



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

HIGOR LEANDRO VEIGA DA SILVA

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE UM
GERADOR TERMOELÉTRICO ACOPLADO NO SISTEMA DE ESCAPE DE UM
MOTOR A DIESEL**

SÃO LUÍS
2017

HIGOR LEANDRO VEIGA DA SILVA

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE UM
GERADOR TERMOELÉTRICO ACOPLADO NO SISTEMA DE ESCAPE DE UM
MOTOR A DIESEL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão
para obtenção do grau de bacharelado em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Louryval Coelho Paixão

SÃO LUÍS

2017

HIGOR LEANDRO VEIGA DA SILVA

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE UM
GERADOR TERMOELÉTRICO ACOPLADO NO SISTEMA DE ESCAPE DE UM
MOTOR A DIESEL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão
para obtenção do grau de bacharelado em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Louryval Coelho Paixão

Aprovado em: _____ de _____ de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Louryval Coelho Paixão (Orientador)

Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho

Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Me. Paulino Cutrim Martins

Universidade Estadual do Maranhão

Dedicatória,

A Deus por ter concedido que tudo isso acontecesse na minha vida e a minha família pelo apoio, incentivo e compreensão nos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos ter concedido, através de sua bondade infinita, o potencial de concretizar mais uma conquista em nossa vida.

Ao Prof. Louryval Coelho Paixão, por aceitar me orientar nesse trabalho com disponibilidade incondicional e sempre ter sido paciente e solícito.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão que foram de fundamental importância para a minha aprendizagem

A minha família pela paciência e apoio que sempre demonstraram e incentivo constante para eu poder conquistar os meus sonhos.

Aos todos meus amigos que contribuíram direta e indiretamente durante toda a minha graduação

Epigrafe,

"Eu não me preocupo que eles roubem a minha ideia... eu me preocupo que eles não tenham suas próprias."

Nikola Tesla

RESUMO

A energia elétrica consumida pela sociedade atualmente vem em grande parte de recursos naturais que são limitados, sendo assim de grande importância o desenvolvimento de fontes alternativas de energia elétrica. Este trabalho teve como objetivo montar um gerador termoelétrico no sistema de escapamento de um motor a combustão interna, utilizando assim o efeito termoelétrico para gerar energia elétrica de uma forma limpa. Através de ensaios experimentais foi possível demonstrar que tal gerador pode é capaz de servir como uma pequena fonte de geração de energia limpa, sendo até possível ser utilizado em motores de veículos convertendo a energia térmica desperdiçada diariamente por esses veículos em energia elétrica útil.

Palavras Chave: Efeito termoelétrico. Gerador termoelétrico. Energia limpa.

ABSTRACT

The electric energy consumed by society today comes largely from natural resources that are limited, and so the development of alternative sources of electric energy is of great importance. This work aimed to mount a thermoelectric generator in the exhaust system of an internal combustion engine, thus using the thermoelectric effect to generate electricity in a clean way. Through experimental trials it has been possible to demonstrate that such a generator can be able to serve as a small source of clean energy generation and may even be used in vehicle engines by converting the thermal energy wasted daily by these vehicles into useful electrical energy.

Key Words: Thermoelectric effect. Thermoelectric generator. Clean energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Movimentação dos Elétrons Devido ao Efeito Seebeck.....	15
Figura 2 - Diferença de Potencial Criada Entre Dois Metais.....	16
Figura 3 - Efeito Seebeck.....	16
Figura 4 - Efeito Peltier.....	18
Figura 5 – Termopar.....	22
Figura 6 - Módulo Termoelétrico.....	24
Figura 7 - Pastilha Peltier.....	27
Figura 8 - Pastilha Peltier, Dissipadores de Calor, Cooler e Isoladores Térmicos	27
Figura 9 – Motor a diesel.....	28
Figura 10 - Gerador Termoelétrico Acoplado no Sistema de Exaustão do Motor	29
Figura 11 - Isolamento Térmico da Pastilha Peltier.....	30
Gráfico 1 - Diferença de temperatura em relação ao tempo do ensaio 1.....	32
Gráfico 2 - Gradiente de temperatura em relação a tensão elétrica do ensaio 1	33
Gráfico 3 - Diferença de temperatura em relação ao tempo do ensaio 2.....	34
Gráfico 4 - Gradiente de temperatura em relação a tensão elétrica do ensaio 2	34
Gráfico 5 - Diferença de temperatura em relação ao tempo do ensaio 3.....	35
Gráfico 6 - Gradiente de temperatura em relação a tensão elétrica do ensaio 3	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo Geral	12
1.2	Objetivos Específicos	12
2	REVISÃO TEÓRICA.....	13
2.1	Princípio da Termoeletricidade	13
2.2	Histórico da Termometria termoelétrica.....	13
2.3	Efeitos Básicos da Termometria Termoelétrica.....	15
2.3.1	Efeito Seebeck	15
2.3.2	Efeito Peltier	17
2.3.3	Efeito Thomson	20
2.4	Termopar	21
2.5	Geradores ou Módulos Termoelétricos	23
2.6	Aplicações da Tecnologia Termoelétrica	25
2.7	Motor a Diesel	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1	Materiais	26
3.2	Método Experimental	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5	CONCLUSÃO.....	38
	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a questão energética no mundo vem mudando bastante. Devido ao alto consumo dos recursos naturais do planeta atualmente, a energia sustentável tem se mostrado a melhor alternativa para geração de energia. Um tipo de energia sustentável é a energia gerada pelo efeito termoelétrico, que é a conversão direta da diferença de temperatura em uma tensão elétrica ou vice-versa. Aplicando-se um gradiente de temperatura em dois tipos de metais diferentes unidos por junções e na ausência de campos magnéticos é criada uma diferença de potencial, que por sua vez induzirá uma corrente elétrica devido à movimentação das cargas elétricas. Essa corrente elétrica induzida termicamente pode ser mensurada e utilizada como qualquer outra. (PRAVINCHANDRA, 2015).

Este efeito de criar uma corrente elétrica na aplicação de uma diferença de temperatura em dois tipos de metais diferentes é um tipo de efeito termoelétrico que é chamado de efeito Seebeck. O efeito Seebeck, nomeado assim devido ao cientista Thomas Johann Seebeck, é mensurado em V/K (Volts/Kelvin) sendo o valor padrão utilizado para esta medida a faixa de $\mu\text{V/K}$ (milivolts/Kelvin).

Por o efeito Seebeck depender da temperatura para gerar energia, quanto maior for a diferença de temperatura maior será o potencial elétrico que ele criará. Mas a corrente elétrica gerada também dependerá dos tipos de metais utilizados e também dos materiais utilizados na construção das junções. Este tipo de efeito termoelétrico também funciona da forma contrária, na qual aplicando-se um potencial elétrico a dois tipos de metais diferentes unidos por uma junção é possível gerar um gradiente de temperatura nos metais, este tipo de efeito é denominado efeito Peltier. Estes dois fenômenos geralmente são referidos juntos como um só efeito, chamado de efeito Peltier-Seebeck. (PRAVINCHANDRA, 2015).

Uma grande diferença da geração de energia pelo efeito termoelétrico para com outros tipos de geração de energia sustentáveis é que o efeito termoelétrico se trata de uma conversão direta, ou seja, a energia térmica é convertida diretamente em energia elétrica, desta forma é possível construir dispositivos de geração de energia sem partes mecânicas intermediárias, deixando o dispositivo livre de manutenção periódica. Desta forma este princípio é bem interessante nas aplicações em fontes de

energia, sendo utilizado principalmente em grandes indústrias, porém ainda é pouco explorado como fonte alternativa de produção de energia. (LORA, 2004)

Com os avanços tecnológicos crescendo cada vez mais nos dias de hoje, a energia criada pelo efeito termoelétrico tem um grande potencial, pois é possível a criação de dispositivos mais baratos, mais eficientes e que possam ser utilizados em atividades cotidianas, tornando este tipo de geração uma fonte alternativa de energia elétrica suprimindo a necessidade atual de sustentabilidade e preservação do meio ambiente. (SHENA, 2013).

A proposta deste trabalho é aplicar um gerador termoelétrico em um motor a combustão interna para gerar energia elétrica através da energia térmica desperdiçada pelos gases de escape do motor.

Os motores a combustão interna utilizados nos dias atuais desperdiçam a maior parte da energia gerada pelos combustíveis na forma de calor dissipado para o meio ambiente, nos motores de automóveis por exemplo, menos de 50% da energia gerada é realmente transformada em trabalho mecânico e utilizada pelo veículo, pois a maior parte da energia gerada pela explosão dos combustíveis é dissipada na forma de calor e desperdiçada. Desta forma é possível a utilização de geradores termoelétricos para converter parte dessa energia desperdiçada em energia elétrica útil, melhorando assim também a eficiência do motor e aproveitando a energia desperdiçada por motores que são utilizados diariamente. (VAN WYLEN, 2004).

Com os avanços tecnológicos a geração termoelétrica vem ganhando cada vez mais aplicações onde se requer confiabilidade alta e baixo custo de manutenção. Se os materiais termoelétricos forem estudados e explorados de forma correta, essa tecnologia tem grande potencial, com a possibilidade da criação de uma vasta gama de novos produtos no mercado capazes de transformar em energia elétrica aproveitável o calor dissipado para o meio ambiente. (SHENA, 2013).

