coeficiente de atrito quando submetidas a um forte superaquecimento, justificando assim a escolha por uma pastilha do tipo Carbon (já recomendada para veículos off-road).

- Consideração 3:

Aproximadamente 85% da energia mecânica do protótipo é transformada em calor pelo freio quando acionado, até parar completamente, e 15% da energia mecânica é dissipada por ruído, aquecimento dos rolamentos, cisalhamento do material do disco e da pastilha, atrito do pneu com o solo e pela força de arrasto.

- Consideração 4:

Devido às restrições mecânicas, o local mais eficiente para o acoplamento da pastilha Peltier será a pastilha de freio (componente estático e fixo na estrutura do carro).

A pastilha de freio é constituída de uma camada de material de atrito e uma base de aço inoxidável. O comportamento ideal se daria se fosse completamente refrataria, mantendo o coeficiente de atrito constante a qualquer temperatura, mas percebe-se, conforme figuras 5 e 6 que os mesmos não mantêm as propriedades constantes. A figura 5 ilustra que há certa variação do coeficiente com a temperatura, comparando pastilhas diferentes.

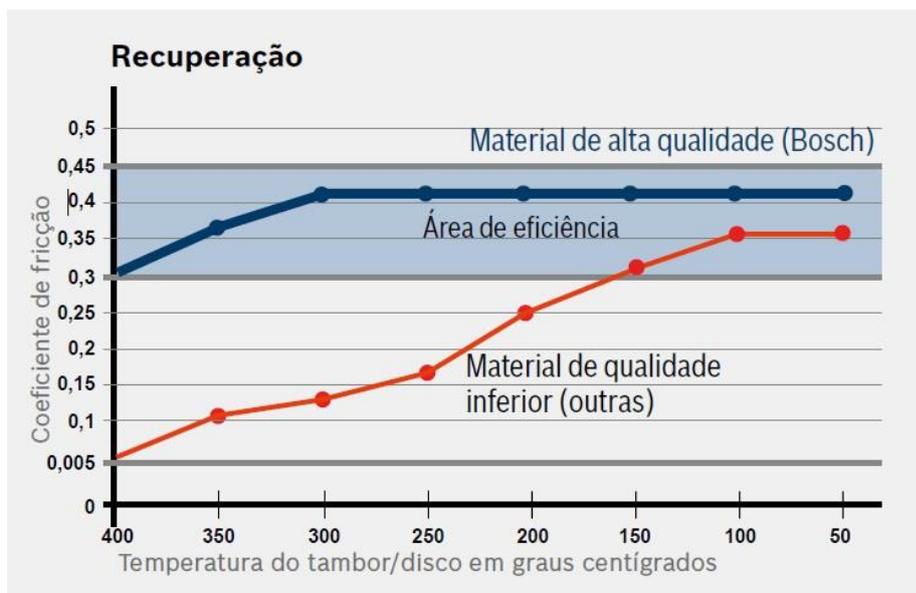
Figura 5 - Variação do coeficiente de atrito em função da temperatura, pastilha de alta qualidade (curva vermelha) e pastilha de baixa qualidade (curva amarela).



Fonte: Robert Bosh, (2010).

A figura 6 ilustra a variação do coeficiente de atrito após a frenagem (variação da temperatura) num instante de recuperação da temperatura de trabalho.

Figura 6 - Variação do coeficiente de atrito após a frenagem.



Fonte: Robert Bosh, (2012).

1.2 Coleta de dados

Neste trabalho a referência do módulo termoelétrico foi a pastilha Peltier TEC1-12706. Esta possui dimensões de 40 cm x 40 cm, e espessura de 3,8 mm. É construída de material cerâmico a base de Alumina (Al_2O_3), e o material semiconductor é o Telureto de Bismuto (Bi_2Te_3). Na Tabela 1, são apresentadas informações de parâmetros máximos possíveis neste módulo termoelétrico e na Tabela 2 as propriedades termoelétricas dos materiais.

Tabela 1 - Especificação do fabricante da pastilha TEC1-12706.

Temperatura da superfície quente	25 [°C]	50 [°C]
Q_{\max} [W]	50	57
ΔT_{\max} [°C]	66	75
I_{\max} [A]	6,4	6,4
V_{\max} [V]	14,4	16,4
Resistência [Ω]	1,98	2,30

Fonte: HB Corporation, (2015).

