

**UNIRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**TERMOELÉTRICA PELTIER APROVEITAMENTO DO CALOR DO
ESCAPAMENTO DOS MOTORES A COMBUSTÃO COM CÉLULAS
TERMOELÉTRICAS**

MARCOS FLÁVIO CARDOSO

Orientador: Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

Monografia apresentada a faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV– Universidade de Rio Verde – Como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

RIO VERDE – GOIÁS

2014

**UNIRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**TERMOELÉTRICA PELTIER APROVEITAMENTO DO CALOR DO
ESCAPAMENTO DOS MOTORES A COMBUSTÃO COM CÉLULAS
TERMOELÉTRICAS**

MARCOS FLÁVIO CARDOSO

Orientador: Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

Monografia apresentada a faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV– Universidade de Rio Verde – Como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

RIO VERDE – GOIÁS

2014

CARDOSO, Marcos Flávio.

Termoelétrica Peltier Aproveitamento do Calor do Escapamento dos Motores a Combustão com Células Termoelétricas.

-2014

51f. : il. ; 30 cm.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) apresentado à Universidade de Engenharia Mecânica, 2014.

Orientador, Professor Warley Augusto Pereira.

1. Introdução, 2. Revisão da literatura, 3. Métodos e técnicas, 4. Testes e Resultados.

I. Título.



UNIVERSIDADE DE RIO VERDE

CRENCIADA PELO DECRETO Nº 5.971 DE 02 DE JULHO DE 2004

Fazenda Fontes do Saber
Campus Universitário
Rio Verde - Goiás

Cx. Postal 104 - CEP 75901-970
CNPJ 01.815.216/0001-78
I. E. 10.210.819-6 / I.M. 021.407

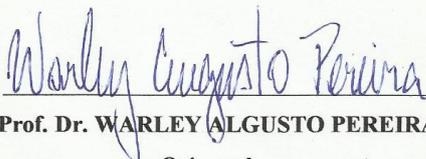
Fone (64) 3620-2200
e-mail fesurv@fesurv.br
www.fesurv.br

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

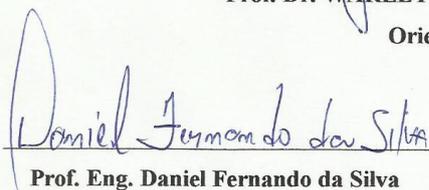
**TERMOELÉTRICA PELTIER APROVEITAMENTO DO CALOR DO
ESCAPAMENTO DOS MOTORES A COMBUSTÃO COM CÉLULAS
TERMOELÉTRICAS.**

MARCOS FLÁVIO CARDOSO

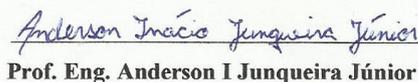
Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do grau de **BACHAREL EM
ENGENHARIA MECÂNICA** e aprovada em sua forma final.


Prof. Dr. WARLEY ALGUSTO PEREIRA

Orientador


Prof. Eng. Daniel Fernando da Silva

Examinador 1


Prof. Eng. Anderson I Junqueira Júnior

Examinador 2


Prof. Ms. João Pires de Moraes

Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica

Rio Verde -GO
2014

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia à minha esposa, Jaqueline Eger Cardoso, aos meus pais, Braz Augusto Cardoso e Selma Irene de Jesus, aos meus irmãos, Welbert Renato Cardoso, Willian Cardoso e Daniel Augusto Cardoso, que são pessoas de extrema importância na minha vida, que me ajudaram nesta longa caminhada, que faz parte da minha vida profissional e me ensinaram a nunca desistir, por mais dura e difícil seja a batalha. E a todos os meus amigos e colegas da faculdade que ajudarão a superar todos os obstáculos do curso e toda a turma do kart que disponibilizou de parte dos equipamentos do projeto e me influenciaram na escolha do curso.

Obrigado a todos por me ensinar a nunca desistir. Vocês são muito especiais para mim.

RESUMO

CARDOSO, M. F. TERMOELÉTRICA PELTIER APROVEITAMENTO DO CALOR DO ESCAPAMENTO DOS MOTORES A COMBUSTÃO COM CÉLULAS TERMOELÉTRICAS. 2014 51f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – UNIRV – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2014¹.

A intenção deste trabalho foi experimentar uma nova fonte de energia, na tentativa de utilizar uma energia que é desperdiçada nos motores a combustão, em especial nos escapamentos em que se tem o ponto de maior calor. Neste aspecto, objetivo do trabalho foi alcançado com êxito. Através deste experimento, verificou-se, que existem outras alternativas para poder obter energia normalmente desperdiçada. Com pesquisas mais avançadas sobre os módulos termoelétricos será possível criar dispositivos que irão converter energia térmica em energia elétrica com mais eficiência. Com isto os veículos terão um novo aliado para a geração de energia, podendo alimentar alguns acessórios de painéis entre outros. O mais interessante foi o desempenho dos módulos na conversão de energia, que quanto maior a temperatura do escapamento, mais energia foi extraída. Em motores de maiores proporções, como por exemplo, os de caminhões em longas viagens, onde haverá um maior aquecimento do escapamento por longos períodos, proporcionará uma capacidade muito grande de geração de energia. Se forem aplicados corretamente materiais e os fundamentos de cada um, será possível realizar grandes projetos que irão beneficiar o homem.

PALAVRAS-CHAVE

Calor, Inovação, Reaproveitamento, Termoeletricidade.

¹ Orientador: Prof. Dr. Warley Augusto Pereira. Banca Examinadora: Prof. Eng. Daniel Fernando da Silva e Prof. Eng. Anderson I Junqueira Júnior

ABSTRACT

Cardoso, M. F **TERMOELÉTRICA PELTIER UTILIZATION OF HEAT OF COMBUSTION EXHAUST ENGINE WITH CELLS THERMAL**. 51f 2014. Monografia (Graduation in Mechanical Engineering) - UNIRV - University of Rio Verde, Rio Verde, 2014².

The intent of this work was to try a new source of energy in attempting to use an energy that is wasted in combustion engines, especially in the exhaust that has the point of highest calorific. In this respect, objective was successfully achieved. Through this experiment, it was found that there are other alternatives for obtaining energy normally wasted power. With more advanced research on thermoelectric modules you can create devices that will convert thermal energy into electrical energy more efficiently. With this vehicle will have a new ally for power generation, which can feed some panels and other accessories. But most interesting was the performance of power conversion modules, the higher the temperature of the exhaust, more energy was extracted. In larger proportions, such as engines, trucks on long trips where there will be a greater heating exhaust for long periods, will provide a very large capacity power generation. If properly materials and fundamentals of each are applied, you can accomplish great projects that will benefit the man.

KEY WORDS

Thermoelectricity heat, Innovation, Repurposing

²Advisor: Prof. Dr. Warley Augusto Pereira. Examiners: Prof. Eng. Daniel Fernando da Silva e Prof. Eng. Anderson I Junqueira Júnior

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Energia perdida no veículo.....	16
FIGURA 2	Energia potencial no motor à combustão.....	18
FIGURA 3	Motor estacionário Honda.....	19
FIGURA 4	Pressão em função do volume para demonstrar a temperatura máxima.....	20
FIGURA 5	Energia perdida pelo sistema de escapamento, em forma de calor.....	21
FIGURA 6	Movimento dos elétrons numa junção de diferente material.....	22
FIGURA 7	Sensor de temperatura para o efeito Seebeck.....	23
FIGURA 8	Gerador elétrico para o efeito Seebeck.....	23
FIGURA 9	Esquema de funcionamento de um termopar.....	24
FIGURA 10	Junções PN de um módulo termoelétrico.....	24
FIGURA 11	Esquema de um módulo termoelétrico.....	25
FIGURA 12	Aquecimento por efeito Peltier.....	26
FIGURA 13	Arrefecimento por efeito Peltier.....	26
FIGURA 14	Efeito Thomson.....	28
FIGURA 15	Transferência de calor através de um sólido de espessura constante...	30
FIGURA 16	Dimensões do escapamento.....	34
FIGURA 17	Interior do escapamento.....	35
FIGURA 18	Isolamento térmico do escapamento.....	35
FIGURA 19	Trocador de calor.....	36
FIGURA 20	Corte do trocador de calor.....	36
FIGURA 21	Distribuidor.....	37
FIGURA 22	Posição dos trocadores.....	38
FIGURA 23	Sistema de arrefecimento.....	39
FIGURA 24	Escapamento.....	41
FIGURA 25	Termômetro infravermelho.....	43

FIGURA 26	Alfano pro-v2.....	43
FIGURA 27	Conclusão do projeto.....	44
FIGURA 28	Esquema de ligação dos módulos em paralelo.....	45
FIGURA 29	Esquema de ligação dos módulos em série.....	46
FIGURA 30	Relação entre a rotação do motor, temperatura do escapamento e a tensão.....	47
FIGURA 31	Relação entre a temperatura do escapamento e a tensão.....	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Materiais utilizados em módulos termoeletricos.....	25
TABELA 2	Condutividade térmica dos materiais.....	30
TABELA 3	Coleta de dados.....	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

π	Coeficiente de Peltier	V
α	Coeficiente de Seebeck	V
α_N	Coeficiente de Seebeck termoelétrico tipo N	V/°C
α_p	Coeficiente de Seebeck termoelétrico tipo P	V/°C
α_A	Coeficiente de Seebeck da junção A	V/°C
α_B	Coeficiente de Seebeck da junção B	V/°C
E_e	Energia de entrada	V
E_s	Energia de saída	V
A	Corrente elétrica	A
I	Corrente elétrica	A
V	Diferença de potencial	V
V	Volt	V
°C	Graus Celsius	°C
NBR	Normas brasileiras regulamentadoras	-
MAG	Metal active gás	-
MIG	Metal inert gás	-
MCI	Motores de combustão interna	$\left[\frac{V}{°C}\right]$
OHV	Comando de válvulas	-
q'	Perda na transferência de calor	W
q''	Fluxo de calor	W
\dot{Q}	Perdas de calor	KW
$Q_{condução}$	Taxa de condução de calor	W
$Q_{Peltier_quente}$	Calor absorvido por efeito Peltier na face quente	W
Q_{Peltie_fria}	Calor liberado por efeito Peltier na face fria	W
T	Temperatura	°C/k
T_Q	Temperatura da junção quente	°C

T_F	Temperatura da junção fria	°C
ΔE	Varição de energia	V
ΔV	Diferença de potencial	V

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Processo de transmissão de calor dos motores	15
2.2 Consumo Energético em Veículos	15
2.2.1 Perdas no motor 62%.	16
2.2.2 Parado/ligado 17,2%.	16
2.2.3 Acessórios 2,2%	16
2.2.4 Perda na transmissão 5,6%.	17
2.2.5 Resistência aerodinâmica 2,6%	17
2.2.6 Resistência de rolamento 4,2%	17
2.2.7 Vencendo a inércia; perdas na frenagem 5,8%	17
2.3 Perdas Energéticas Localizadas no Motor	17
2.4 Especificações técnicas, e análise da temperatura de exaustão do motor para projeto	18
2.5 Configurações dos Módulos Termoelétricos	21
2.5.1 Efeito Seebeck	21
2.5.2 Efeito Peltier	26
2.5.3 Efeito Thomson	27
2.6 Princípios termodinâmicos	28
2.6.1 Efeito transferência de calor	28
2.7 Métodos e Análise para Trocador de Calor	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33

3.1 Desenvolvimento do Escapamento	33
3.2 Desenvolvimento do Trocador de Calor do Projeto	35
3.3 Distribuidor de Água	37
3.4 Posicionamento dos Trocadores de Calor no escapamento	37
3.5 Métodos de Resfriamento da Água	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Volume do Escapamento	40
4.2 Fluxo de calor	41
4.3 Resultados dos testes	42
4.4 Esquema de Ligação dos Módulos Termoelétricos	45
4.4.1 Esquema de Ligação em Paralelo	45
4.4.2 Esquema de Ligação em Série	45
5 CONCLUSÃO	49
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 INTRODUÇÃO

A cada dia, ouve-se falar sobre desenvolvimento sustentável, principalmente fontes energéticas. Devido ao grande crescimento populacional, o consumo cresceu e a exploração destas fontes também, e com isto à corrida para obter novas fontes energéticas já começou.