O projeto será executado em etapas, onde cada uma corresponde a uma linha de ação do projeto. O trabalho começou primeiramente com levantamento de dados sobre termoeletricidade, assim como pesquisa bibliográfica, gerando desta forma o conhecimento necessário para a realização deste trabalho. Posteriormente será analisado a melhor forma de aplicar um gerador termoelétrico a um motor a combustão interna.

Após feita a aplicação do gerador ao motor, será avaliado o desempenho do gerador termoelétrico para a geração de energia elétrica. Finalmente poderão ser descritas as características construtivas e operacionais do projeto desenvolvido.

1.1 Objetivo Geral

Aplicar um gerador termoelétrico no sistema de exaustão de um motor a combustão interna para gerar energia elétrica e analisar os dados adquiridos.

1.2 Objetivos Específicos

- 1.1.1.** Aplicar e adequar um gerador termoelétrico ao sistema de exaustão de um motor a combustão interna;
- 1.1.2.** Avaliar o desempenho do gerador termoelétrico;
- 1.1.3.** Descrever as características construtivas e operacionais do projeto desenvolvido.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Princípio da Termoeletricidade

O princípio da termoeletricidade se trata de um modo de conversão de energia, neste caso, a energia térmica em energia elétrica. Aplicando um gradiente de temperatura em um dispositivo composto por dois tipos de metais diferentes unidos por uma junção, sem interferência de um campo magnético, é criada uma diferença de potencial que induz uma corrente elétrica devido à movimentação das cargas elétricas. A fonte de calor utilizada pode ser desde a chama de uma vela até resíduos de processos industriais, como também o calor gerado pelo escapamento de um veículo. (MONTEIRO, 2002).

2.2 Histórico da Termometria termoelétrica

Para chegar nos princípios fundamentais da termometria termoelétrica que existem hoje, foram necessários vários anos de estudos e as combinações dos trabalhos desenvolvidos por vários cientistas ao longo de todos esses anos. A termoeletricidade tem o seu início na Itália com os estudos do cientista Alessandro Giuseppe Antônio Anastasio Volta por volta do ano 1800, que observando os experimentos em rãs de Luigi Galvani sobre “eletricidade animal”, concluiu que tal fenômeno não existia, mas o que estava ocorrendo era que os metais utilizados por Galvani na conexão dos nervos e músculos das rãs estavam gerando eletricidade que causava as contrações musculares dos animais. A partir disso Volta percebeu que as contrações musculares estavam ocorrendo e continuando por um certo tempo, enquanto havia um circuito de dois metais heterogêneos, concluindo que as excitações causadas por eletricidade nos músculos das rãs vinham dos metais. Esta conclusão de Volta foi o início do princípio do termopar. (PANCALDI, 2003).

Após a descoberta de Alessandro Volta, vários outros cientistas começaram a estudar e pesquisar sobre os efeitos termoelétricos, mas os que podem ser destacados como maiores contribuintes para este princípio são Thomas Seebeck, Jean Peltier e William Thomsom, que deram origem às denominações dos três efeitos básicos da termometria termoelétrica, o efeito Seebeck, o efeito Peltier e o efeito Thomsom, diferentes, mas sempre relacionados entre si. (MONTEIRO, 2002).

Segundo Pancaldi (2003), o efeito Seebeck foi descoberto pelo cientista Thomas Johann Seebeck. Seebeck foi um alemão que nasceu na época de 1770 em uma família de mercadores e se formou em medicina pela Universidade de Göttingen em 1802, mas sempre preferiu estudar a física. Por causa da sua paixão por física no ano de 1821 descobriu o efeito Seebeck em um de seus estudos sobre efeitos térmicos em arranjos galvânicos, ele conectou acidentalmente dois metais diferentes, bismuto e cobre, induzindo uma Força Eletromotriz termoelétrica e perturbando uma bússola que estava perto. A princípio Seebeck acreditou que o ocorrido se tratava de um magnetismo induzido pela diferença de temperatura e chamou esse fenômeno de termo-magnetismo. Porém somente após alguns anos, já após a morte do cientista, o efeito Seebeck foi comprovado como uma das principais propriedades elétricas de um condutor.

Nascido em 1785 na França o cientista Jean Charles Athanase Peltier descobriu o efeito Peltier quando realizava seus estudos em termopares, 13 anos depois de Thomas Seebeck ter descoberto o efeito Seebeck no ano de 1821. Jean Peltier descobriu este efeito quando aplicou pequenas correntes elétricas em um termopar feito de bismuto e antimônio nos seus estudos sobre os efeitos elétricos de junções metálicas, que são conhecidas atualmente pelo nome de termopares. Este experimento mostrou que quando uma corrente elétrica é aplicada em uma junção de dois metais distintos em uma direção, devido à movimentação das cargas elétricas a junção arrefece e quando a corrente elétrica é aplicada na direção contrária a junção aquece. Peltier também observou que esse fenômeno ocorre quando a corrente elétrica é gerada por uma fonte de tensão externa, ou também se essa corrente for gerada pelo próprio termopar. A partir desse estudo de Peltier, que nos dias atuais na utilização de um termopar deve-se reduzir ao máximo essa corrente elétrica utilizando voltímetros de elevada resistência interna. (PIEIDADE, 2007).

Nascido na Irlanda em 1824, William Thomson foi um físico-matemático renomado, foi o responsável por criar a escala Kelvin, trabalho que lhe concedeu o título de Lorde Kelvin e líder nas ciências físicas do século XIX. Em um de seus estudos no ano de 1851, Lorde Kelvin trabalhou em uma abordagem teórica que unificasse o efeito Seebeck e o efeito Peltier. A partir desse estudo ele descreveu a capacidade generalizada de uma junção metálica submetida a uma corrente elétrica e uma diferença de temperatura em absorver ou gerar calor, observando que a

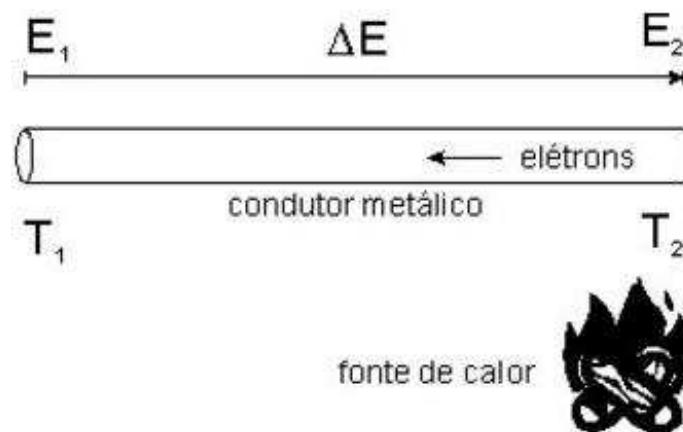
condução de calor ao longo dos fios metálicos de um par termoeletrico, que não transporta corrente elétrica, é feita com uma distribuição de temperatura uniforme em cada fio. Ao ser aplicado uma corrente elétrica, a distribuição de temperatura é modificada em cada fio de maneira não uniforme. Essa variação adicional na distribuição da temperatura conhecido como efeito Thomson. (PIEADADE, 2007).

2.3 Efeitos Básicos da Termometria Termoeletrica

2.3.1 Efeito Seebeck

O efeito Seebeck trata-se de um fenômeno termoeletrico que é derivado da capacidade dos elétrons de condutores metálicos se deslocarem quando estes condutores são submetidos a um gradiente de temperatura. Quando uma fonte de calor é aplicada em um condutor elétrico, gerando um gradiente de temperatura, a extremidade que absorve a maior quantidade de calor faz com que os elétrons da região aumentem a sua energia cinética e se desloquem para a extremidade mais fria do condutor. Essa ação faz com que uma diferença de potencial elétrico seja gerada entre as extremidades do condutor metálico, conforme está apresentado na figura 1. (SANTOS, 2007).

Figura 1 - Movimentação dos Elétrons Devido ao Efeito Seebeck

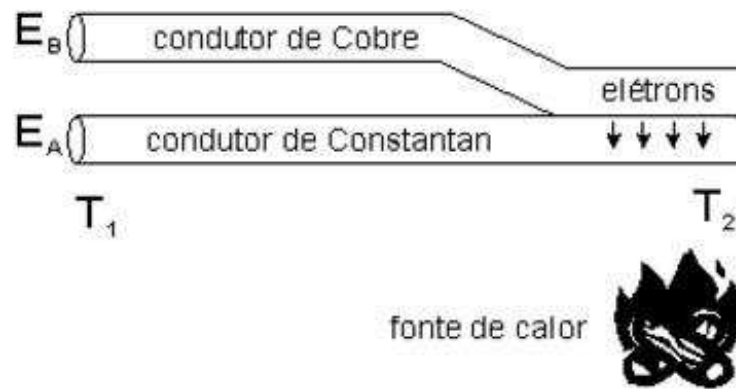


Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Seebeck>

Da mesma forma, quando dois condutores metálicos de natureza diferente, como por exemplo cobre e constantan, são ligados e submetidos a um gradiente de temperatura por uma fonte de calor externa, os elétrons tendem a migrar de um

condutor para outro gerando uma diferença de potencial elétrico entre os dois metais, como mostrado na figura 2. (GONÇALVES, 2008).