Tabela 2 - Propriedades térmicas e termoelétricas do Telureto de Bismuto.

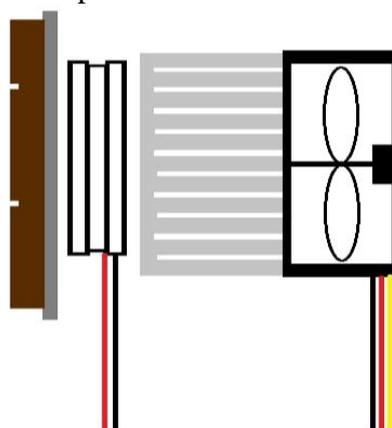
Material	Coef. Seebeck [$\mu\text{V/K}$]	Condutividade Térmica [$\text{W/m}^2\text{K}$]
Telureto de Bismuto (tipo n)	-250	2,02
Telureto de Bismuto (tipo p)	140	2,02

Fonte: Adaptado de Fernandes (2012).

1.3 Equacionamento

A montagem proposta para o sistema é apresentada na figura 7, detalhando a localização da pastilha de freio ao centro o módulo termoelétrico e o dissipador de calor com o cooler na parte direita da representação esquemática.

Figura 7 - Montagem proposta para o sistema. À esquerda a pastilha de freio, ao centro o módulo termoelétrico e à direita o dissipador de calor com o cooler.



Fonte: Autores, (2016).

Para a modelagem da transferência de calor deste problema, foram feitas algumas simplificações:

- Transferência de calor em regime permanente;
- Transferência de calor unidimensional;
- Desprezando os efeitos da radiação;

- Desprezando os efeitos da convecção na pastilha devido as dimensões pequenas;
- Coeficientes de transferência de calor constantes e uniformes;

Pode-se modelar a equação do calor utilizando a Equação 2.

$$\overline{\nabla^2 T} = 0 \quad (2)$$

A Equação 2, também conhecida como equação de La Place, quando desenvolvida, aplicando as condições de contorno $T(0) = T_1$ e $T(L) = T_2$ chega a Equação 3.

$$T(x) = \frac{\Delta T}{L} x + T_1 \quad (3)$$

Onde ΔT é a variação de temperatura, L é a espessura da pastilha e T_1 a temperatura na superfície mais quente da pastilha. Sendo assim, o perfil de temperatura avaliado será uniforme, o que permite modelar a taxa de transferência de calor. Considerando que a taxa de energia dissipada por pastilha será transformada em calor, tem-se a Equação 4.

$$\Delta E = Q_p = A_p k_p \frac{\Delta T_p}{L_p} \quad (4)$$

Sendo A_p a área da pastilha, k_p o coeficiente de condução térmica, ΔT_p o gradiente de temperatura e L_p a espessura da pastilha. Os valores de A e k podem ser adquiridos com o fabricante da pastilha.

Os materiais mais utilizados para construção de pastilhas de freio são a Zircônia, a Alumina e o Nitreto de silício. Estes são caracterizados por apresentarem alta resistência à compressão, à deformação plástica e ao desgaste, além de alta dureza e grande estabilidade química. Na Tabela 3, tem-se algumas informações destes materiais.

Tabela 3 - Propriedades de alguns materiais cerâmicos utilizados para a construção de pastilhas de freio.

Material	Dureza Vickers [Mpa]	Condutividade Térmica [W/mK]
Alumina - Al ₂ O ₃	26,5	39
Nitreto de Silício - Si ₃ N ₄	16	33
Zircônia - ZrO ₂	11,7	3

Fonte: Adaptado de Callister, (2013).