Novas tecnologias entram no mercado a cada dia, nos veículos não é diferente, e é comum encontrar uma grande quantidade de dispositivos eletrônicos que oferecem para o seu condutor conforto e comodidade. Todos esses fatores citados demandam de grande quantidade de energia, aumentando assim, o consumo de combustível, e a fonte energia que se dispõe para o funcionamento de todos estes dispositivos é o conjunto motor, alternador e bateria.

O carro é uma máquina térmica que dispõem de muita energia em forma de calor, e uma destas fontes é o escapamento que conduz os gases provenientes da queima do combustível, podendo alcançar temperaturas elevadas, dependendo do ponto do escapamento, chegando próximo dos 700 °C, porém, esta energia é totalmente perdida para o meio.

No ano de 1821, o físico alemão Thomas Johann Seeberck constatou que um circuito formado pela a junção de dois metais de diferentes tipos (módulo termoelétrico), pode ser uma fonte de diferença de potencial elétrico, quando submetidas a diferentes temperaturas. A partir daí, ocorreu uma busca no desenvolvimento e funcionamento dos módulos termoelétricos. No ano de 1834, Jean Charles Athanase Peltier dominou esta técnica, e deu início aos módulos termoelétricos.

O objetivo deste projeto é desenvolver um gerador no entorno do escapamento de um motor, utilizando módulos termoelétricos compostos de telureto de bismuto Bi_2Te_3 , para transformar a energia térmica em energia elétrica, proporcionando, desta forma, uma nova fonte energética nos automóveis para auxiliar a fonte já existente. Este projeto é uma tentativa de se mostrar que existem fontes alternativas de energia que são desperdiçadas no dia a dia por máquinas em forma de calor.

1.1 Objetivo

O presente trabalho, tem o objetivo de desenvolver e mostrar uma nova fonte de energia, através do calor liberado pelo escapamento dos motores de combustão interna. Através de um projeto físico, com a utilização de módulos termoeletricos, com a intenção de desenvolver experimentos para a geração de energia elétrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

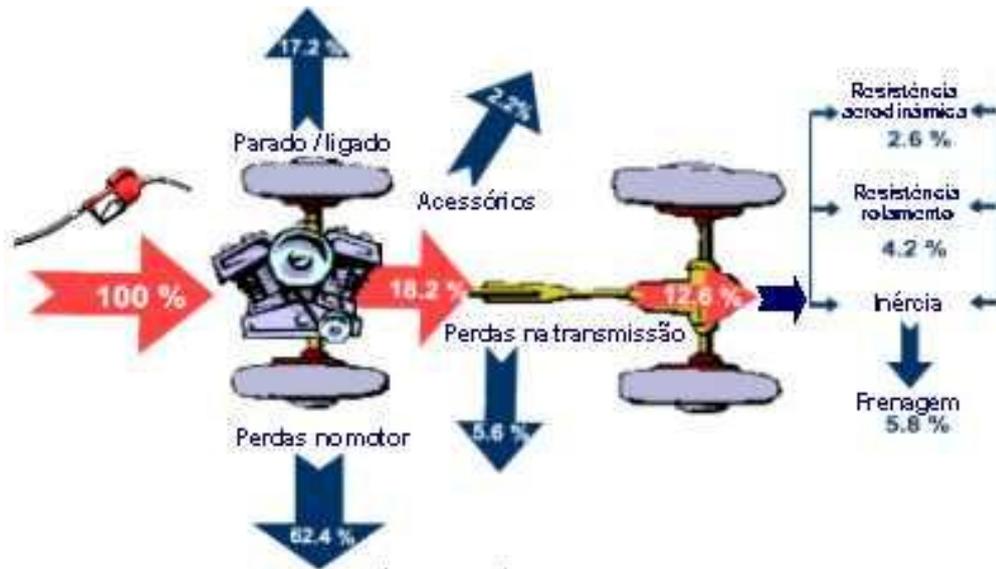
Neste capítulo, são revisadas algumas particularidades referentes às perdas dos motores de combustão interna (MCI), particularmente nas perdas em forma de calor e dos módulos termoelétricos, com os principais métodos disponíveis na literatura, para análise e desenvolvimento deste projeto.

2.1 Processo de transmissão de calor dos motores

Segundo Taylor (1960), o processo de refrigeração envolve o fluxo de calor dos gases, sempre que a temperatura destes excede a da parede. O atrito é outra causa do fluxo de calor para as diversas partes do motor. As perdas de calor influenciam na perda de potência e, conseqüentemente, afetam no rendimento, causando, posteriormente, um consumo mais elevado de combustível para a realização do trabalho desejado do motor. Através desta teoria de Taylor constata-se que os MCIs são máquinas que dispõem de muita energia para realizar seu devido trabalho, como o seu ciclo de operação.

2.2 Consumo Energético em Veículos

De acordo com a Associação Brasileira dos Veículos Elétricos (ABVE), cerca de 15% da energia contida no combustível, ou seja, energia potencial transformada em trabalho mecânico. A energia liberada pelo combustível adicionado no tanque é utilizada para movimentar o veículo, sendo parte desta transformada em energia elétrica usada para acionar acessórios úteis, tais como ar condicionado, sistema de áudio, vídeo, iluminação interna e externa e equipamentos eletrônicos em geral. O resto desta energia é perdida no motor de combustão interna, nas ineficiências do sistema de transmissão e com o motor em repouso em marcha lenta, como e mostrado na figura 1.



Fonte: <http://www.abve.org.br>. Acesso em 15/02/14.

FIGURA 1 – Energia perdida no veículo.

A energia contida no combustível como foi falado anteriormente, que alimenta os motores de combustão interna, é distribuído da seguinte forma:

2.2.1 Perdas no motor 62,4%.

Nos veículos abastecidos a gasolina e/ou etanol, mais de 62,4% da energia contida no combustível é perdida no sistema de funcionamento do motor de combustão interna (MCI). Os MCIs possuem uma ineficiência elevada na conversão da energia química do combustível que é transformada em energia mecânica. Onde as perdas energéticas estão relacionadas com fricção, bombeamento de ar para dentro e para fora do motor e calor desperdiçado.

2.2.2 Parado/ligado 17,2%.

No uso urbano, a energia é perdida com o funcionamento do motor, como por exemplo, quando está parado nos sinais de trânsito, ou em movimento pelas vias, ou seja, o motor não para o seu ciclo de funcionamento, somente o seu consumo de combustível.

2.2.3 Acessórios 2,2%

Ar condicionado, direção elétrica, limpadores de para-brisa, e outros acessórios, que são os grandes consumidores da energia gerada pelo MCI.

2.2.4 Perda na transmissão 5,6%.

Quando o veículo está em movimento, transmitido pela caixa de transmissão, o atrito das engrenagens é uma forma de perda de energia constante.

2.2.5 Resistência aerodinâmica 2,6%

Um veículo também gasta energia para romper a resistência do ar, que está em atrito constante com sua carroceria, principalmente quando está em alta velocidade. A resistência aerodinâmica está diretamente relacionada com a forma estrutural da carroceria do veículo e com a potência do motor.

2.2.6 Resistência de rolamento 4,2%

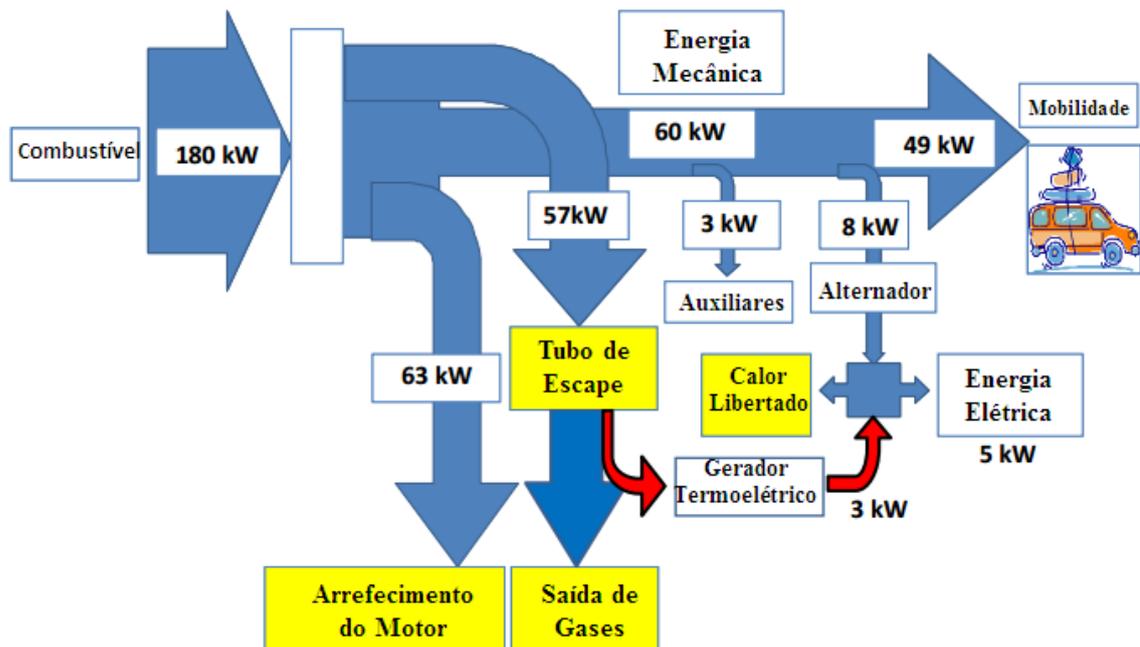
Resistência de rolamento é a medida da força necessária para mover o pneu do veículo para frente e para trás, e é diretamente proporcional ao peso da carga suportada pela área de contato do pneu.

2.2.7 Vencendo a inércia; perdas na frenagem 5,8%

Para mover o carro para frente, a tração do mesmo precisa fornecer energia suficiente para superar a inércia do veículo, que está diretamente relacionada ao seu peso. Quanto menor o peso do veículo, menos torque é liberado pelo motor e menos energia potencial é consumida. Além disso, sempre que usa-se o freio do veículo, a energia inicialmente usada para vencer a inércia, novamente parte dela é perdida.