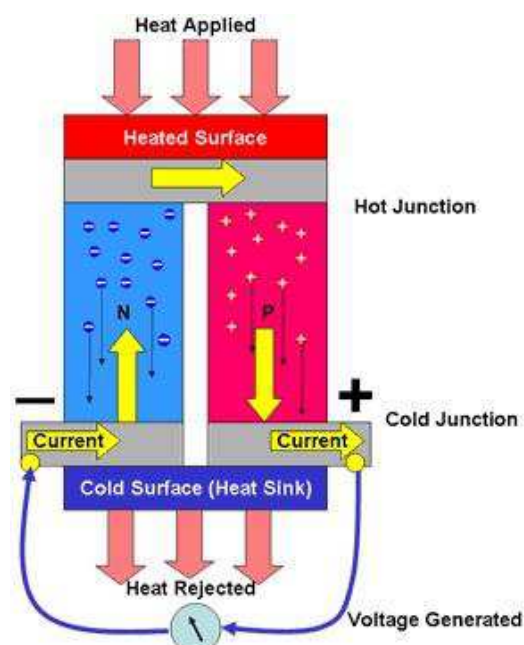
Figura 2 - Diferença de Potencial Criada Entre Dois Metais



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Seebeck>

Este fenômeno é conhecido como efeito Seebeck. O efeito Seebeck permite a construção de dispositivos feitos por dois tipos de metais distintos ligados por uma junção formando um circuito fechado capazes de gerar uma corrente elétrica a partir da aplicação de uma diferença de temperatura. A figura 3 mostra essa aplicação. (GONÇALVES, 2008).

Figura 3 - Efeito Seebeck



Fonte: <<http://www.mpoweruk.com/semiconductors.htm>>

A corrente elétrica gerada pelo efeito Seebeck é mensurável como qualquer outra, desta forma a tensão Seebeck pode ser calculada. A tensão Seebeck se refere à Força Eletromotriz térmica em uma condição na qual a corrente elétrica seja nula, ou seja, que o circuito do dispositivo esteja aberto. A magnitude e a polaridade da tensão Seebeck, representada pela letra E_S , dependem tanto das características e do gradiente de temperatura das junções quanto também das características e do gradiente de temperatura dos metais que constituem o dispositivo. A tensão produzida é proporcional ao gradiente de temperatura aplicado no dispositivo. A equação 3 mostra o cálculo utilizado para calcular a tensão Seebeck. (SANTOS, 2007).

$$dE_S = \int_{T_f}^{T_q} \alpha_{A,B} \cdot dT \quad (1)$$

$$E_S = \alpha_{A,B}(T_q - T_f) \quad (2)$$

$$dE_S = \alpha_{A,B} dT \quad (3)$$

Onde:

E_S = Tensão de Seebeck [V]

$\alpha_{A,B}$ = Coeficiente de Seebeck [V/K]

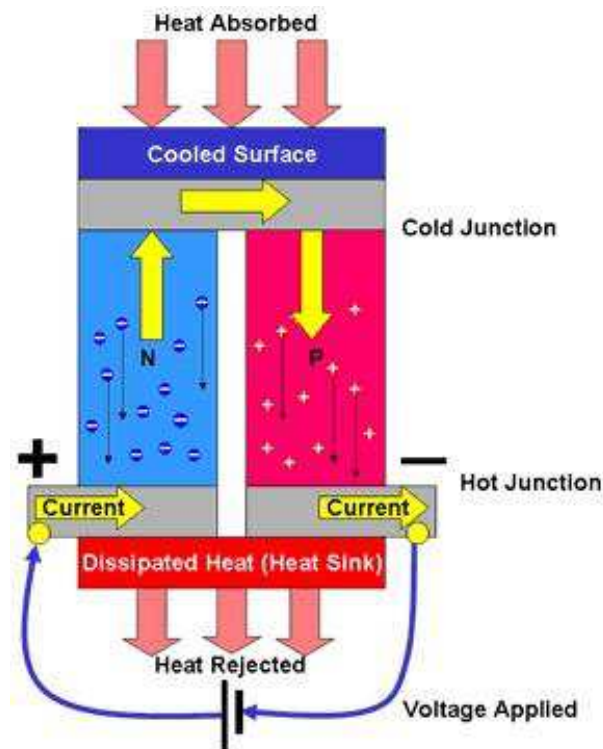
T_q = Temperatura da fonte quente [K]

T_f = Temperatura da fonte fria [K]

2.3.2 Efeito Peltier

O Efeito Peltier, que também pode ser chamado por Força Eletromotriz de Peltier, é um fenômeno contrário ao Efeito Seebeck. Da mesma forma que o efeito Seebeck gera uma Força Eletromotriz em um termopar, o Efeito Peltier também gera uma Força Eletromotriz, mas desta vez essa Força Eletromotriz é gerada devido a aplicação de uma pequena corrente elétrica em uma certa direção numa junção de dois metais distintos. A Força Eletromotriz gerada pela corrente elétrica faz com que a junção seja resfriada, porém se a direção da corrente elétrica for invertida, a junção aquece. Como mostra a figura 4. (NETTO, 2006)

Figura 4 - Efeito Peltier



Fonte: <<http://www.mpoweruk.com/semiconductors.htm>>

De acordo com NETTO (2006), o Efeito Peltier está relacionado à absorção de calor ou emissão de calor de forma reversível que acontece quando a corrente elétrica atravessa o termopar. Esse fenômeno acontece quando a corrente elétrica é introduzida por um circuito externo e também quando a corrente é produzida pelo próprio termopar.

Quando se trata do Efeito Peltier, a energia térmica emitida ou absorvida é proporcional à corrente elétrica aplicada no sistema, desta forma é possível calcular o calor associado ao efeito de acordo com a equação 4. Como o Efeito Peltier é o inverso do efeito Seebeck, também é possível calcular o calor associado ao Efeito Peltier em termos do coeficiente de seebeck pela equação 5. (PAGHI, 2001).

$$dQ_p = \Pi I \quad (4)$$

Onde:

Q_p = Calor associado ao Efeito Peltier [J]

Π = Coeficiente de Peltier [V/K]

I = Corrente elétrica aplicada ao sistema [V]

$$dQ_p = \alpha I dT \quad (5)$$

Onde:

Q_p = Calor associado ao Efeito Peltier [J]

α = Coeficiente de seebeck [V/K]

I = Corrente elétrica aplicada ao sistema [V]

T = Temperatura absoluta do sistema [K]

É necessário dizer que o coeficiente peltier representa a energia térmica irradiada ou absorvida pela junção de um dispositivo na unidade de corrente elétrica e na unidade de tempo, sendo definido na unidade de tensão elétrica. A magnitude e a polaridade da tensão peltier dependem da temperatura dos metais e das junções utilizadas para a construção do dispositivo, porém o coeficiente peltier em uma junção não depende da temperatura da outra junção. (PAGHI, 2001).

Após algum tempo estudando o Efeito Peltier, Jean Peltier descobriu também que para uma determinada corrente elétrica, a taxa de irradiação de calor ou absorção de calor em uma junção termoeletrica é diretamente dependente do coeficiente de Seebeck dos dois materiais utilizados no circuito. (PIEDADE, 2007).

2.3.3 Efeito Thomson

Utilizando os novos princípios da termodinâmica aos termopares, Lord Kelvin unificou as teorias de Peltier e Seebeck percebendo que o efeito Seebeck e o efeito Peltier estavam relacionados entre si, pois observou que se as forças eletromotrizes de Peltier atuassem como as únicas fontes de energia nas soldagens do circuito fechado, a força eletromotriz de Seebeck deveria depender linearmente da temperatura. Sendo assim a tensão Peltier não pode ser a única tensão gerada em um circuito de termopar, mas o condutor metálico por si só quando submetido a um gradiente de temperatura também é uma fonte de tensão. (LORA, 2004).

É possível observar que em vários materiais metálicos o coeficiente Seebeck não age de forma constante em conjunto com a variação de temperatura do material, sendo assim uma variação de temperatura pode acarretar em uma variação no coeficiente Seebeck, o que pode ser chamado de gradiente do coeficiente Seebeck. Se a corrente elétrica for aplicada na direção desse gradiente, irá acontecer uma versão contínua do efeito Peltier. Desta forma o arrefecimento ou aquecimento de um condutor metálico, percorrido por uma corrente elétrica, é descrito de acordo com o gradiente do coeficiente Seebeck. (YANG, 2009).

O efeito Thomson compreende a relação entre a taxa de produção de calor de acordo com a densidade da corrente elétrica, a direção da corrente elétrica, a temperatura e o material. Ou seja, o efeito Thomson demonstra a capacidade generalizada de um metal sobre a ação de uma corrente elétrica e um gradiente de temperatura em produzir energia térmica ou absorver energia térmica. (YANG, 2009).

“Foi descoberto por Peltier que o calor é absorvido em uma superfície de contato de bismuto e antimônio em um condutor metálico composto quando a eletricidade atravessa do bismuto para o antimônio e que o calor é gerado quando a eletricidade atravessa na direção oposta. Esse fato, tomado em conexão com a Lei de Joule da geração elétrica de calor em um condutor metálico homogêneo, sugere a seguinte suposição, que é o fundamento da teoria presente [...]”. (WILLIAM THOMSON, 1857).