Muitas vezes estes materiais podem ser utilizados juntos nos compostos cerâmicos, contudo, foi analisado o comportamento ideal dos mesmos separadamente. Assim, sabendo que a pastilha possui uma espessura de 8 mm, sendo que 5 mm correspondem pelo material cerâmico e 3 mm ao aço inox do suporte da pastilha. Apresentando uma área aproximada de 1375 mm², a resistência térmica da pastilha obtida para cada material será:

$$R_{Past.Alumina} = 0,228 \text{ K/W}$$

$$R_{Past.Nit.Silc.} = 0,244 \text{ K/W}$$

$$R_{past.zirconia} = 1,347 \text{ K/W}$$

Para a modelagem de uma situação ideal, foi considerado que cada material respectivamente, fornecerá uma situação, que serão identificadas por A, B e C. Então, para cada situação tem-se na pastilha, um delta de temperatura de:

$$\Delta T_A = \Delta E \cdot R_A = 83,08 \text{ [K]} \quad (5)$$

$$\Delta T_B = \Delta E \cdot R_B = 88,91 \text{ [K]} \quad (6)$$

$$\Delta T_C = \Delta E \cdot R_C = 490,84 \text{ [K]} \quad (7)$$

É importante lembrar, que esta é uma modelagem ideal e reversa. A mesma deve ser aprimorada com medições experimentais de valores posteriormente. Contudo os valores indicam o comportamento de cada tipo de pastilha, ajudando assim numa eventual escolha. Para a modelagem da transferência de calor no módulo termoeletrico, utiliza-se a Equação 5.

$$Q_m = A_{cer} k_{cer} \frac{\Delta T_{cer}}{L_{cer}} + A_{sem} k_{sem} \frac{\Delta T_{sem}}{L_{sem}} + A_{cer} k_{cer} \frac{\Delta T_{cer}}{L_{cer}} \quad (8)$$

Onde A_{cer} é a área da pastilha Peltier, k_{cer} a condutividade térmica do revestimento cerâmico do módulo, e ΔT_{cer} o gradiente de temperatura no mesmo. Os valores para A_{sem} , k_{sem} e ΔT_{sem} são para o material semicondutor do módulo.

Devido a facilidade de se encontrar no mercado dissipadores com coolers acoplados (comumente usados em processadores de computador), pode-se modelar esta equação conforme um dispositivo com resistência térmica já determinada. Assim, a taxa de calor pelo dissipador pode ser dada pela Equação 6.

$$Q_d = \frac{\Delta T_d}{R_d} \quad (9)$$

Para a modelagem teste, foi escolhido o dispositivo da ALPHA, modelo PAL6030MUC (figura 8) que apresenta uma resistência térmica de 0,39 °C/W, conforme CUNHA (2001).

Figura 8 - Dissipador de calor tipo PAL6030MUC. Na parte superior tem-se um cooler de velocidade constante e na inferior uma superfície aletada.



Fonte: HB Corporation, (2003).

De acordo com o conceito de resistência térmica, chega-se a Equação 7 da taxa de calor no sistema:

$$Q_{total} = \frac{\Delta T_{total}}{R_{total}} \quad (10)$$

$$R_{total} = R_{pastilha} + R_{modulo} + R_{dissipador} \quad (11)$$

Pode-se modelar, também, a potência elétrica máxima de saída gerada pelo sistema conforme Equação 9.

$$P = \alpha \Delta T_m I \quad (12)$$

Onde α é o coeficiente de Seebeck, ΔT_m é a diferença de temperatura nas placas do módulo e I a corrente gerada. Assim, tem-se do sistema de recuperação conforme Equação 10.

$$\varepsilon = \frac{Q_m}{P} \quad (13)$$

1.4 Experimento de geração de energia com a pastilha TEC1-12706

O experimento de teste da pastilha Peltier TEC1-12706 foi realizado no laboratório de eletricidade do IFES – Campus São Mateus. A finalidade do experimento foi analisar a geração de energia elétrica pelo módulo termoelétrico fazendo fluir pela mesma um fluxo de calor. Com o auxílio de um ferro de solda e de outro módulo termoelétrico, foi analisado o efeito Seebeck, e modelado o comportamento da pastilha.