2.3 Perdas Energéticas Localizadas no Motor

Ainda que o mercado já apresente outras soluções, referentes ao funcionamento dos veículos, a maioria é movida com motor de combustão interna, cuja distribuição de energia é apresentada em uma forma mais detalhada na figura 2.



Fonte: Sousa (2012, p.2).

FIGURA 2 – Energia potencial perdida no motor à combustão.

Analisando a figura 2, nota-se que, o combustível que é consumido no veículo, 1/3 de sua energia é desperdiçada sob a forma de calor, através do escapamento, e que pouco menos de 1/3 dessa mesma energia potencial contida no combustível é responsável pelo trabalho e movimentação do veículo. E 1/3 vai para o sistema de arrefecimento do motor.

2.4 Especificações técnicas, e análise da temperatura de exaustão do motor para projeto.

Com a intenção de se realizar este projeto, para obter dados reais, foi utilizado um motor monocilíndrico, tipo estacionário que possui o mesmo princípio de funcionamento de um motor de um veículo, como mostrado na figura 3.



Fonte: <http://www.honda.com.br/produtos-de-forca/honda-produto-de-forca/Paginas/motor-estacionario-gx390.aspx>. Acesso em 18/03/14.

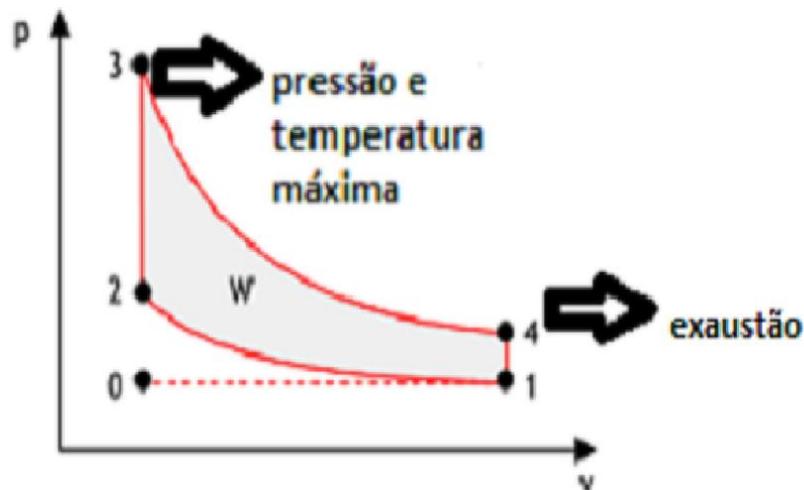
FIGURA 3 Motor estacionário Honda.

As especificações deste motor obtidas nos catálogos da Honda são (<http://www.honda.com.br/produtos-de-forca/honda-produto-de-forca/>):

- Características: 4 Tempos, OHV, monocilindrico
- Potência máxima/rotação (CV/rpm): 13,0/3600
- Potência líquida/rotação (CV/rpm): 11,0 / 3600
- Potência máxima (quilowatts): 9,7
- Cilindrada (cm³): 389
- Diâmetro x curso (milímetros): 88 x 64
- Torque máximo eixo PTO (Kgf.m/rpm): 2,70 / 2500
- Torque líquido eixo PTO (Kgf.m/rpm): 2,56 / 2500
- Taxa de compressão: 8.0:1
- Sistema de partida: Manual (retrátil)
- Sistema de ignição: Magneto transistorizado
- Combustível recomendado: Gasolina comum
- Capacidade do tanque de combustível (litros): 6,5
- Sistema de arrefecimento: Ar forçado
- Sistema de lubrificação: Por salpico
- Capacidade de óleo do cárter (litros): 1,1

- Alerta de óleo: Sim
- Dimensões C x L x A (milímetros): 405 x 450 x 443
- Peso seco (quilogramas): 31
- Ponta de eixo: 1,0"
- Embreagem/Redução: Não

Através do gráfico que está na figura 4, orientado por Brunetti (2012), nota-se que a temperatura e pressão máxima atingida está no ponto 3 para o (ciclo Otto), que é o ponto que está entre a centelha liberada, a combustão e a expansão. A temperatura cai do ponto 3 até o ponto 4, onde ocorre a liberação do gás. O gás que tem uma temperatura ainda ponto 4, que é superior aos 680 °C, e que passa pelas válvulas e dutos coletores do escapamento, e que durante a trajetória do gás pelos coletores e tubos de escape, sua temperatura vai abaixando até ser despejado na atmosfera.



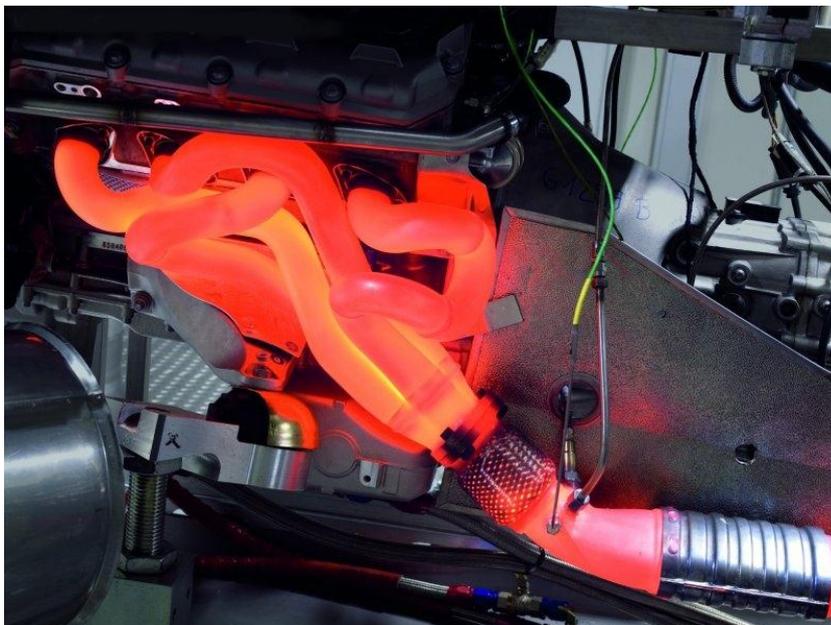
Fonte: Brunetti (2012, p.108).

FIGURA 4 – Pressão em função do volume, para demonstrar a temperatura máxima.

Para confirmar esta teoria foi mensurado a temperatura do escapamento do motor do projeto, em diferentes pontos com um termômetro infravermelho TIR-5000 com mira a laser, mantendo uma rotação constante, o mesmo chegando à uma temperatura de 400 °C.

Onde no ponto 1 tem-se a admissão, com maior volume de ar combustível, no ponto 2 a compressão de todo o volume admitido, no ponto 3 a combustão realizada pela centelha da vela e ponto de maior temperatura do ciclo e no ponto 4 a exaustão que é conduzida pelo escapamento.

A figura 5 mostra uma parte deste calor produzido, e o quanto de energia é liberada, e ao mesmo tempo, desperdiçada para o meio, sob uma rotação constante, por um determinado tempo. Isto ocorre em carros de competições e até mesmo em veículos durante longas viagens.



Fonte: <http://autoentusiastas.blogspot.com.br>. Acesso em 15/02/14.

FIGURA 5 - Energia perdida pelo sistema de escapamento, em forma de calor.

2.5 Configurações dos Módulos Termoelétricos

A termoelectricidade segundo Sousa (2012), baseia-se na conservação direta de uma diferença de potencial numa diferença de temperatura elétrico ou inversamente. Um módulo termoelétrico cria uma tensão elétrica quando há uma diferença de temperatura em cada lado. Inversamente, quando é aplicada uma tensão elétrica ao mesmo, ele cria uma diferença de temperatura. Para melhor analisar o funcionamento deste dispositivo é necessário entender os efeitos e suas reações. Os dispositivos de Seebeck, Peltier e Thomson e a explicação correta para este efeito.

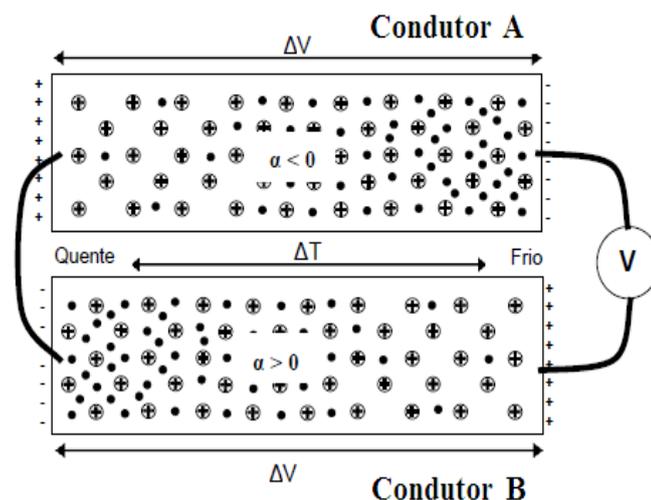
2.5.1 Efeito Seebeck

De acordo com Sousa (2012). No ano de 1823, Thomas Seebeck presenciou-se com resultados de algumas experiências, com uma agulha de uma bússola era desviada quando

colocado na proximidade de um circuito fechado, formado a partir de dois condutores diferentes quando uma das junções foi aquecida. Seebeck concluiu erradamente que a interação era um fenômeno magnético, sendo posteriormente verificado que se devia a uma corrente elétrica nesse mesmo circuito. A sensibilidade dos materiais à diferença de temperatura, fazendo com que seja criada uma diferença de potencial elétrico que é conhecida por coeficiente de Seebeck e é dada pela a relação:

$$\alpha = \frac{\Delta V}{T_Q - T_F} \quad (1)$$

Observando o comportamento dos elétrons numa junção composta por dois condutores distintos é possível uma melhor compreensão deste fenômeno (figura 6).



Fonte: Sousa (2012, P.14).

FIGURA 6 - Movimento dos elétrons numa junção de diferentes materiais submetidos a uma diferença de temperatura.

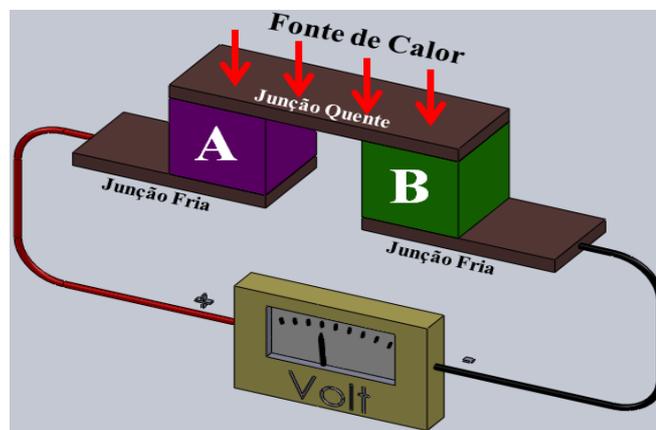
Através de um gradiente de temperatura é introduzido ao longo do comprimento de um condutor metálico, Sousa (2012), diz que os elétrons passam a difundir-se de uma extremidade para outra desse mesmo condutor. O sentido em que os elétrons se colidem, depende das propriedades elétricas do condutor, que podem fazer com que tenha um coeficiente de Seebeck positivo ou negativo.