O efeito descoberto por Thomson, que ele chamou de teoria mecânica da corrente termoelétrica, diz que quando um gradiente de temperatura é aplicado em um condutor metálico homogêneo, uma corrente elétrica é gerada fazendo com que o calor seja absorvido ou dissipado, em adição ao calor do efeito Joule. Desta forma o

efeito Thomson é a diferença entre o calor total absorvido ou dissipado e o efeito Joule. Demonstrado pela equação 6. (CAMARGO, 2008).

$$Q_T = \tau I \Delta T \quad (6)$$

Onde:

Q_T = Taxa de calor Thomson [J]

τ = Coeficiente Thomson [V/K]

I = Corrente Elétrica [V]

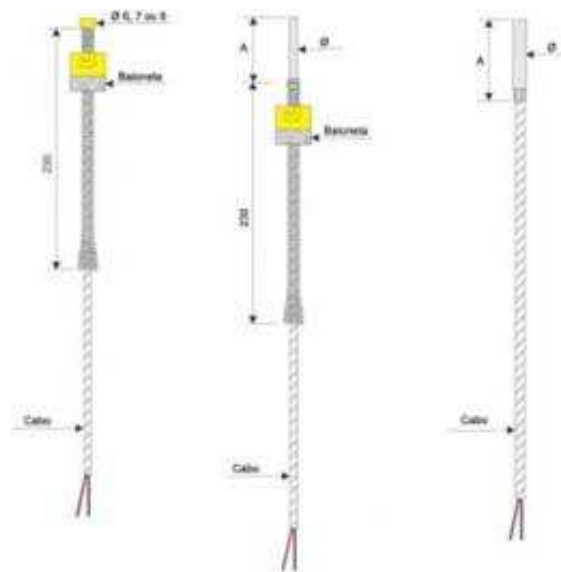
ΔT = Diferença de temperatura entre os lados do condutor [K]

Quando em metais homogêneos a extremidade quente está ligada a um potencial elétrico maior que o da extremidade fria, a corrente elétrica flui da extremidade quente para a extremidade fria, ou seja, a corrente elétrica flui de um potencial térmico alto para um potencial térmico baixo, ocorre uma dissipação de calor e isso é chamado de efeito positivo de Thomson. Da mesma maneira, quando em metais homogêneos a extremidade fria está ligada a um potencial elétrico maior que o da extremidade quente, a corrente elétrica flui da extremidade fria para a extremidade quente, ou seja, a corrente elétrica flui de um potencial térmico baixo para um potencial térmico alto, ocorre uma absorção de calor e isso é chamado de efeito negativo de Thomson. (CAMARGO, 2008).

2.4 Termopar

Desde quando foi descoberto acidentalmente por Seebeck que dois metais distintos unidos pelas extremidades geram uma diferença de potencial elétrico quando um gradiente de temperatura é aplicado entre as extremidades, este tipo de dispositivo vem desempenhando um papel crucial nos estudos da termoeletricidade. Atualmente esta configuração de dispositivo é conhecido como termopar. O termopar está representado na figura 5. (SANTANILLA, 2004).

Figura 5 - Termopar



Fonte: <<http://heatheizen.com.br/?portfolio-category=termopar>>

Os termopares são amplamente utilizados em medições de temperatura, pois por causa das suas propriedades permitem a rápida e simples medição de uma vasta gama de temperaturas, não são equipamentos de alto custo e podem ser substituídos sem gerar erros relevantes. (RIFFAT, 2003).

Termopares podem ser construídos por praticamente qualquer combinação de dois metais distintos, porém só alguns tipos de combinações são utilizados por possuírem tensões de saída previsíveis e suportarem uma vasta gama de temperaturas. Desta forma atualmente já existem tabelas normalizadas com as especificações de cada tipo de termopar, facilitando assim a escolha do termopar mais adequado para cada tipo de aplicação. O termopar do tipo K é o mais utilizado, devido ao seu baixo custo e por cobrirem uma vasta gama de temperaturas. Os outros tipos de termopares que também são amplamente utilizados nos processos atuais estão representados na tabela 1. (RIFFAT, 2003).

Tabela 1 - Tipos de Termopares

Tipo	Composição	Range	Características
T	Cobre/Cobre - Níquel (+) / (-)	200 a 370°C	Podem ser usados em atmosferas oxidantes, redutoras, inertes e no vácuo. Adequados para Mediações abaixo de zero grau. Apresenta boa precisão na sua faixa de utilização.
J	Ferro/Cobre - Níquel (+) / (-)	-40 a 760°C	Utilizados em atmosferas oxidantes, redutoras, inertes e no vácuo. Não deve ser usados em atmosfera sulfurosas e não se recomenda o uso em temperatura abaixo de zero grau. Apresenta baixo custo.
E	Níquel-Cromo/Cromo - Níquel (+) / (-)	-200 a 870°C	Próprio para atmosfera oxidante e inertes. Em ambientes redutores ou vácuo perde suas características termoeletricas. Adequado para uso em temperatura abaixo de zero.
K	Níquel-cromo/Níquel - alumínio (+) / (-)	-200 a 1260°C	Recomendáveis em atmosfera oxidante ou inertes. Ocasionalmente pode ser usado abaixo de zero grau. Não deve ser utilizado em atmosfera redutoras e sulfuradas. Seu uso no vácuo é por curto período de tempo
S R	Platina-10% Ródio/Platina (+) / (-) Platina-13% Ródio/Platina	0 a 1600°C 0 a 1600°C	Recomendáveis em atmosfera oxidante ou inertes. Não deve ser usado abaixo de zero grau, no vácuo em atmosfera redutoras ou com vapores metálicos. Apresenta boa precisão em temperaturas elevadas
B	Platina-30% Ródio/ Platina-6% Ródio (+) / (-)	600 a 1700°C	Recomendáveis em atmosfera oxidante ou inertes. Não deve ser usado abaixo de zero grau, no vácuo em atmosfera redutoras ou com vapores metálicos. É mais adequado a temperaturas mais elevadas que os tipos S/R
N	Níquel-Cromo-Silício (+) Níquel-Silício (-)	-200 a 1260°C	Excelente resistência a oxidação até 1200°C, curva FEMxTemp, similar ao tipo K, porém possui menor potência termoeletrica, apresenta maior estabilidade e menor drift tempo

Fonte: <<http://heatheizen.com.br/?portfolio-category=termopar>>

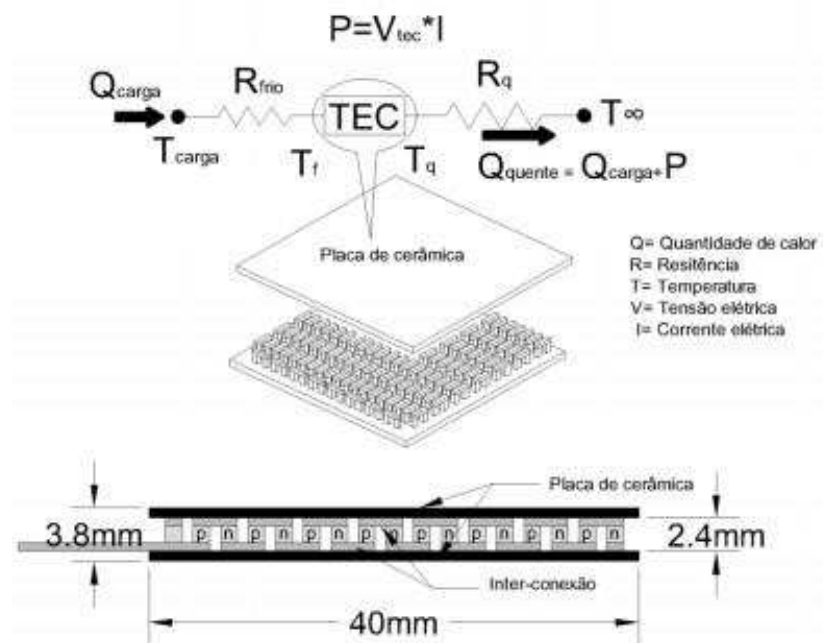
2.5 Geradores ou Módulos Termoeletricos

Os geradores termoeletricos através do efeito Peltier e do efeito Seebeck podem gerar energia elétrica através da aplicação de um gradiente de temperatura, ou podem gerar um gradiente de temperatura através da aplicação de uma corrente elétrica. Com os avanços tecnológicos recentes, os efeitos termoeletricos podem ser explorados agora de uma maneira bem mais eficiente que a dos cientistas do passado. Após a descoberta dos materiais semicondutores os geradores termoeletricos se tornaram bem mais eficientes do que os termopares utilizados antigamente, ganhando um universo novo de aplicações. (SANTANILLA, 2004).