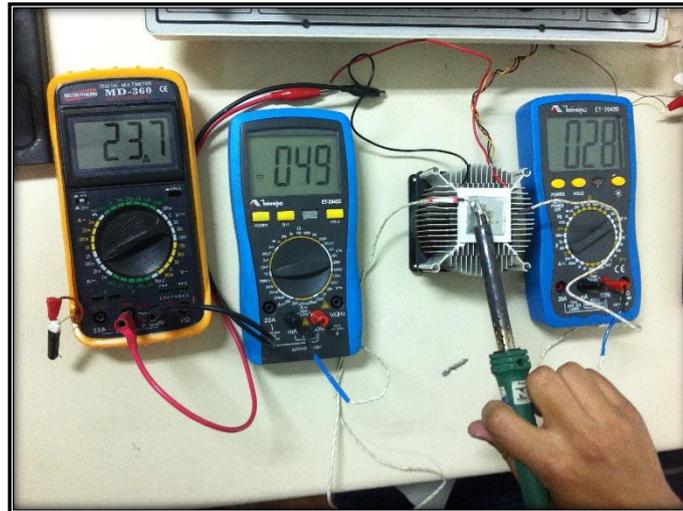
Foi utilizado dissipador de calor com cooler, três de multímetros para medir corrente e temperatura. Montado o módulo sobre o dissipador de calor, contatando-os com auxílio de pasta térmica para diminuir a resistência térmica do contato. Ligou-se e posicionou-se os multímetros e o cooler à fonte de tensão do módulo da Nova Didacta, com o intuito de retirar calor da parte fria (aumentar a transferência de calor).

Foram aplicadas as seguintes variações (Figuras 9 e 10):

- Aquecendo-se o módulo 1 com o ferro de solda, ligando os terminais do módulo a uma resistência elétrica de 100 Ohms;
- Aquecendo-se o módulo 1 com o ferro de solda, ligando os terminais do módulo ao multímetro para mensurar a potência máxima;
- Aquecendo-se o módulo 1 com um outro módulo Peltier 2, ligado numa fonte de corrente contínua. Ligou-se os terminais do módulo 1 a uma resistência elétrica de 100 Ohms;

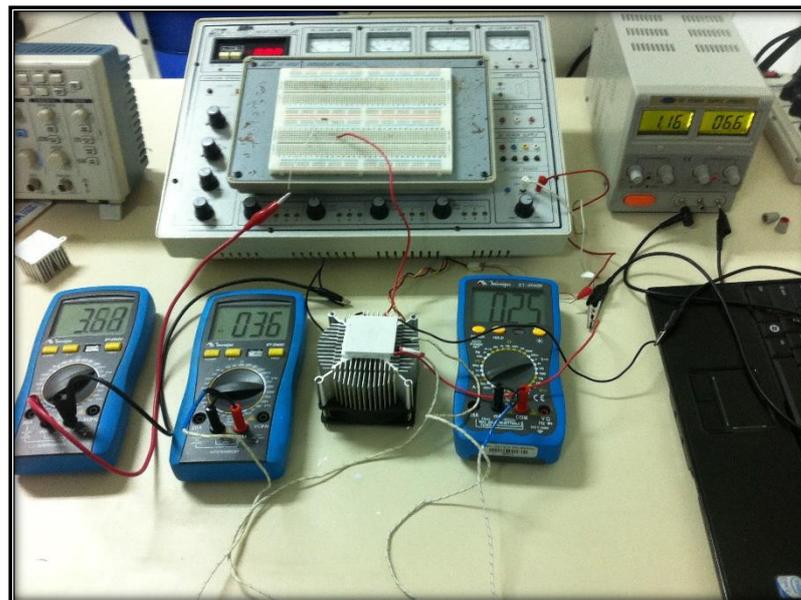
- Aquecendo-se o módulo 1 com um outro módulo Peltier 2, ligado numa fonte de corrente contínua. Ligou-se os terminais do módulo 1 ao multímetro para mensurar a potência máxima.

Figura 9 - Montagem do experimento. Da esquerda para a direita, respectivamente, os multímetros medem corrente, temperatura do lado quente e temperatura do lado frio. Ao centro a pastilha Peltier sendo aquecida pelo ferro de solda, está sobre o dissipador de calor com cooler, que está ligado a fonte de tensão.



Fonte: Autores, (2016).

Figura 10: Montagem do experimento. Neste, nota-se os dois módulos montados um sobre o outro, sendo que o módulo 2 (superior) está ligado a fonte de corrente DC Current Suply e o módulo 1 (inferior) está ligado aos terminais de uma resistência elétrica de 100Ω .