Como pode ser observado na figura 6, no condutor A, com um coeficiente de Seebeck negativo, os elétrons deslocam-se da região quente para a fria que possui níveis de energia mais baixa, criando-se assim uma diferença de potencial elétrico ao longo do condutor. No condutor B, com um coeficiente Seebeck positivo, o movimento dos elétrons

ocorre no sentido oposto, obtendo-se assim uma diferença de potencial elétrico aos terminais de ambos os condutores na região fria, que é proporcional à diferença de temperatura entre as regiões quente e fria. A diferença de potencial numa junção que é dada pela a equação.

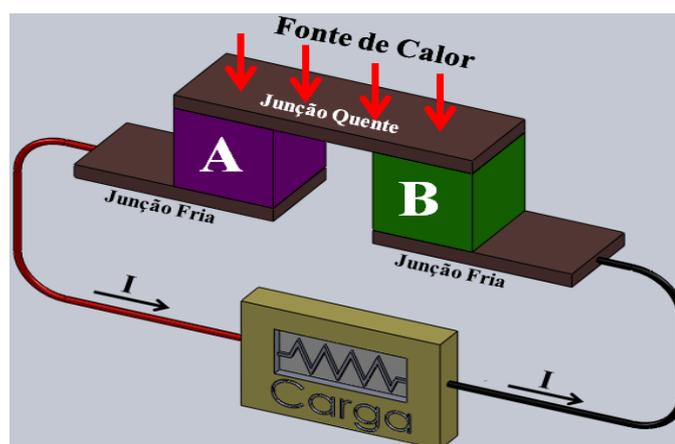
$$\Delta V = (T_Q - T_F) * (\alpha_B - \alpha_A) \quad (2)$$

Através deste princípio pode se permitir o desenvolvimento de dispositivos com finalidades distintas, os mais comuns são os sensores de temperatura e módulos termoelétricos. As figuras 7 e 8 mostram as diferenças no princípio de funcionamento de cada um destes dispositivos, e que alguns são adicionados em módulos termoelétricos.



Fonte: Sousa (2012, P.15).

FIGURA 7 - Sensor de temperatura para o efeito Seebeck.



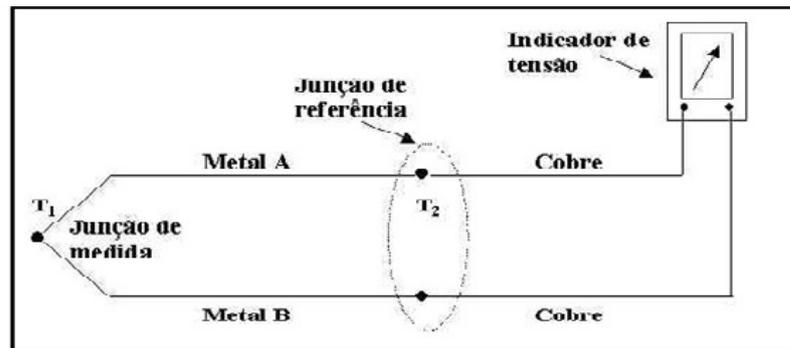
Fonte: Sousa (2012, P.15).

FIGURA 8 Gerador elétrico para o efeito Seebeck.

Pode-se observar nestas figuras, os dois modos de operações distintos de um módulo termoelétrico, tendo como princípio básico de funcionamento o efeito de Seebeck. Na figura 7, a diferença de potencial gerado é medida sob o princípio de funcionamento de um

termopar. Na figura 8 o circuito é fechado com uma carga, sendo assim percorrida por uma corrente elétrica. Como acontece nos módulos termoeétricos sobre um modo de geração de energia.

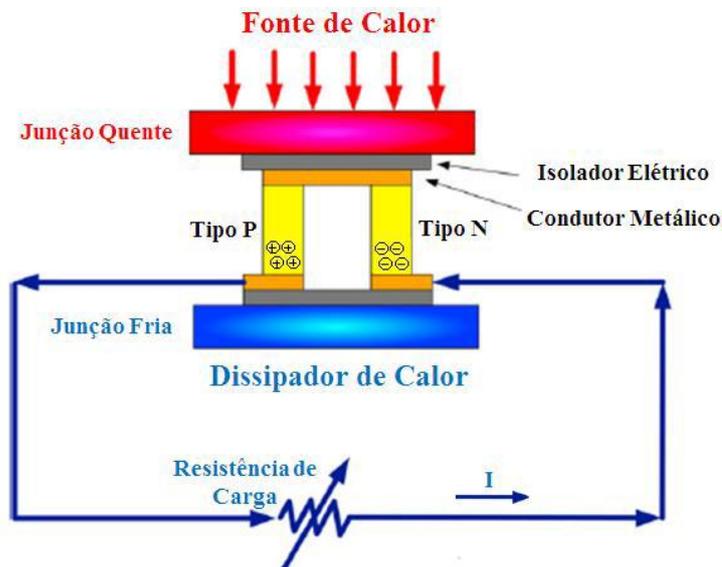
A função dos sensores termopares, através de suas junções metálicas A e B recebe um calor por um dispositivo qualquer, por exemplo, um mancal. Suas junções são resfriadas gerando um sinal elétrico que permite posteriormente ser um indicador de temperaturas em painel controlador de máquinas. A figura 9 traz o funcionamento detalhado de um termopar.



Fonte: http://www.eq.uc.pt/~lferreira/BIBL_SEM/global/termopares/2.html.
Acesso em 18/02/14.

FIGURA 9 - Esquema de funcionamento de um termopar.

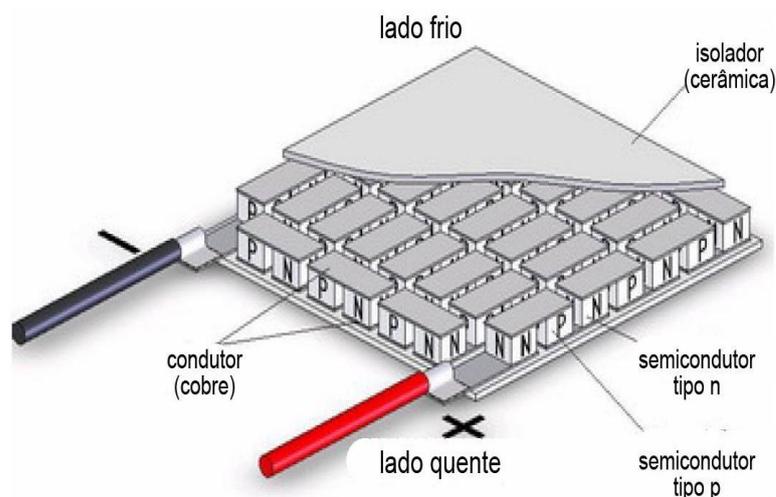
O princípio de funcionamento dos módulos termoeétricos, que são dispositivos desenvolvidos para transformar energia térmica em energia elétrica, é semelhante ao dos termopares. Um módulo termoeétrico é constituído por inúmeras junções semelhantes, que é representada na figura 10, com o seu modo de funcionamento.



Fonte: Sousa (2012, P.18).

FIGURA 10 - Junções PN de um módulo termoeétrico.

Como mostrado na figura 10, através de uma fonte que transfere calor para a junção quente dos materiais, provocando o movimento dos elétrons. Na junção fria dos elementos, o calor é dissipado por alguns dispositivos, podendo-se recorrer às formas de acelerar ou melhorar este processo, como por exemplo, usando um sistema de refrigeração a água acoplado em sua estrutura, do tipo trocador de calor. A figura 11 mostra o esquema de um módulo termoelétrico.



Fonte: <http://kryothermtec.com/portugal.html>. Acesso em 30/03/14

FIGURA 11 – Esquema de um módulo termoelétrico.

Nesta condição as junções estão ligadas em série, gerando uma diferença de potencial em seus terminais, resultando na soma da diferença de potencial em cada junção. Termicamente as junções são ligadas em paralelo, fazendo com que a diferença de temperatura seja aproximadamente igual em cada junção. A Tabela 1 mostra alguns materiais e seus valores como elementos termoelétricos.

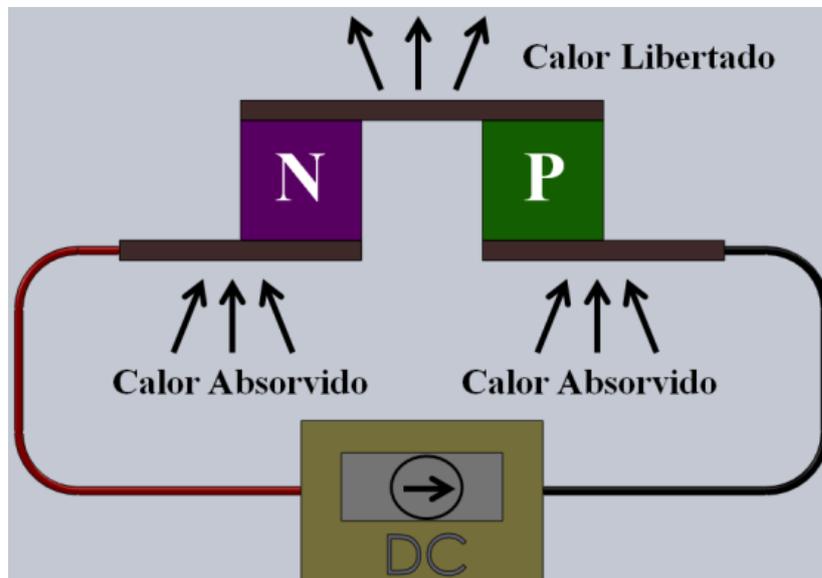
TABELA 1 – Materiais utilizados em módulos termoelétricos (temperatura ambiente).

Material	Simbolo químico	Coefficiente de Seebeck ($\mu\text{V}/\text{k}$)
Níquel	Ni	-18
Cromo	Cr	18
Bismuto	Bi	-60
Antimônio	Sb	40
Telureto de Bismuto	Bi_2Te_3	-240
Telureto de Antimônio	Sb_2Te_3	92

Fonte: Sousa (2012, P.19).

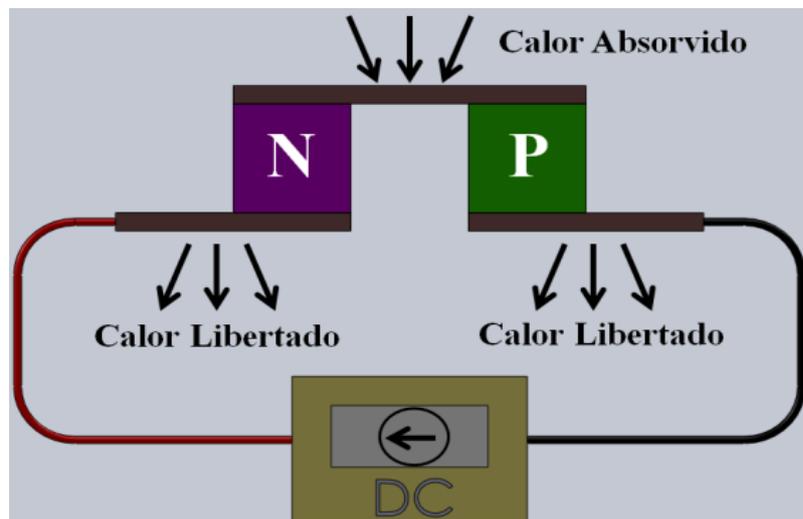
2.5.2 Efeito Peltier

De acordo com Sousa (2012), Após a descoberta de Seebeck, Peltier em 1834 descobriu-se um complemento ao efeito Seebeck, com alterações de temperatura nas proximidades das junções que são formadas de materiais diferentes, quando percorridas por uma corrente elétrica, isto é, uma das junções é arrefecida enquanto a outra aquecida. Peltier também descobriu que dependendo do sentido que o fluxo de corrente apresenta, uma determinada junção poderá liberar ou absorver calor como mostrado nas figuras 12 e 13.