Atualmente os geradores termoeletricos são chamados de módulos termoeletricos ou apenas TECs (Thermoelectric Cooler), pois eles são compostos por vários pares de semicondutores. Esses pares semicondutores são montados

conectados eletricamente em série e termicamente em paralelo, eles ficam entre duas placas de cerâmica fabricadas na forma modular, formando o lado quente e o lado frio do dispositivo. Estas placas de cerâmica servem para preservar a integridade mecânica do módulo e também servem para isolar a corrente elétrica que passa pelo dispositivo sem afetar de forma significativa a transferência de calor. Geralmente um módulo termoelétrico contém de 3 a 127 termopares, com o cobre sendo utilizado de condutor elétrico entre os semicondutores, como mostra a figura 6. (RUSSEL, 2013).

Figura 6 - Módulo Termoelétrico



Fonte: <http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq>

Russel (2013) diz que a capacidade de geração de um módulo termoelétrico depende dos tipos de materiais utilizados para construir o dispositivo e a qualidade desses materiais em relação a geração vai depender da condutividade térmica do material, da condutividade elétrica do material e do coeficiente de Seebeck do material. Pois a condutividade térmica define a quantidade de calor que é passado pelo dispositivo acarretando em um aumento no gradiente de temperatura entre seus lados e a condutividade elétrica define a resistência interna do dispositivo e o aquecimento gerado pelo efeito Joule.

2.6 Aplicações da Tecnologia Termoelétrica

Os módulos termoelétricos são bastante utilizados em sistemas de refrigeração de pequeno porte como em refrigeradores de diodo, mini condicionadores de ar e refrigeradores portáteis. Também têm bastante utilidade em geração de potência para componentes eletrônicos aproveitando o calor rejeitado dos equipamentos. Além destas, também têm utilizações mais sofisticadas, geralmente na indústria aeroespacial e na indústria bélica. (CHEN, 2002).

2.7 Motor a Diesel

O motor diesel é um tipo de motor a combustão interna que utiliza como combustível o óleo diesel, um hidrocarboneto obtido a partir da destilação do petróleo à temperaturas de 250°C e 350 °C. Na maioria das aplicações os motores Diesel funcionam como um motor quatro tempos. (SHAPIRO, 2009).

O ciclo diesel inicia-se quando o pistão está no ponto morto superior da câmara de combustão. Nesse ponto a válvula de admissão está aberta e o pistão começa a descer aspirando o ar para dentro da câmara de combustão. Após o pistão descer até o ponto morto inferior, a câmara de combustão está cheia de ar, nesse momento a válvula de admissão fecha completamente, iniciando-se então compressão. Na compressão o pistão volta a subir aumentando substancialmente a temperatura do ar de dentro da câmara de combustão devido à diminuição do volume. Pouco antes do pistão atingir o ponto morto superior o combustível começa a ser injetado na câmara, misturando-se com o ar quente até que se dá a combustão. A combustão é controlada pela taxa de injeção de combustível, ou seja, pela quantidade de combustível que é injetado. O combustível começa a ser injetado um pouco antes do ponto morto superior devido ao fato de atingir a quantidade suficiente para uma perfeita mistura de ar e combustível levando a uma boa combustão. A próxima fase é a expansão, que começa após o ponto morto superior do pistão com a mistura de ar e combustível na proporção certa para a combustão espontânea, onde o combustível continua a ser injetado até momentos antes do ponto morto inferior. O ciclo termina com a fase de escape, onde o embolo retorna ao ponto morto superior, o que faz com que os gases de combustão que estão em temperaturas altíssimas sejam expulsos da câmara de combustão, retomando assim o ciclo. (SHAPIRO, 2009)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolver da melhor forma o tema proposto por este trabalho, a forma de pesquisa escolhida foi a de pesquisa de campo experimental. Neste capítulo serão apresentados os materiais e a metodologia experimental detalhada utilizada pelo experimento. O local escolhido para a realização dos experimentos foi a Oficina Mecânica da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA).

3.1 Materiais

Para que o projeto atendesse a necessidade de conveniência do orçamento adquirido, foram escolhidos materiais de baixo custo para o dissipador, isoladores térmicos, sistema de refrigeração e módulo termoeletrico. Por ser de fácil aquisição, os dissipadores escolhidos foram dissipadores de calor em alumínio que podem ser encontrados em CPUs de computadores. Da mesma forma o sistema de refrigeração foi composto de um cooler utilizado para refrigeração de processadores de computador. Os isoladores térmicos utilizados foram feitos de folhas de isopor e o gerador termoeletrico utilizado foi um módulo termoeletrico TEC-12705 disponível em lojas de refrigeração. O motor utilizado foi um motor de 4 tempos a diesel de 180cv de um grupo gerador localizado na oficina mecânica da CAEMA, o medidor de temperatura foi um pirômetro e medidor de tensão elétrica foi um multímetro disponibilizados pela CAEMA.

A lista completa de materiais utilizados pela pesquisa experimental está representada a seguir:

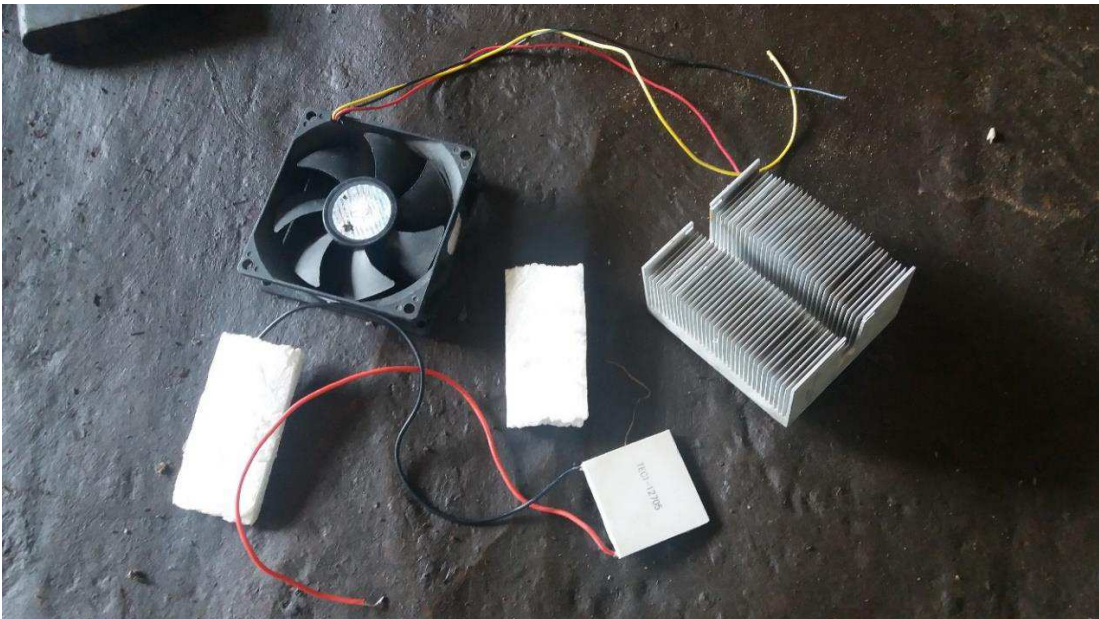
- Motor a diesel de 180cv
- Cooler de refrigeração
- Dissipadores de calor em alumínio
- Isoladores térmicos
- Módulo Termoeletrico TEC-12705 (Pastilha Peltier)
- Pasta térmica
- Medidor de temperatura (Pirômetro)
- Medidor de tensão elétrica (Multímetro)

Figura 7 - Pastilha Peltier



Fonte: Próprio Autor

Figura 8 - Pastilha Peltier, Dissipador de Calor, Cooler e Isoladores Térmicos



Fonte: Próprio Autor

Figura 9 - Motor a Diesel



Fonte: Próprio Autor

3.2 Método Experimental

Seguindo a proposta do trabalho, o experimento utilizou um motor a diesel de um gerador, no qual foi montada a pastilha peltier no sistema de escapamento com o objetivo de obtenção de energia elétrica através da energia calorífica desperdiçada pelo motor.

Primeiramente a pastilha peltier foi colada aos dissipadores de calor com a utilização de uma pasta térmica, que tem como função melhorar a condução de calor entre a pastilha peltier e o dissipador de calor, desta forma auxiliando a dissipação de calor pelo dissipador acoplado na parte fria da pastilha. O dissipador de calor é extremamente necessário para manter o lado frio da pastilha dentro de uma temperatura mais baixa que a do lado quente. Em seguida a pastilha peltier com os dissipadores de calor foram montados no sistema de exaustão do motor.

Com o gerador termoelétrico montado no sistema de exaustão do motor, um sistema de refrigeração foi utilizado para resfriar o lado frio da placa. A refrigeração consistiu-se de um cooler ligado a uma bateria montado em cima do dissipador de calor, resfriando assim o lado frio da pastilha peltier, mantendo a este lado da pastilha em uma temperatura sempre abaixo da temperatura do lado quente da placa. Essa diferença de temperatura é fundamental para que a pastilha peltier possa produzir

energia elétrica através do efeito termoelétrico. O esquema está representado na figura 10:

Figura 10 - Gerador Termoelétrico Acoplado no Sistema de Exaustão do Motor



Fonte: Próprio Autor

Como mostra a figura 10, o conjunto foi colocado sobre folhas de isopor que servem como isoladores térmicos, esses isoladores limitam a quantidade de calor transferida do sistema de exaustão para a pastilha peltier. Sobre os isoladores a parte quente da pastilha junto com o dissipador do lado quente não estão em contato direto com o duto de escapamento, reduzindo o calor absorvido pela pastilha. Esse isolamento é necessário, pois a placa possui um limite de temperatura na qual a mesma pode ser submetida sem ser danificada. O esquema está representado na figura 11:

Figura 11 - Isolamento Térmico da Pastilha Peltier



Fonte: Próprio Autor

O equipamento utilizado para a medição de temperatura foi um pirômetro, que mede a temperatura através de um laser. O pirômetro faz a medição bem mais simples, pois não necessita de contato direto com o objeto a ser medido.