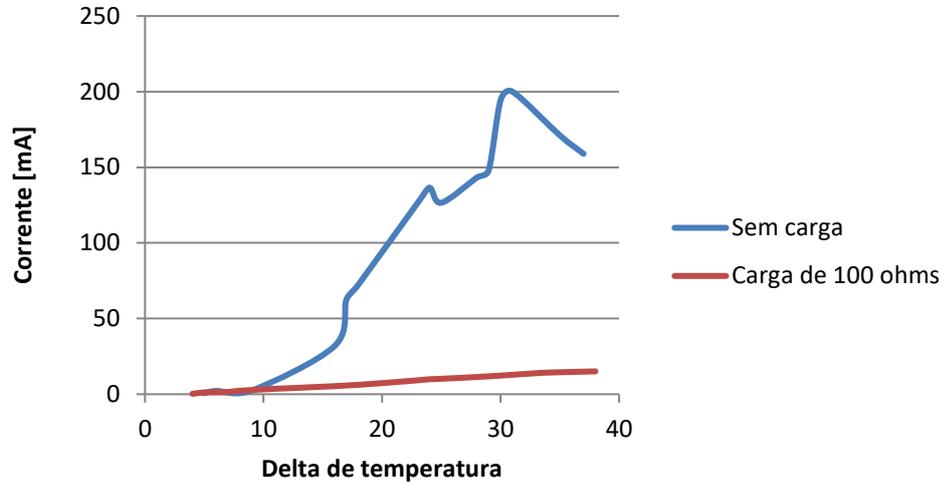


Fonte: Autores, (2016).

2 Resultados

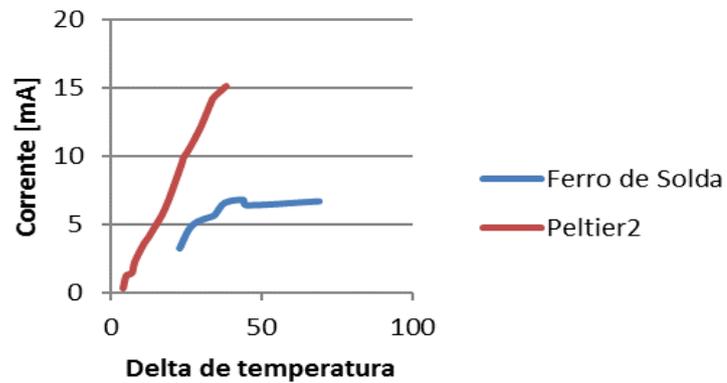
Observa-se nas figuras 11, 12, 13 e 14 o diferente desempenho em cada experimento.

Figura 11 - Corrente no experimento utilizando outra pastilha Peltier como fonte de calor.



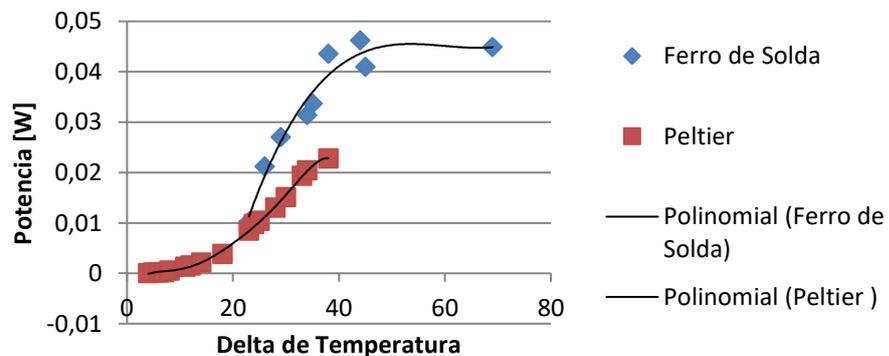
Fonte: Autores, (2016).

Figura 12 - Corrente no resistor de 100 Ohm.