Fonte: Sousa (2012, p.19).

FIGURA 12 - Aquecimento por efeito Peltier.



Fonte: Sousa (2012, p.19).

FIGURA 13 – Arrefecimento por efeito Peltier.

Através das figuras 12 e 13, percorrendo as junções podemos observar uma corrente elétrica em sentidos opostos, na figura 12 mostra que é libertado calor na parte superior da junção, funcionando como aquecedor, enquanto que na figura 13, o calor é absorvido na parte superior da junção, que está funcionando como resfriador.

Conhecido por Lord Kelvin, Thomson em 1951 conseguiu estabelecer uma relação entre este fenômeno e o efeito de Seebeck, relacionando ambos os coeficientes. Descobriu também um terceiro fenômeno relacionado com o aquecimento e arrefecimento de um único condutor, quando submetido a um gradiente de temperatura. A relação entre estes dois fenômenos é estabelecido pela equação (3) que permite conhecer o coeficiente de Peltier a partir do coeficiente de Seebeck.

$$\pi = \alpha T \quad (3)$$

Onde π e coeficiente de Peltier, α coeficiente de Seebeck, T temperatura.

É possível ainda dispor de uma quantidade de calor absorvido ou liberado em cada junção, obtido sob o efeito Peltier. O calor absorvido ou liberado é expresso pelas seguintes equações.

$$Q_{Peltier_quente} = (\alpha_p - \alpha_N) * T_{quente} * I \quad (4)$$

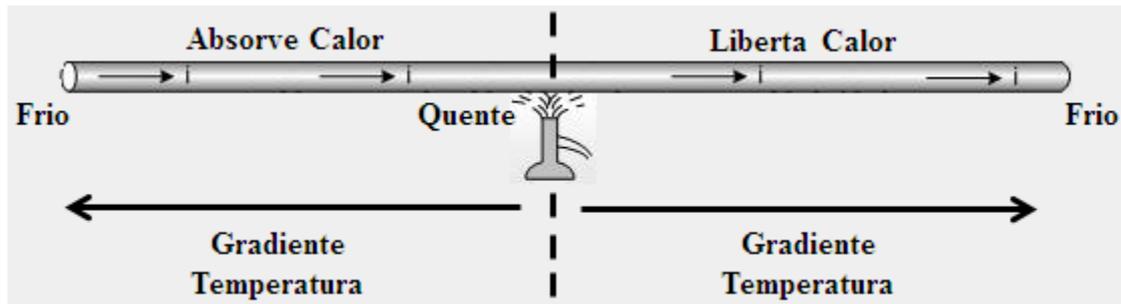
$$Q_{Peltie_fria} = (\alpha_P - \alpha_N) * T_{fria} * I \quad (5)$$

A proporcionalidade do calor absorvido ou liberado consiste na corrente elétrica que percorre o circuito, como está disposto nas equações (4) e (5).

2.5.3 Efeito Thomson

Segundo Sousa (2012). A capacidade de qualquer condutor elétrico sob o efeito Thomson, quando é submetido simultaneamente a uma diferença de temperatura, é percorrido por uma corrente elétrica que pode produzir ou absorver energia sob a forma de calor. O efeito Thomson é a condução e manifestação de elétrons relativamente ao gradiente de temperatura, fazendo com que os elétrons absorvam o calor que vai no sentido oposto do gradiente de temperatura e podendo liberar quando conduzindo no mesmo sentido.

A figura 14 mostra e traduz o que foi relatado anteriormente, quando o condutor absorve calor e quando o fluxo de elétrons tem sentido oposto ao gradiente de temperatura, e a liberação de calor quando está no mesmo sentido. No entanto este efeito é pouco significativo quando comparado às trocas energéticas ocorridas devido ao efeito Peltier ou ao efeito Joule, pelo que é frequentemente desprezado nos modelos teóricos.



Fonte: Sousa (2012, p.21).

FIGURA 14 – Efeito Thomson.

2.6 Princípios termodinâmicos

Nesta parte do trabalho são abordados os princípios e sistemas de transferência de calor, composto pelos módulos termoelétricos e o escapamento, para a elaboração do projeto. É composto de explicações e conceitos teóricos sobre transferências de calor.

2.6.1 Efeito transferência de calor

A termodinâmica que é definida como a ciência da energia, e sendo o calor uma das formas possíveis de transferi-la, é importante conhecer alguns dos princípios fundamentais da termodinâmica de forma a compreender como se processam as transferências de calor entre sistemas.

Assim Borgnakke(2009) diz, que a primeira lei da termodinâmica refere-se ao princípio da conservação da energia, ou seja, durante uma interação a energia pode mudar de uma forma para a outra, mas a quantidade de energia permanece constante, pois a energia não pode ser criada nem destruída. Por exemplo, se uma rocha cair de um penhasco ganha velocidade, resultado da conversão da sua energia potencial gravitacional em energia cinética. Desta forma a mudança no teor da energia de um sistema é dada pela diferença entre a entrada e saída de energia.

$$\Delta E = E_e - E_s \quad (6)$$

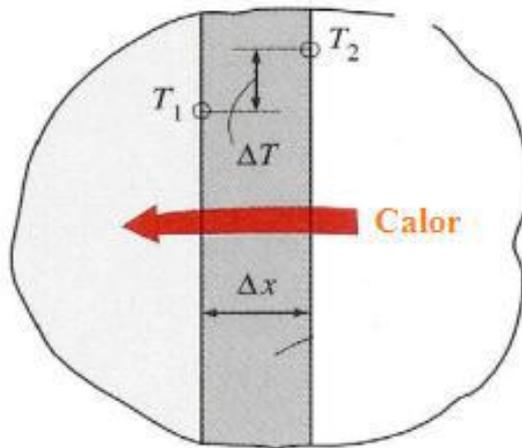
A segunda lei da termodinâmica, outro dos seus princípios fundamentais, diz que a energia tem quantidade e qualidade e que a sua transferência ocorre sempre no sentido decrescente de energia. Por exemplo, quando se coloca uma xícara de café quente numa sala fria, ela arrefece até a temperatura ambiente, mas quando se coloca uma xícara de café frio na mesma sala, ela não aquece por si só. Os princípios fundamentais da termodinâmica complementam-se, não havendo a possibilidade de um invalidar outro. Assim dois objetos atingem equilíbrio térmico quando as suas temperaturas estiverem iguais, resultado de uma transferência de energia do mais quente para o mais frio.

Há várias maneiras para transferir calor, e pode ocorrer de diferentes formas, como a convecção térmica, radiação térmica e condução térmica, sendo necessário que exista uma diferença de temperatura entre sistemas físicos para que a transferência ocorra. O sentido da transferência é do sistema com temperatura mais elevada para o sistema com temperatura mais baixa.

A transferência de calor entre uma superfície sólida e um fluido adjacente que se encontra em movimento é considerada como convecção, e é transportado consigo energia sob forma de calor. Quanto mais rápido for o movimento do fluido maior é o calor transferido por convecção.

A radiação é a energia emitida pela matéria sob a forma de ondas eletromagnéticas, resultantes das alterações das configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas. É uma forma de transferência de energia rápida e não sofre atenuação no vácuo. A energia emitida desta forma por um corpo depende essencialmente da sua temperatura, mas também da natureza da sua superfície.

A transferência de calor por condução consiste na transferência de calor por meio de agitação das moléculas. As moléculas presentes na parte mais quente de um objeto têm maior energia cinética, transferindo assim o calor para a parte mais fria devido à sua interação, sem qualquer movimento do objeto como um todo, isto no caso de objetos sólidos. A transferência de calor por condução pode também ter lugar em líquidos ou gases, onde a condução se deve às colisões das moléculas durante seu movimento aleatório. A figura 15 ilustra a transferência de calor através de um sólido de espessura constante.



Fonte: Sousa (2012, p.47).

FIGURA 15 – Transferência de calor através de um sólido de espessura constante.

A taxa de condução de calor através de um objeto com espessura constante é diretamente proporcional à diferença de temperatura e à área de transferência, e inversamente proporcional à espessura, assim tem-se:

$$Q_{\text{condução}} = -k * A * \frac{dT}{\Delta x} \quad (7)$$

Onde k é a condutividade térmica do material, que atua como constante de proporcionalidade. Quanto maior a condutividade térmica do material, maior a taxa de condução de calor. A tabela 2 mostra a condutividade térmica de alguns dos materiais que foram utilizados no trabalho prático.

TABELA 2 – Condutividade térmica dos materiais.

Material	Condutividade térmica (w/mk)
Cobre	401
Óxido de alumínio	46
Ferro	80
Telureto de bismuto	1,20
Água	0,61
Ar	0,026
Alumínio	247

Fonte: Amaral (2012, P.47).

A resistência térmica, no caso da condução térmica, é dada equação.

$$R_{Térmica} = \frac{t}{k * A} \quad (8)$$

Onde que t é a espessura do material, k é a condutividade térmica e A a área. Desta forma o fluxo de calor por condução pode ser conhecido através da equação.

$$q'' = \frac{k \cdot \Delta t}{L} \quad (9)$$

2.7 Métodos e Análise para Trocador de Calor

A análise de trocadores de calor é uma tarefa muito complicada e os métodos apresentados para análise desses equipamentos devem ser usados com cuidado, pois se considera que o coeficiente global de transferência de calor é constante ao longo do trocador de calor e que os coeficientes de transferência de calor externo e interno podem ser determinados usando as correlações de convecção. Entretanto, o valor do coeficiente global de transferência de calor pode variar em até 30%, tornando-se normal ocorrer superdimensionamento desses equipamentos (ÇENGEL, 2009).

O aumento da transferência de calor em trocadores de calor, geralmente é acompanhado por queda na pressão, tornando-se necessário um aumento na potência de bombeamento; assim, antes de aumentar a taxa de transferência de calor, deve-se analisar se o custo do aumento na potência de bombeamento será compatível com esse procedimento. Outra consideração importante é sobre os fluidos que vão circular pelo trocador de calor, pois normalmente o fluido mais viscoso é apropriado para o lado do casco, devido à área de escoamento ser maior, resultando em menor queda de pressão. O fluido menos viscoso e com maior pressão é recomendado para o lado dos tubos.

Segundo Çengel (2009), ao consultar catálogos de fornecedores de trocadores de calor, depara-se com inúmeros tipos de dispositivos. Uma boa seleção depende dos seguintes fatores:

1. Taxa de transferência de calor: é o mais importante na seleção de um trocador de calor, pois o dispositivo deve ser capaz de transferir calor a uma taxa especificada, para provocar a mudança de temperatura desejada a uma vazão mássica especificada.
2. Custo: é um fator determinante na seleção de um trocador de calor. Dispositivos já fabricados proporcionam menor custo que os feitos por encomenda, no entanto, em alguns

casos os trocadores de calor existentes no mercado não atendem as exigências, tornando-se necessário projetar e fabricar um dispositivo que atenda às necessidades.