A tensão elétrica gerada pela pastilha foi medida através de um multímetro ligado diretamente nos terminais de saída da pastilha peltier.

Após todos os equipamentos estarem montados de forma adequada, foi possível ligar o motor para serem iniciadas as medições dos ensaios experimentais. O motor foi ligado três vezes durante um período de tempo de sessenta segundos de funcionamento, com intervalos de dez minutos entre cada funcionamento. Este determinado tempo de funcionamento do motor foi escolhido porque o calor gerado pelo duto de escapamento do motor pode exceder a máxima temperatura suportada pelo módulo termoeletrônico TEC-12705. Os dez minutos entre cada ensaio realizado com o motor em funcionamento se fez necessário para que o duto de escapamento do motor e a pastilha peltier resfriassem o suficiente para que fosse possível o início do próximo teste.

Para um melhor entendimento do desempenho da pastilha peltier, o primeiro ensaio foi realizado ligando o sistema de resfriamento (cooler) e o motor ao mesmo tempo, no segundo ensaio o cooler foi ligado um minuto antes do motor e no terceiro

ensaio o motor foi ligado sem a presença do cooler para resfriar o lado frio da pastilha peltier.

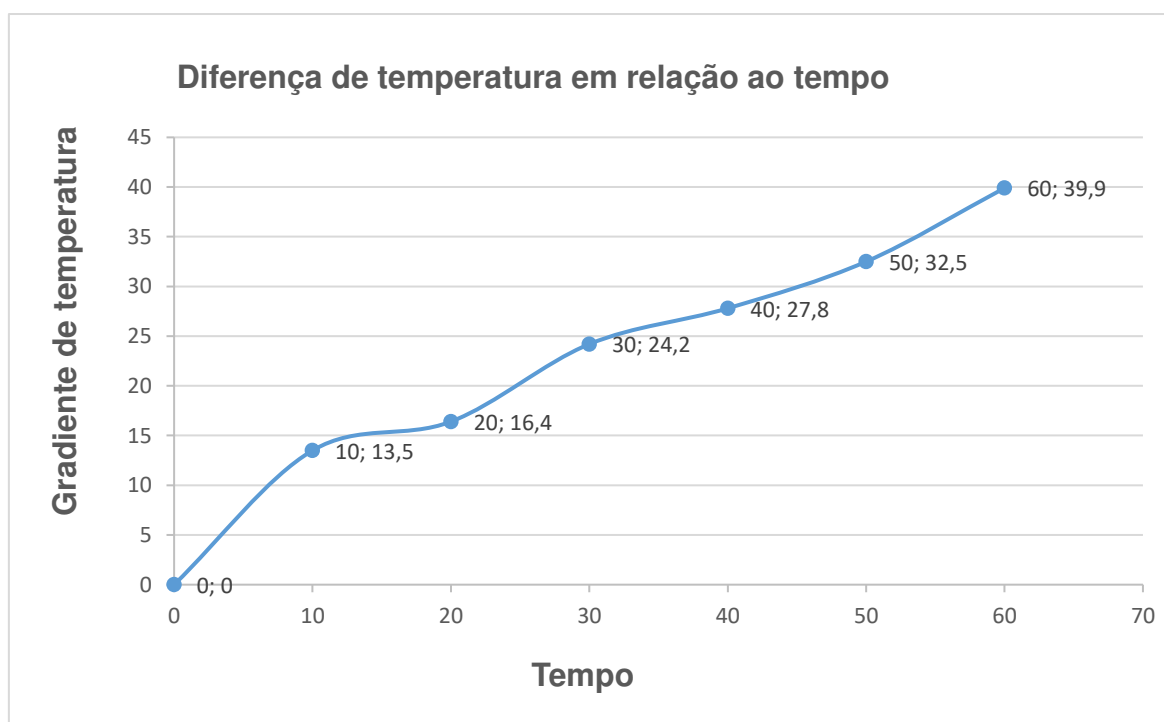
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para ser possível a realização de uma análise científica dos ensaios realizados, foi necessário o monitoramento das principais variáveis do experimento: o tempo, a temperatura do lado quente, a temperatura do lado frio e a tensão elétrica gerada pela pastilha peltier quando submetida ao calor do sistema de exaustão do motor em funcionamento.

O primeiro ensaio foi iniciado com a temperatura ambiente de aproximadamente 28 °C. No início a temperatura do lado quente e do lado frio da placa se encontravam aproximados com a temperatura ambiente. Neste primeiro teste motor e o cooler foram ligados ao mesmo tempo, gerando uma diferença de temperatura entre os dois lados da placa, possibilitando assim a medição da tensão elétrica. Para ser possível uma análise contundente de dados, a tensão elétrica gerada pela pastilha peltier, assim como a temperaturas dos lados quente e frio da pastilha foram medidas a cada dez segundos após o funcionamento do motor.

O gráfico 1 representa a variação do gradiente de temperatura em relação ao decorrer do tempo do primeiro ensaio realizado.

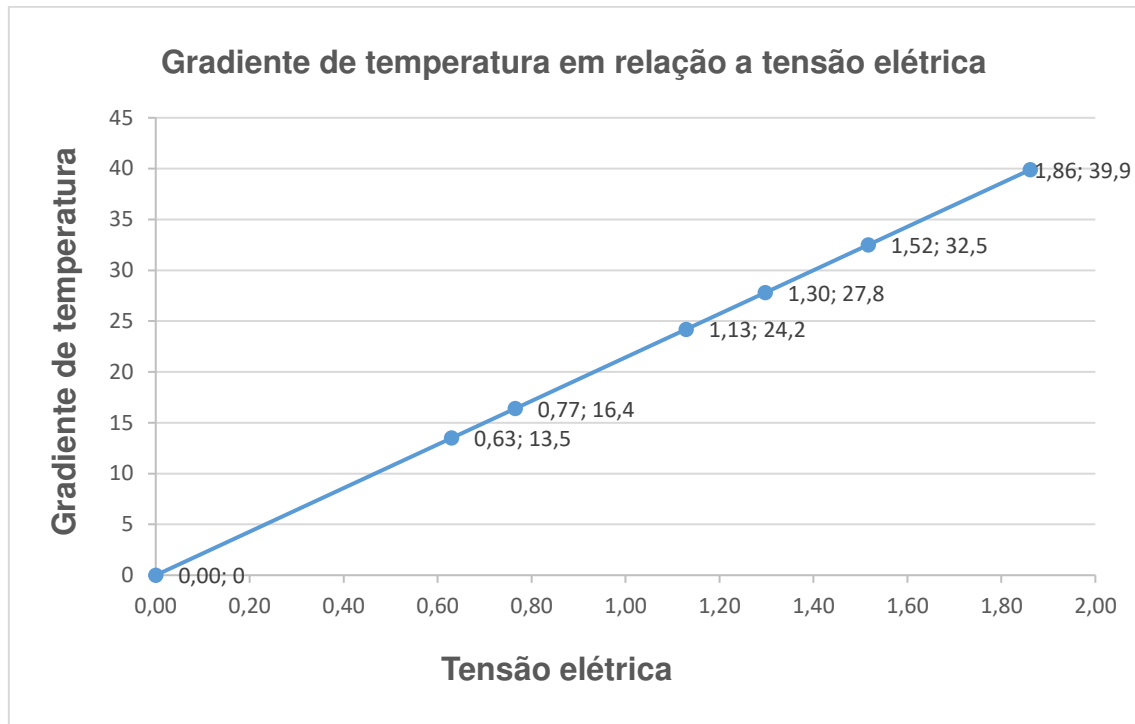
Gráfico 1 - Diferença de temperatura em relação ao tempo do ensaio 1



Fonte: Próprio Autor

O gráfico 2 representa a variação da tensão elétrica de acordo com a variação da diferença de temperatura entre os lados quente e frio da placa durante o primeiro ensaio realizado.