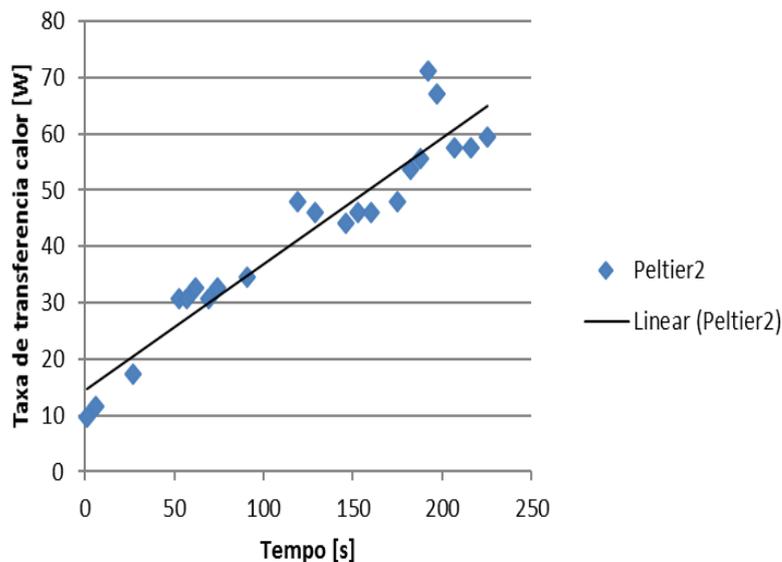
Fonte: Autores, (2016).

Figura 13 - Potência dissipada no resistor de 100 Ohm.



Fonte: Autores, 2016.

Figura 14 - Taxa de transferência de calor em cada experimento.



Fonte: Autores, (2016).

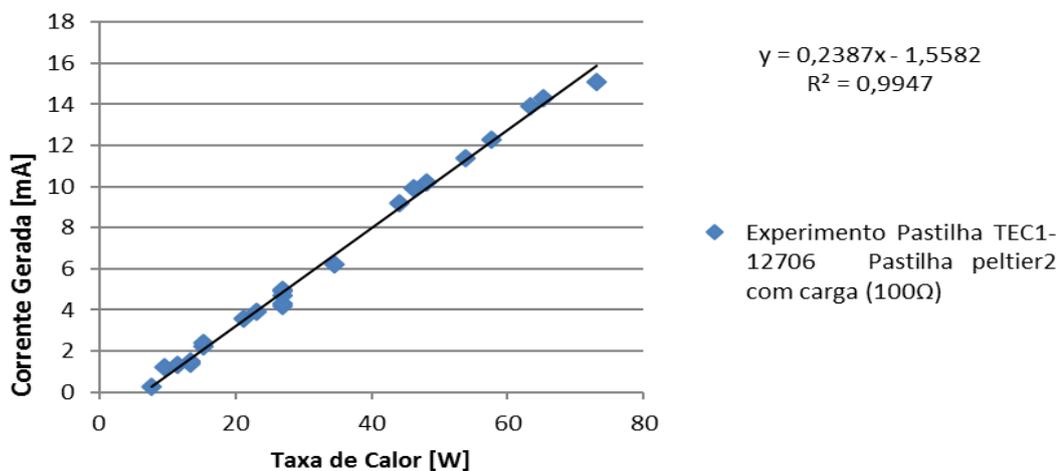
Analisando os gráficos nota-se o baixo desempenho do sistema montado. Percebe-se que o aquecimento com o ferro de solda não foi eficiente pois não aquecia toda a placa superior do módulo Peltier, além de ser muito instável. Com a utilização do outro módulo Peltier para o aquecimento, buscou-se aumentar a taxa de transferência de calor, contudo, ainda se observou uma grande carga de calor transiente no sistema e a taxa de calor não alterou-se tanto, quando comparado com o aquecimento pelo ferro de solda.

O baixo coeficiente de Seebeck do Telureto de Bismuto também influencia, por isso, propõem-se utilizar algum semicondutor com coeficiente maior. Os baixos valores de potência gerada são em função da pequena área que conduziu calor. Isto mostra o quanto maior poderia ser o módulo termoelétrico.

O experimento revelou a necessidade das pastilhas Peltier usarem dissipadores de calor, incluindo o auxílio de coolers mesmo para baixas temperaturas, justificando a proposta. Contudo, o dissipador de calor e o cooler usados ainda tiveram baixo desempenho.

A figura 15 mostra a corrente fornecida a uma carga de 100 Ohm em função da transferência de calor.

Figura 15 - Corrente fornecida a uma carga de 100 Ohm em função da transferência de calor.



Fonte: Autores, (2016).