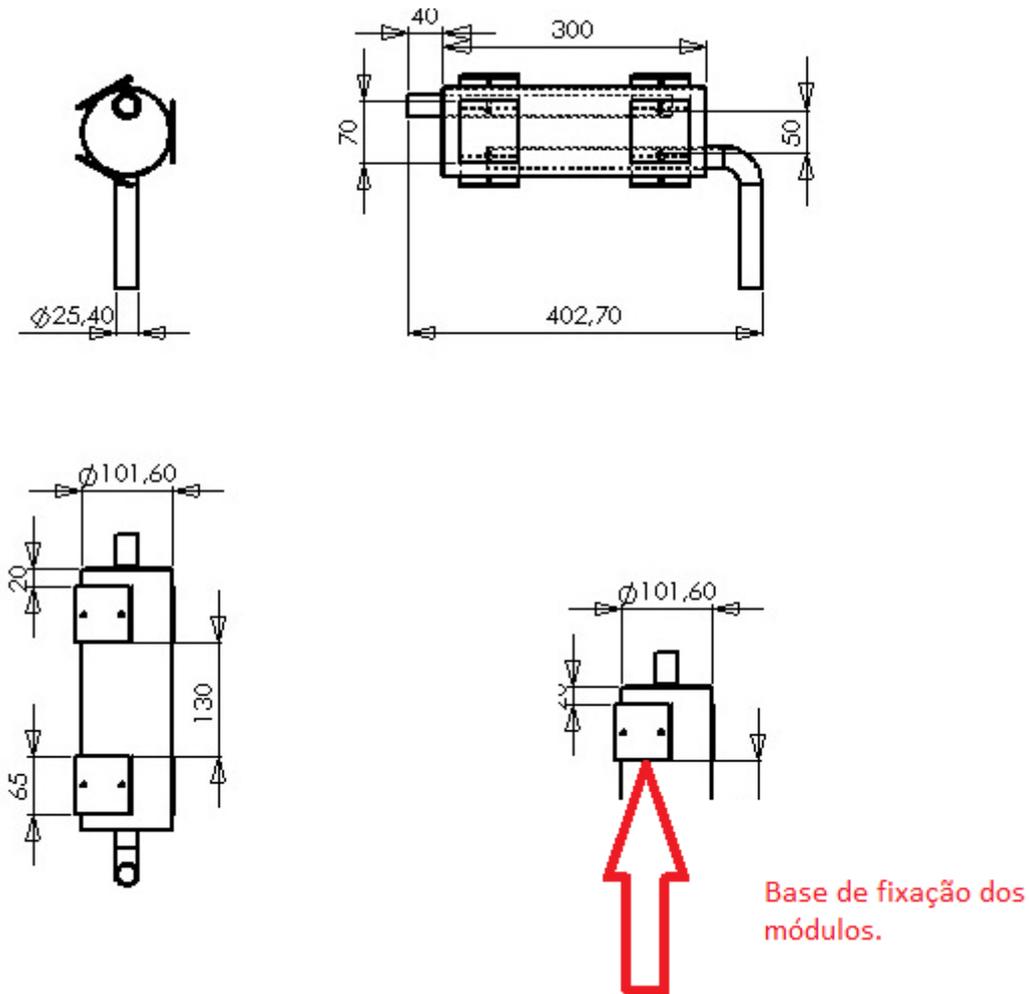
3. Potência de bombeamento: como em um trocador de calor, os fluidos são geralmente forçados a escoar por bombas ou ventiladores que consomem energia elétrica, minimizando-se a queda de pressão e a vazão mássica também será minimizado o custo de operação do dispositivo, no entanto deve-se aumentar o seu tamanho e conseqüentemente o custo inicial. Regra geral, duplicando-se a vazão mássica se reduzirá pela metade o custo inicial, no entanto aumentará a potência de bombeamento em torno de oito vezes.
4. Dimensão e peso: normalmente trocadores de calor menores e mais leves são os melhores.
5. Tipo: o tipo de trocador de calor selecionado dependerá dos tipos de fluidos envolvidos, limitações do tamanho e do peso, e se ocorrerá algum tipo de mudança de fase.
6. Materiais: para selecionar o tipo de material, deve-se levar em consideração o efeito de tensões térmicas e estruturais, expansão térmica e diferencial e a resistência à corrosão.
7. Outras considerações: vazamentos, no caso de fluidos tóxicos; facilidade de reparação, custo de manutenção, segurança, confiabilidade e o nível de ruído.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi desenvolvida uma bancada de testes para avaliar as condições reais, e obter dados referentes aos das citações anteriores, com desenvolvimento e fabricação de alguns itens. Como principal foco de estudos e análise, o conjunto do escapamento, trocadores de calor, distribuidor de água foram de fabricação própria, e alguns equipamentos e objetos foram obtidos prontos e existentes no mercado. Os equipamentos foram fabricados a partir de projeto desenvolvido em programa de desenho auxiliado por computador solidworks, seguido por alguns métodos de usinagem convencional, como torno mecânico, furadeira radial e entre outros métodos da engenharia.

3.1 Desenvolvimento do Escapamento

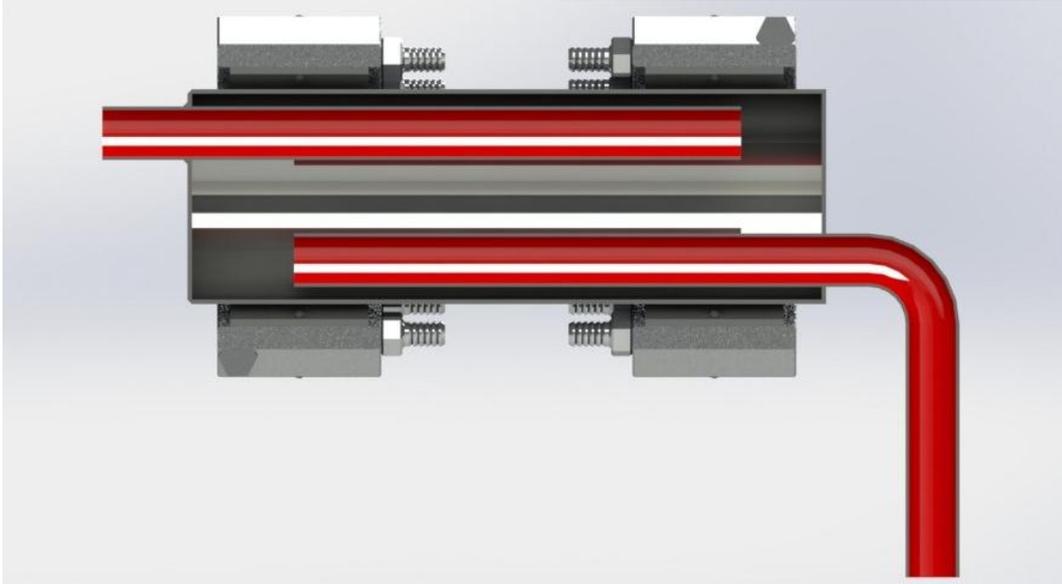
O escapamento foi construído em chapas de aço 1020, com descrições técnicas da ABNT, (Associação brasileira de normas técnicas), material laminado a quente e tubos com costura de aço carbono, de acordo com a NBR (Norma brasileira regulamentadora). O método de soldagem foi o processo MIG/MAG, com a utilização de arame não revestido devido sua alta deposição de metal de solda e boa qualidade e acabamento na solda. Sua construção foi através das medidas em mm desenvolvidas como segue no desenho da figura 16.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 16 – Dimensões do escapamento.

As chapas soldadas no entorno do escapamento, como mostrado na figura 16, serve como base na fixação dos trocadores de calor e módulos termoelétricos. O escapamento teve uma particularidade em seu formato interno, quanto aos tubos de escoamento dos gases, com a intenção de manter por mais tempo a circulação dos gases, assim mantendo a temperatura em suas extremidades por mais tempo, e com o auxílio de uma manta de fibra de vidro, que foi envolvida em seu corpo externo para não ter perdas de calor, criando-se uma maior resistência térmica no escapamento, conforme mostrado nas figuras 17 e 18.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 17 – Interior do escapamento



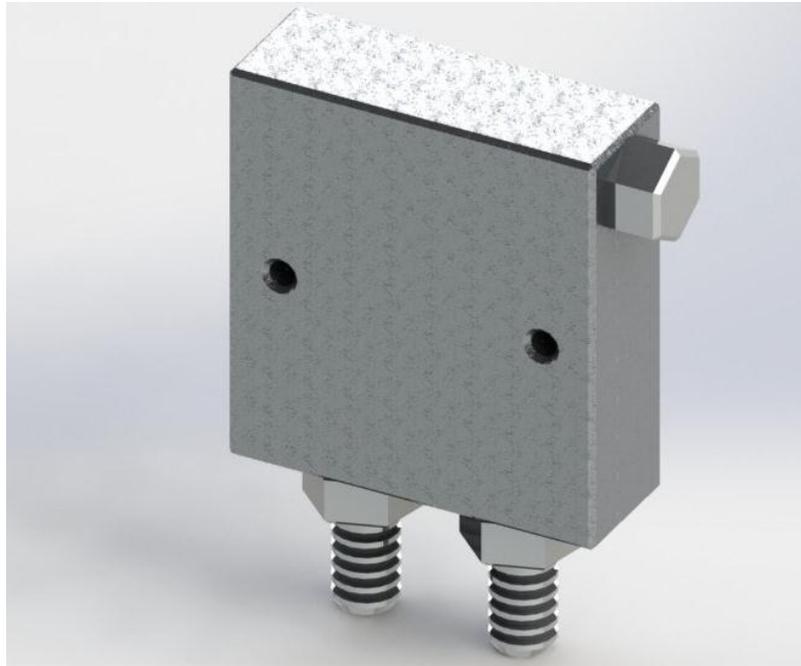
Fonte: Próprio autor.

FIGURA 18 – Isolamento Térmico do Escapamento.

3.2 Desenvolvimento do Trocador de Calor do Projeto

Como os módulos termoelétricos trabalham sob diferença de temperatura, para se obter energia foi projetado um tipo de trocador de calor diferente, mas embasado nas teorias de Cengel. Já que este projeto se trata de experimento, e os módulos termoelétricos precisam manter uma de suas junções resfriada, foi construído um trocador de calor com o corpo em liga de alumínio com dureza entre 90 e 120 HB (Brinell), e boa usinabilidade, excelentes propriedades mecânicas e possui uma ótima resistência à corrosão atmosférica, com

condutibilidade térmica de 247 (W/MK) de acordo com a tabela 2. O trocador de calor projetado é mostrado na figura 19, foi desenhado auxiliado por computador, solidworks.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 19 – Trocador de calor.

A partir da figura 20, que mostra um corte do trocador de calor, analisa-se quanto ao duto que conduz o fluido e qual o percurso em que a água percorre, promovendo a retirada de calor da parede do alumínio, e onde ocorre a troca térmica.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 20 – Corte do trocador de calor.