Gráfico 2 - Gradiente de temperatura em relação a tensão elétrica do ensaio 1

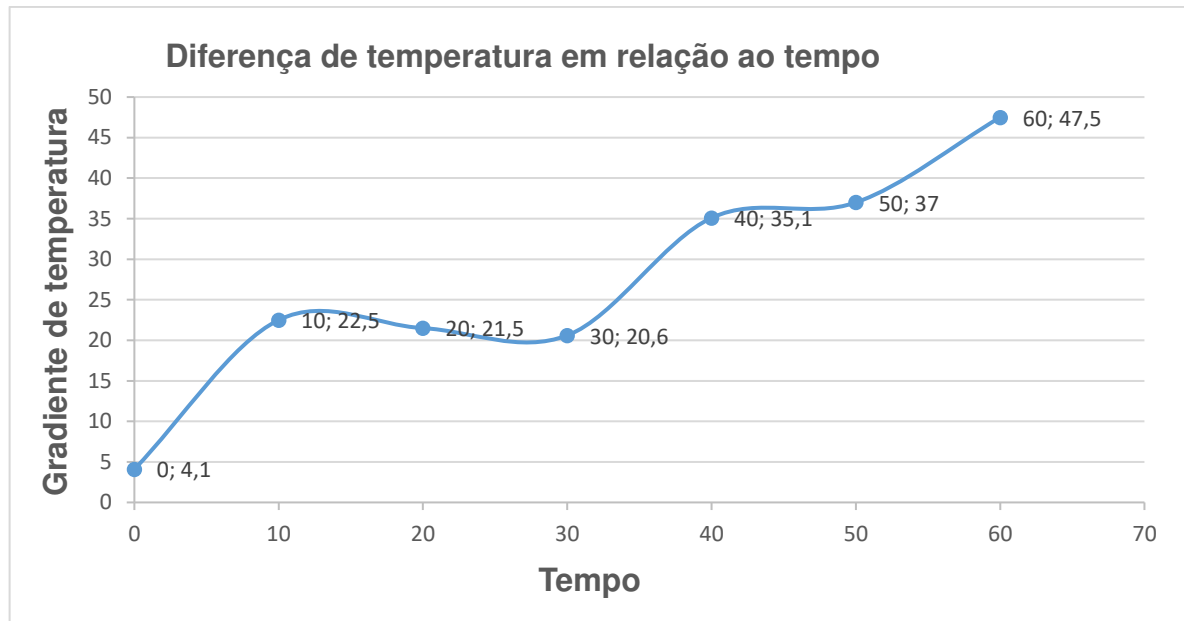


Fonte: Próprio Autor

Após o período de dez minutos de resfriamento, o segundo ensaio foi iniciado com a temperatura ambiente novamente aproximada a 28 °C. Com a placa resfriada ao ponto do lado quente e do lado frio se encontrarem aproximados a temperatura ambiente, desta vez o cooler foi ligado um minuto antes do motor, deixando a temperatura inicial do lado frio da pastilha seis graus abaixo da temperatura do lado quente da pastilha, possibilitando desta forma a obtenção de um gradiente de temperatura maior entre os dois lados da pastilha. Após um minuto de funcionamento do cooler o motor foi ligado iniciando assim a medição da tensão elétrica gerada pelo ensaio.

A variação do gradiente de temperatura em relação ao decorrer do tempo do segundo ensaio, está representada pelo gráfico 3.

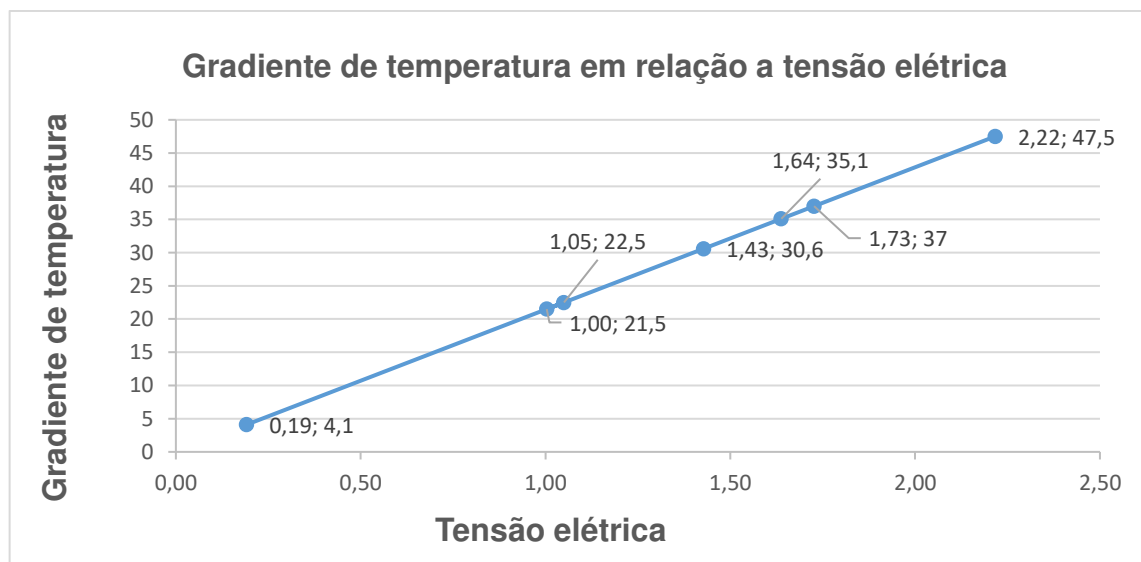
Gráfico 3 - Diferença de temperatura em relação ao tempo do ensaio 2



Fonte: Próprio Autor

A variação da tensão elétrica de acordo com a variação da diferença de temperatura entre os lados quente e frio da placa durante o segundo ensaio estão representados pelo gráfico 4.

Gráfico 4 - Gradiente de temperatura em relação a tensão elétrica do ensaio 2



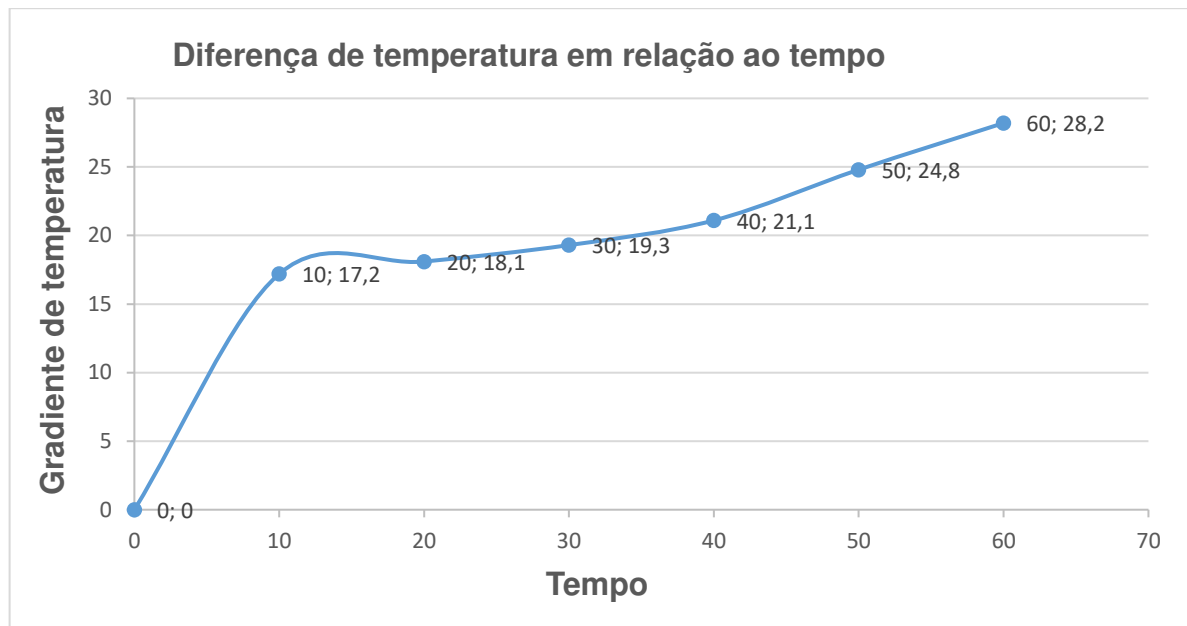
Fonte: Próprio Autor

Finalmente após os dez minutos de resfriamento, o terceiro ensaio pôde ser iniciado com a temperatura dos lados quente e frio da placa aproximada a temperatura

do ambiente de 28 °C. Neste teste o motor foi ligado sem a utilização do cooler para resfriar o lado frio da pastilha peltier. Desta forma foi possível estudar o desempenho da pastilha sem o auxílio de um sistema de refrigeração.

Os dados da variação do gradiente de temperatura em relação ao decorrer do tempo do segundo ensaio, estão representados pelo gráfico 5.