Por meio de uma linha de tendência linear, chega-se a Equação 11 que descreve este comportamento:

$$y = 0,2387x - 1,5582 \quad (11)$$

Assim, uma projeção para o sistema aplicando-se as condições modeladas (Equações 12 e 13), chega-se aos seguintes resultados:

$$Q = 364.4 \text{ [W]} \quad (12)$$

$$I = 85,42408 \text{ [mA]} \quad (13)$$

Desta forma, uma projeção da corrente gerada num resistor de 100 Ohm pela pastilha peltier indica uma corrente de 85 mA.

Assim, os resultados obtidos mostram algumas fragilidades do sistema tais, como:

- É necessário haver dispositivos de dissipação de calor em ambos os lados do módulo Peltier;
- Os materiais de construção do módulo termoelétrico devem resistir às temperaturas e taxa de calor que são submetidos;
- É necessário utilizar pasta térmica para aumentar a eficiência da troca térmica, visto que está reduz a resistência térmica de contato.

Percebe-se que o módulo TEC1-12706 não é viável para a aplicação pelas restrições na construção, mas foi de grande importância a utilização para compreensão do proposto. Este apresentou uma projeção de corrente muito baixa quando submetido as condições modeladas no problema. O baixo rendimento também foi influenciado pela área pequena. Assim, uma proposta é utilizar uma associação de pastilhas para aumentar a eficiência.

Fernandes (2012) menciona que a liga de Telureto de Bismuto (Bi_2Te_3) presente na pastilha utilizada é ideal para funcionamento à temperatura ambiente (290-300 K). Percebe-se

que acima desta temperatura, há uma condução caótica de elétrons e de calor, levando à redução drástica da eficiência da troca térmica. Assim, uma alternativa para esta liga seria usar o $\text{Pb}_{13}\text{Ge}_{29}\text{Se}_{58}$ ou o $\text{Pb}_{15}\text{Ge}_{37}\text{Se}_{58}$, pois apresentam coeficiente de Seebeck aproximadamente oito vezes maior que o Telureto de Bismuto.

3 Conclusões

Conclui-se que a processo estudado mostra resultados de baixa eficiência quanto ao objetivo desejado, assim mais pesquisas devem ser realizadas para aperfeiçoar e viabilizar o sistema, tecnologicamente e economicamente. Considerando o ligeiro aumento no número de componentes embarcados nos veículos atualmente, ter uma fonte de energia limpa para alimentá-los é muito viável, pois pode-se economizar com baterias. Assim, pode-se afirmar que investimentos nesta tecnologia são desejáveis e propícios, por tratar-se de uma forma de energia limpa, uma vez que utiliza apenas o calor gerado por um determinado processo, não apresentando resíduos. Assim, o baixo rendimento deste sistema não retira o mérito, pois a recuperação do que seria desperdiçado já é um benefício interessante.

Como proposta de trabalho futuro tem-se a construção de uma bancada experimental para verificação dos conceitos avaliados neste trabalho. As implicações mecânicas da instalação do módulo termo elétrico não foram avaliadas neste projeto. A aplicação do princípio do gerador termoelétrico nos processos industriais para efetuar a recuperação da energia térmica também é uma proposta. Isto pode contribuir para a redução dos desperdícios energéticos que existem numa organização.

Referências

CALLISTER, W. D. **Ciências e tecnologia dos materiais: uma introdução**, Rio de Janeiro, 2013.

CAMARGO, J. R.; OLIVEIRA, M. C. C. **Projeto de um condicionador de ar automotivo peltier-seebeck autosustentável**, 2010. In: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande, Brasil.

CUNHA, D. O. **Seminário sobre dissipadores**. 2001. Disponível em: <www.gta.ufrj.br/~doc/dissipadores.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2015.

FERNANDES, A. E. S. S. **Conversão de energia com células de peltier**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2012.

Fischer Pastilhas e Freios Especiais Ltda. **Catálogo de Aplicações**. Publicação eletrônica, 2014.

HB Corporation. Datasheet: **Thermoelectric Cooler TEC1-12706**. Publicação Eletrônica, 2003.

Robert Bosh Ltda. **Catálogo Freios** 2011-2012. Publicação eletrônica, 2010.

Robert Bosh Ltda. **Catálogo Linha de Fricção** 2012-2013. Publicação eletrônica, 2012.