3.3 Distribuidor de Água

Para a circulação de água no sistema de refrigeração dos trocadores, foi construído um distribuidor para que se pudesse atender todos os canais de escoamento de água. (figura 21).

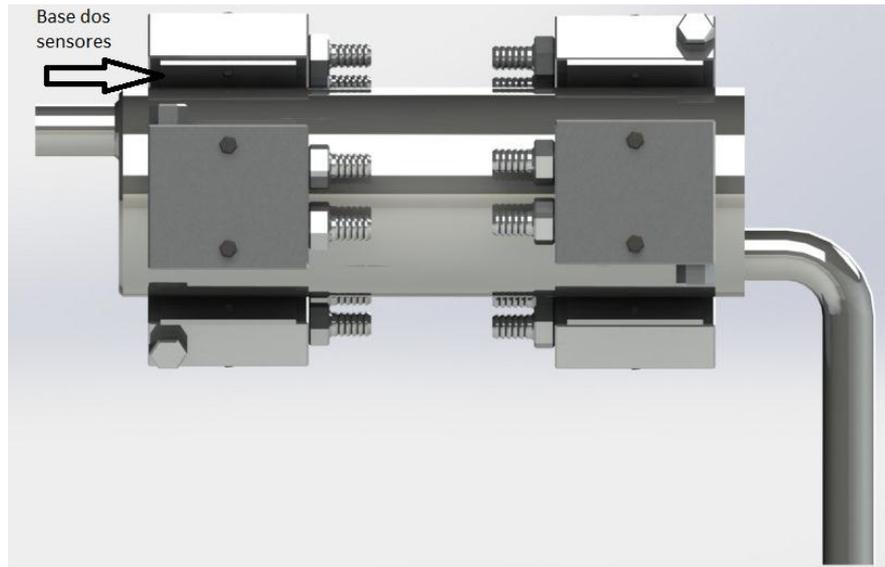


Fonte: Próprio autor.

FIGURA 21 – Distribuidor.

3.4 Posicionamento dos Trocadores de Calor no escapamento

A figura 22 mostra o posicionamento dos trocadores de calor, e base que recebeu os sensores termoelétricos em volta do escapamento. Como os sensores têm as dimensões muito pequenas, eles ficaram em um formato de sanduiche entre a base e o trocador de calor.



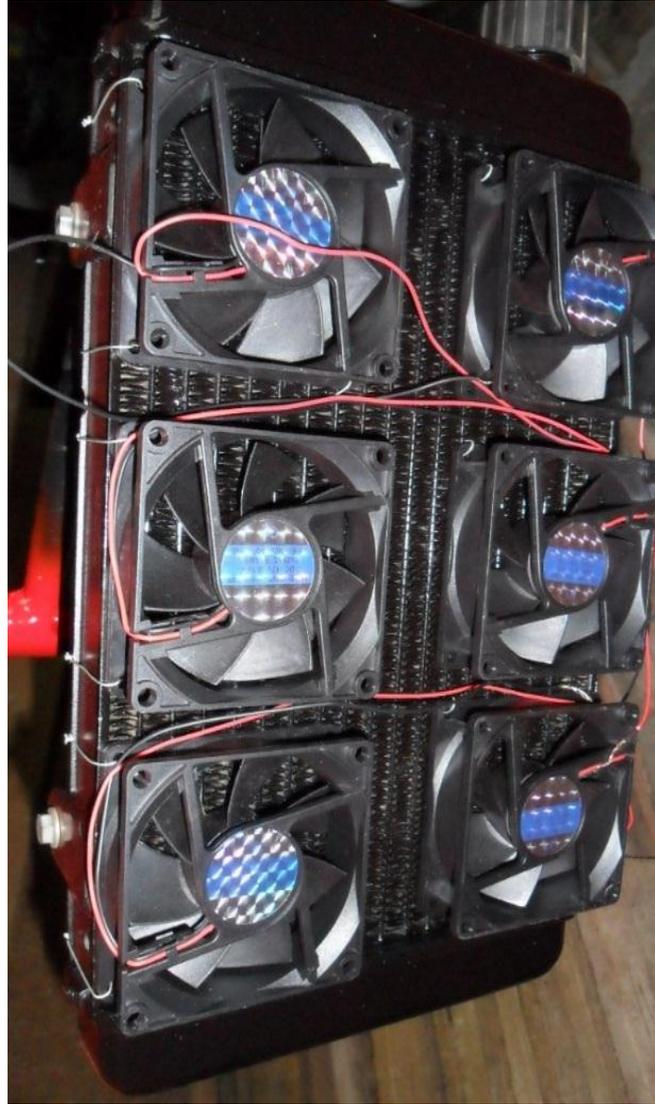
Fonte: Próprio autor.

FIGURA 22 – Posição dos trocadores.

3.5 Métodos de Resfriamento da Água

Para manter os trocadores refrigerados, para circular a água foi utilizado um radiador para que se ocorresse uma troca térmica. Com a energia térmica que foi convertida em energia elétrica, foi instalado um sistema de arrefecimento com cooler como mostrado na figura 23. Que foi alimentado com a própria energia gerada pelo sistema térmico obtido no escapamento.

O sistema de resfriamento contou com um bomba centrífuga de rotor abeto para circular água em todo o sistema. O seu acionamento foi através de polia e correias, movida pelo próprio sistema de tração do motor.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 23 – Sistema de Arrefecimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a fabricação de todos os itens do projeto, foi realizada a montagem do equipamento para poder coletar os resultados experimentais. Com a instalação de alguns sensores em pontos estratégicos do projeto como temperatura da água, rotação do motor, foi possível adquirir dados importantes para esta pesquisa.

4.1 Volume do Escapamento

Os cálculos que seguem abaixo determinam quanto de volume tem o escapamento, o fluxo de calor, as perdas de calor e a resistência térmica do material utilizado.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (10)$$

$$A = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4}$$

$$A = 0,0078 \text{ m}^2$$

Logo

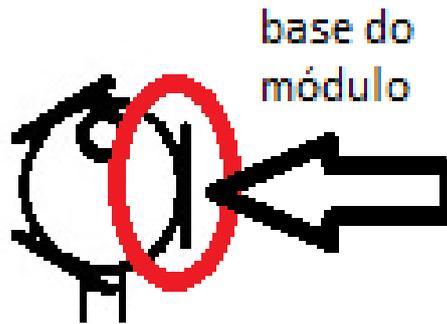
$$V_E = AB \cdot h$$

$$V_E = 0,0078 \cdot 0,3$$

$$V_E = 0,0023 \text{ m}^3$$

4.2 Fluxo de calor

De acordo com Çengel (2009), analisando o ponto mostrado na figura 24, foi realizado o cálculo para descobrir qual foi o fluxo de calor, entre o material utilizado na fabricação do escapamento, até encontrar-se com o módulo termoelétrico.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 24 – Escapamento.

Admitindo que a espessura da chapa da base do módulo possui 2 mm, e a espessura do tubo é 2 mm, como segue a tabela de tubos em anexo, foi analisado o escapamento com auxílio de um termômetro infravermelho TIR-5000 com mira a laser. Com o motor mantendo uma rotação de 1500 rpm, a temperatura medida foi de 92 °C, e para efeito dos cálculos, admitiu-se que a temperatura naquele ponto coletado internamente era de 98 °C. Então segue os cálculos abaixo.

$$q'' = \frac{k \cdot \Delta t}{L}$$

Como a condutividade (k) do material é de $80 \frac{w}{m_k}$ de acordo com a tabela 2, e as temperaturas de 365,15 k e 371,15 k.

$$q'' = \frac{80 \frac{w}{m_k} \cdot (371,15 - 265,15)k}{0,004 m}$$

$$q'' = 120.000,00 \frac{w}{m^2}$$

Com a perda de calor na área da base do módulo;

$$q' = q'' \cdot A_b$$

A área da base mede;

$$A_b = 0,0042 \text{ m}^2$$

Logo

$$q' = 120.000,00 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,0042 \text{ m}^2$$

$$q' = 504 \text{ W}$$

Como o escapamento é uma peça cilíndrica, segue abaixo o cálculo para análise de condução de calor em toda sua extremidade, como foi determinado por Çengel (2009).

$$\dot{Q} = 2\pi \cdot k \cdot L \cdot \left(\frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \right)$$

Como os respectivos raios são: $r_1 = 0,050 \text{ m}$

$$r_2 = 0,052 \text{ m}$$

$$\dot{Q} = 22.163,9999 \text{ KW}$$

4.3 Resultados dos testes

A figura 27 mostra o equipamento projetado já concluído, com todos os módulos termoelétricos instalados no escapamento, e todo o circuito de circulação de resfriamento dos trocadores de calor montados, que teve a água como seu fluido de circulação. Logo após se iniciou a fase de teste do projeto, onde foram recolhidas as informações através de aparelhos como um termômetro infravermelho TIR-5000 com mira a laser como segue na figura 25, com faixa de medição de -50°C a 500°C e resolução 1°C . Com multímetro digital DT- 830 -

Multitoc e um ALFANO PRO V2 como segue na figura 26, onde foi obtida a rotação do motor e temperatura da água de refrigeração.



Fonte: <http://www.sintecpromaquinas.com.br/termometro> 10/11/2014

FIGURA 25 – Termômetro infravermelho TIR-5000 com mira a laser.



Fonte: <http://vjkarting.blogspot.com.br/> 10/11/2014

FIGURA 26 – ALFANO PRO V2.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 27 – Conclusão do Projeto.

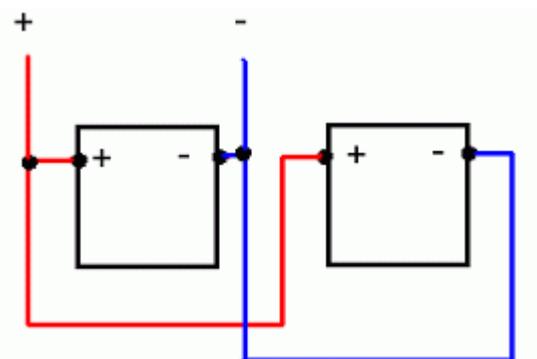
Após a partida do motor foi realizado o teste com apenas um módulo termoeletrico para coletar a real tensão gerada, e qual poderia ser o tipo de ligação dos módulos. O resultado obtido após 2 minutos de funcionamento, com o motor em 1500 RPM, temperatura da água de circulação com 23 °C e a temperatura do escapamento de 53,3 °C, foi gerada uma tensão de 1,15 V e 12,6 A.

4.4 Esquema de Ligação dos Módulos Termoelétricos

Através do primeiro teste obtido com os módulos termoelétricos, em questão de fornecimento de energia, houve a necessidade de se realizar testes com os métodos de ligação em série e em paralelo, para que se atendesse a melhor capacidade de alimentação do cooler do sistema. Os métodos de ligação em série ou em paralelo só foram realizados em energia com corrente contínua (DC), de acordo com os métodos de ligação descritos a seguir.

4.4.1 Esquema de Ligação em Paralelo

A ligação em paralelo serve para somar a amperagem do equipamento que está fornecendo a energia, sem nem um tipo de variação da voltagem, usando os polos positivo com positivo e negativo com negativo, como no caso de baterias ligadas em paralelo. Assim, é como se houvessem duas baterias de 12 V com corrente de 7A ligadas, resultando uma amperagem total de $7 + 7 = 14$ A em 12 V. A figura 28 mostra como foi feita a ligação em paralelo dos módulos.