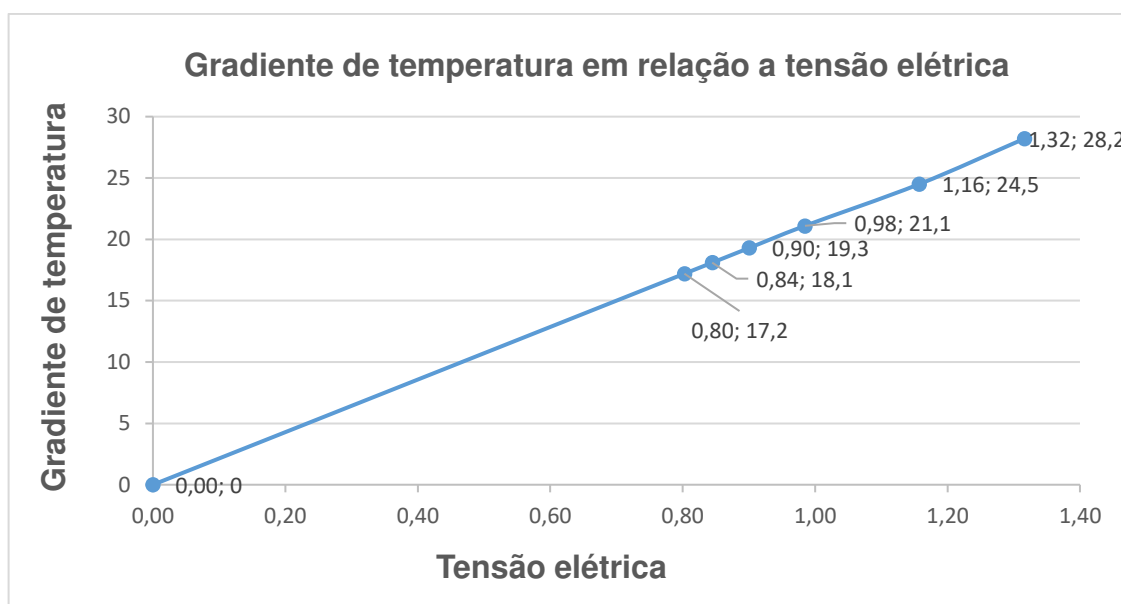
Gráfico 5 - Diferença de temperatura em relação ao tempo do ensaio 3



Fonte: Próprio Autor

Os dados da variação da tensão elétrica de acordo com a variação da diferença de temperatura entre os lados quente e frio da placa obtido pelo terceiro ensaio estão representados pelo gráfico 6.

Gráfico 6 - Gradiente de temperatura em relação a tensão elétrica do ensaio 3



Fonte: Próprio Autor

Os três ensaios experimentais apresentados foram de extrema importância para a observação de forma clara do fenômeno termoelétrico realizado pela pastilha peltier, desta forma foi possível ser feita uma análise detalhada de tal fenômeno.

Os dados de mais importância encontrados pelos ensaios experimentais são a temperatura do lado quente da placa peltier, a temperatura do lado frio da placa e a corrente elétrica gerada pela placa, sendo possível com esses dados analisar a variação do gradiente de temperatura entre os dois lados da pastilha peltier em um determinado tempo e medir a variação de tensão elétrica gerada pela placa de acordo com a variação da diferença de temperatura entre os lados quente e frio da pastilha.

Analisando os dados adquiridos pelos ensaios é possível observar que a diferença de temperatura entre os dois lados da pastilha peltier aumenta durante o decorrer do tempo, pois os dissipadores de calor junto com o sistema de refrigeração conseguem atuar melhor absorvendo mais calor e mantendo o lado frio da pastilha em uma temperatura mais baixa que a do lado quente. Também foi possível verificar que quanto maior a diferença de temperatura entre os lados frio e quente da pastilha peltier maior será a tensão elétrica gerada por ela, podendo comprovar a veracidade da Eq. 3, que diz que a tensão elétrica produzida é diretamente proporcional ao gradiente de temperatura aplicado no dispositivo termoelétrico.

Também poder ser observado a necessidade de um sistema de refrigeração para o lado frio da pastilha peltier, pois o rendimento do módulo peltier cai de forma considerável já que a pastilha estará submetida a altas temperaturas o tempo todo.

Apesar da tensão elétrica gerada pela pastilha peltier não ter sido alta o suficiente para ser utilizada por qualquer equipamento elétrico, deve ser levado em consideração as limitações deste projeto, pois este trabalho serviu apenas de um primeiro estudo sobre a geração de energia elétrica através da aplicação de um gerador termoelétrico no sistema de exaustão de um motor a combustão interna.

É possível ainda melhorar o desempenho do gerador termoelétrico com a utilização de várias pastilhas montadas em série ao longo do sistema de escapamento para aumentar a energia elétrica gerada. Também é possível melhorar a eficiência do gerador termoelétrico com a utilização de um sistema de refrigeração e isolamento mais eficientes, pois o calor gerado pelo escapamento do motor chega a atingir o lado frio da pastilha peltier e por consequência diminui o seu desempenho. Outra forma de melhorar o desempenho do gerador termoelétrico seria com a utilização de pastilhas maiores que possuem um melhor desempenho termoelétrico.

Essas melhorias podem aumentar o desempenho do gerador termoelétrico de forma significativa, podendo ser possível utilizar a tensão elétrica gerada pelo gerador para alimentar vários equipamentos elétricos.

Um exemplo de benefício de um gerador termoelétrico como o deste trabalho seria quando projetado para o sistema de exaustão do motor de um automóvel, onde o gerador serviria para alimentar os equipamentos elétricos do veículo através do desperdício de energia térmica gerada pelo motor. Podendo assim eliminar o alternador do veículo, melhorando o desempenho do automóvel já que o alternador utiliza energia gerada pelo trabalho mecânico do motor do veículo.

5 CONCLUSÃO

Através dos experimentos realizados por este trabalho, é possível concluir que o sistema de geração termoelétrica proposto pode realmente servir como um tipo de alternativa para geração de energia sustentável, uma vez que utiliza apenas a energia térmica desperdiçada pelo sistema de exaustão de um motor a combustão interna para gerar elétrica sem produzir nenhum resíduo.

Porém, apesar da tecnologia em materiais termoelétricos ter evoluído bastantes nos últimos anos, ainda é preciso de mais estudos para que essa tecnologia se torne viável, pois os módulos termoelétricos atuais não suportam temperaturas muito elevadas. Quanto mais resistente for o módulo termoelétrico, mais caro será para produzi-lo, ainda assim é necessário a utilização de isoladores térmicos para aplicações em processos térmicos de temperaturas muito elevadas.

O estudo também mostrou que tão importante quanto aquecer o lado quente do módulo termoelétrico também é de muito importante manter o lado frio do módulo na temperatura mais baixa possível, pois o desempenho do gerador termoelétrico aumenta de acordo com o gradiente de temperatura. Desta forma a refrigeração do lado frio do gerador também é um problema, pois é necessário o desenvolvimento de um sistema de refrigeração dedicado para o gerador termoelétrico.

A partir desse trabalho foi possível observar que a geração termoelétrica proporciona várias vantagens sobre outros tipos de geração de energia, mas também ainda tem muito a melhorar para ser considerada como uma grande alternativa de energia sustentável. Apesar da necessidade de mais estudos no campo da termoeletricidade, com os avanços tecnológicos ocorrendo cada vez mais rápido a geração termoelétrica tem um potencial bastante notório.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, J.R.; Santos, J.H.; Chaves, C.A. **Experimental performance of thermoelectric modules applied to power generation**. Belo Horizonte. 2008.

CHEN, L. et al. **Effect of heat transfer on the performance of thermoelectric generators**. 2002.

GONÇALVES, Bernardes. **Síntese de Nanofios de Óxido de Cobre (CuO) e Fabricação de Nanodispositivos**. Uberlândia, MG, 2008

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D.P., **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 5. Ed. LTC. 2003.

LORA, E. E.; NASCIMENTO, M. A. R. **Geração termoeétrica; planejamento, projeto e operação**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

MONTEIRO, M.S. **Avaliação metrológica da estabilidade termoeétrica de termopar**. 2002 70f. Dissertação (Mestrado Programa em Pós Graduação em Metrologia para a Qualidade Industrial) – Pontifica Universidade Católica do Rio de Janeiro.

NETTO, Luiz Ferraz. Termoeletricidade (Inversor de Peltier). Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala12/12_08.asp>. Acesso em: 02 maio 2017.

PAGHI, C. E. et al. **Um estudo sobre o circuito de detecção do efeito Seebeck no anemômetro a efeito Peltier**. Florianópolis, SC, 2001.

PANCALDI, Giuliano. **Volta, Science and Culture in the Age of Enlightenment**. Bolonha, ITALIA, 2003.

PIEIDADE, P. M. **Efeitos Termoeletricos e suas aplicações**. 2007.

PRAVINCHANDRA, Thakkar Mohit. **Peltier Cooling Module**. 2015. Dissertação (Mestrado Programa em Pós Graduação em Engenharia Mecânica) - Pandit Deendayal Petroleum University.

RIFFAT, S. B.; XIAOLI, Ma. **Thermoelectrics: a review of present and potential applications**. 2003.

RUSSEL, M. K.; EWING, D.; CHING, C. Y. **Characterization of a thermoelectric cooler based thermal management system under different operating conditions**. Elsevier. 2013.

SANTANILLA, C. E. C. **Generación y aprovechamiento de energia termoeleétrica**. 2004. 61f. Tese (Mestrado em Ciência e Física) – Universidad de Puerto Rico.

SANTOS, I. M. S. **Protótipo de uma unidade com tri-geração de energia para utilizações remotas**: aplicação de módulo semicondutivo gerador termoeletrico. Trigeriação e termoeletricidade. 2007. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SHAPIRO, Howard N; MORAN, Michael. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 2009.

SHENA, Limei. et al. **Investigation of a novel thermoelectric radiant air-conditioning system**. 2013.

VAN WYLEN, G.; SONNTAG, R.; BORGNACKE, C. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. São Paulo; Edgard Blücher, 2004.

WIKIPEDIA. Termoeletricidade. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Termoeletricidade>>. Acesso em: 12 maio 2017.

YANG, Bao. Thermoeletric technology assessment. Disponível em: <<http://www.arti-research.org/research/completed/finalreports/10120-final.pdf>> Acesso em: 18 maio 2017.