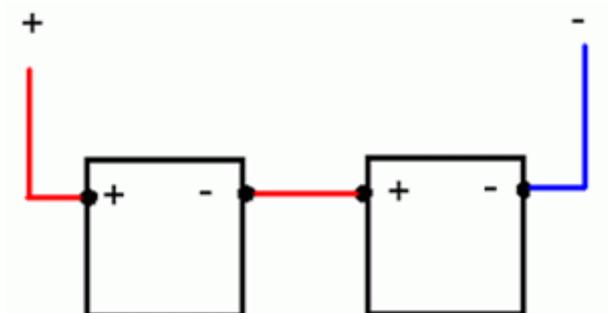


Fonte: <http://gerandoenergiaonline.blogspot.com.br/07/09/2014>.

FIGURA 28 – Esquema de ligação dos módulos em paralelo.

4.4.2 Esquema de Ligação em Série

Na ligação em série, soma-se a tensão sem alteração da corrente, através dos polos positivos com negativos e negativos com positivos, como exemplo, uma bateria de 12 V em 7A cada, gerando como resultado $12 + 12 = 24$ V em 7A, conforme mostrado na figura 29.



Fonte: <http://gerandoenergiaonline.blogspot.com.br/07/09/2014>.

FIGURA 29– Esquema de ligação dos módulos em série.

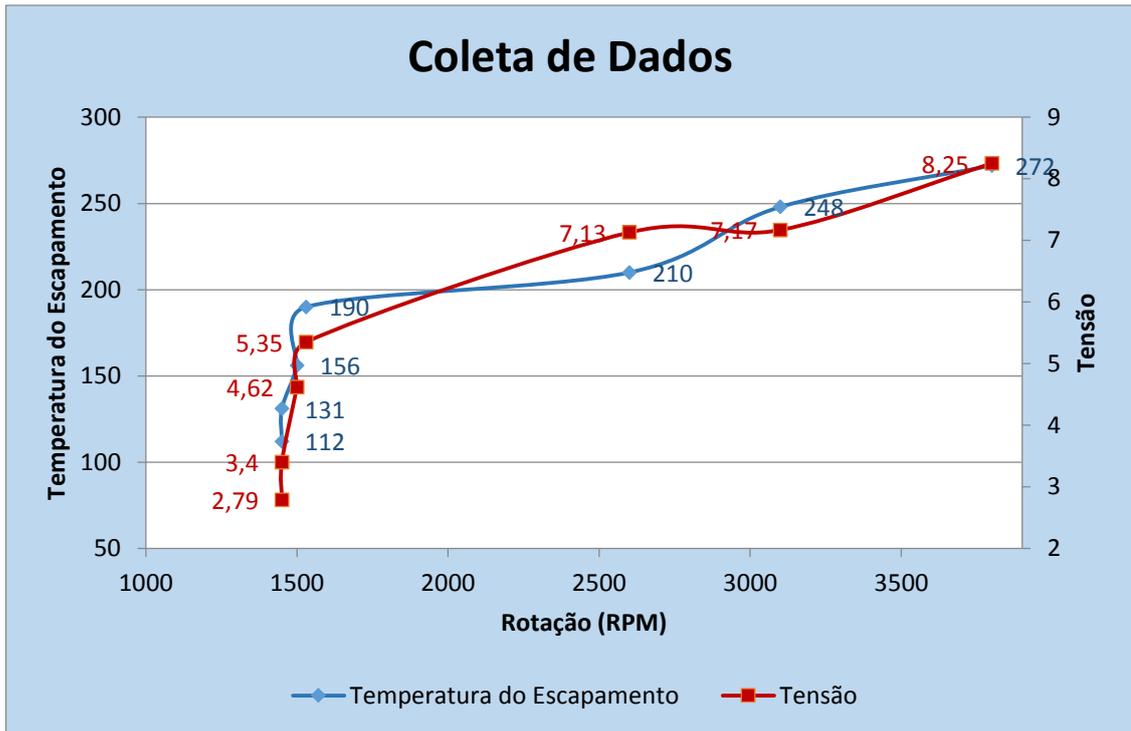
Logo, com o motor em funcionamento, foram obtidos os seguintes resultados utilizando o método de ligação em série como foi mostrado anteriormente, o resultado segue na tabela 3, que teve informações relacionadas à rotação, temperatura, tensão e a corrente gerada.

TABELA 3 – Coleta de Dados.

OBTENÇÃO DOS RESULTADOS					
HORAS	RPM	TEMPERATURA DA ÁGUA DE CIRCULAÇÃO	TEMPERATURA DO ESCAPAMENTO	TENSÃO GERADA (V)	CORRENTE GERADA (A)
8:28	1450	36	112	2,79	16,0
8:31	1450	37	131	3,40	16,2
8,37	1500	39	156	4,62	16,3
8,39	1530	40	190	5,35	16,5
8:42	2600	40	210	7,13	16,6
8:45	3100	41	248	7,17	16,6
8:48	3800	41	272	8,25	16,7

Fonte: Próprio autor.

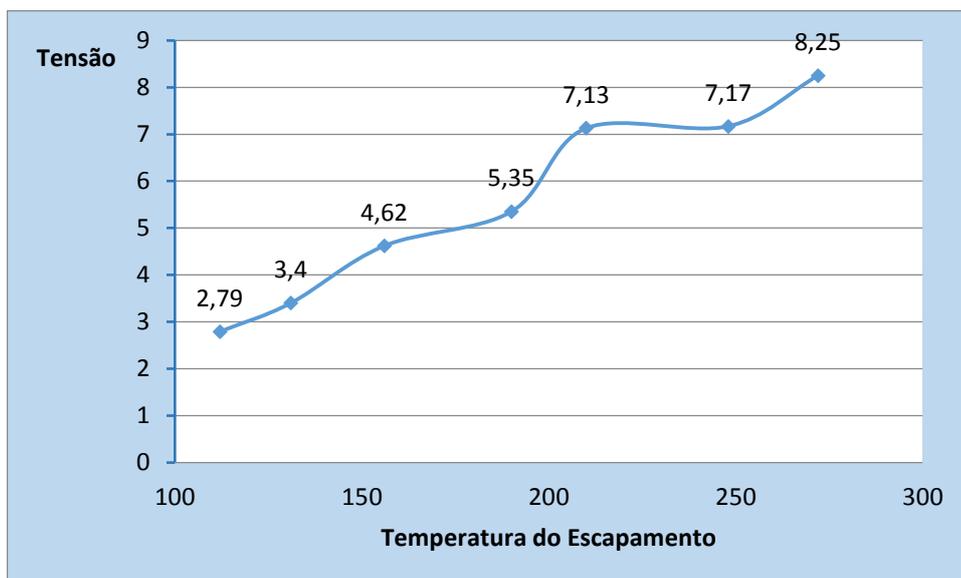
Analisando o gráfico da figura 30, tem-se a melhor visão da situação do projeto. Na linha vertical primária tem-se a temperatura do escapamento e na linha vertical secundária tem-se a tensão gerada.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 30 – Relação entre a rotação do motor, a temperatura do escapamento e a tensão.

Pode-se observar no gráfico da figura 30, que o comportamento tanto da temperatura quanto da tensão foi parecido com relação à variação da rotação do motor, isto é, aumentou rapidamente em rotações menores, subindo em uma taxa mais gradual nas rotações mais altas. Isto significa que, a tensão é diretamente relacionada com a temperatura do escapamento, como era esperado, o que fica claro no gráfico da figura 31.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 31 – Relação entre a temperatura do escapamento e a tensão.

Foi analisado com o motor em funcionamento, qual seria a tensão gerada com os coolers desligados e os módulos sem cargas. O resultado foi obtido com o escapamento com 110 °C e gerou 7,08 V e 15,8 A. Os coolers foram novamente ligados, e o motor foi desligado. A surpresa foi que o escapamento estava com 88 °C e gerava uma tensão de 2,65 V e 15,6 A, e ainda manteve 3 coolers girando dos 6 em que estavam ligados no circuito. O interessante é que os módulos conseguem gerar energia mesmo em baixa temperatura no escapamento.

5 CONCLUSÃO

A intenção deste trabalho foi experimentar uma nova fonte de energia, na tentativa de utilizar uma energia que é desperdiçada nos motores a combustão, em especial nos escapamentos em que se tem o ponto de maior caloria. Neste aspecto, objetivo do trabalho foi alcançado com êxito.

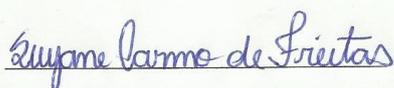
Através deste experimento, verificou-se, que existem outras alternativas para poder obter energia normalmente desperdiçada. Com pesquisas mais avançadas sobre os módulos termoelétricos será possível criar dispositivos que irão converter energia térmica em energia elétrica com mais eficiência. Com isto os veículos terão um novo aliado para a geração de energia, podendo alimentar alguns acessórios de painéis entre outros. Mas o mais interessante foi o desempenho dos módulos na conversão de energia, que quanto maior a temperatura do escapamento, mais energia foi extraída. Em motores de maiores proporções, como por exemplo, os de caminhões em longas viagens, onde haverá um maior aquecimento do escapamento por longos períodos, proporcionará uma capacidade muito grande de geração de energia. Se forem aplicados corretamente materiais e os fundamentos de cada um, será possível realizar grandes projetos que irão beneficiar o homem.

DECLARAÇÃO

Eu, **Suyane Carmo de Freitas**, RG 4177785/ DGPC-GO, graduada e Licenciada em Letras, declaro ter realizado a análise e correção ortográfica da Monografia tendo como título: **“Termoelétrica Peltier Aproveitamento do Calor do Escapamento dos Motores a Combustão com Células Termoelétricas”** do aluno **Marcos Flávio Cardoso**, do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde (UniRV).

Por ser verdade firmamos o presente.

Rio Verde, 10 de dezembro de 2014.



Suyane Carmo de Freitas
Licenciada em Letras

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, J. **Reaproveitamento de Calor para Geração de Energia Eléctrica no Automóvel,** 2012 .

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R, E.; **Fundamentos da termodinâmica:** tradução da 7ª edição americana – São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna:** volume 1. – São Paulo: Blucher, 2012.

CHIQUETTO, M. J. **Física:** volume único: ensino médio. – São Paulo: Scipione, 2000.

ÇENGEL, Y. A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem pratica.** 3ª ed. São Paulo: McGraw-hill, 2009. 902p.

BRASILEIRA, A; NORMA, T; “**Para onde vai a energia num veículo convencional**” em <<http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0013>. > Acesso em 02/05/2014.

INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** 6.ed. Rio de Janeiro: editora LTC, 2011. 643p

MALVINO, A. P. **Eletrônica:** volume 1; tradução Romeu Abelo; revisão técnica Antônio Pertence Junior. – 4ª. Ed. – São Paulo: Markron Books, 1995.

WAINTRAUB, F; MOURÃO, F; “**Termopares: Teorias e Téncias**” em <http://www.peb.ufrj.br/cursos/eel710/Termopar.pdf>, acessado em 04/05/2014.