

**FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ
ENGENHARIA MECÂNICA**

**LUAN GRIPPA COUTTO
LUCAS CHIEPPE FOLETTTO
LUIZ HENRIQUE ARAUJO SILVESTRE
YAGO GUIMARÃES ZUQUI**

**REAPROVEITAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA PARA ALIMENTAÇÃO DE UM
MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA PARA UMA CHURRASQUEIRA**

ARACRUZ
2018

LUAN GRIPPA COUTTO
LUCAS CHIEPPE FOLETTTO
LUIZ HENRIQUE ARAUJO SILVESTRE
YAGO GUIMARÃES ZUQUI

**REAPROVEITAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA PARA ALIMENTAÇÃO DE UM
MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA PARA UMA CHURRASQUEIRA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao curso Departamento de Engenharia Mecânica, da FAACZ -Faculdades Integradas de Aracruz com requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Vital Pereira Batista Júnior.

ARACRUZ

2018

LUAN GRIPPA COUTTO
LUCAS CHIEPPE FOLETTTO
LUIZ HENRIQUE ARAUJO SILVESTRE
YAGO GUIMARÃES ZUQUI

**REAPROVEITAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA PARA A ALIMENTAÇÃO DE UM
MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA PARA UMA CHURRASQUEIRA**

Trabalho Final de Graduação apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica, das Faculdades Integradas de Aracruz - FAACZ como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

COMISSÃO EXAMINADORA

Vital Pereira
Prof. Orientador
Faculdades Integradas de Aracruz

Prof. Patrik Borges do Nascimento Leal
Faculdades Integradas de Aracruz

Prof. Me. João Paulo Calixto da Silva
Faculdades Integradas de Aracruz

Aracruz, _____ de _____ de 2018.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo científico sobre o efeito termoelétrico seebeck e suas variáveis, sendo tal efeito utilizado em uma churrasqueira para transformação de energia térmica em energia elétrica através da placa peltier, possibilitando a rotação de um espeto sem utilização de energia externa, garantindo para o sistema capacidade de independência energética, objetivando avaliar o efeito seebeck como fonte alternativa na geração de energia elétrica, criar um protótipo, adaptar os potenciais energéticos ao motor de corrente contínua e avaliar a viabilidade técnica e financeira do protótipo. Para tanto, foi criada uma metodologia de montagem, e calculados todos os itens utilizados no sistema para dimensionamento dos mesmos, a fim de reduzir os atritos e adapta-la a nova fonte energética. Posteriormente o protótipo experimental foi criado e testado, possibilitando conclusões mais precisas sobre sua eficiência, diferencial de temperatura favorável de 45 °C, capacidade específica geracional de 0,9 A, rotação do motor de 87 rpm, torque disponível para adaptação de até 3 espetos, viabilidade técnica e financeira satisfatória, comprovação da autonomia do sistema, estando todas as informações relevantes para a compreensão do presente estudo descritas, exemplificadas e referenciadas no decorrer deste trabalho.

Palavras-chave: Efeito seebeck. Fonte de energia alternativa. Reaproveitamento térmico. Churrasqueira autônoma.

LISTA DE ABREVIATURAS

LED	Diodo Emissor de Luz
CC	Corrente Contínua
A	Ampere
Ah	Ampere hora
W	Watt
Wh	Watt hora
V	Volt
J	Joule
J/s	Joule por segundo
kgf	Quilograma-força
kgf.cm	Quilograma-força centímetro
m/s^2	Metros por segundo ao quadrado
cm	Centímetro
mm	Milímetros
rpm	Rotações por minuto
°C	Grau Celsius.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema de um termopar simples.....	6
Figura 2: Configuração interna de uma TEG e o efeito Seebeck.	11
Figura 3: Componentes básicos de uma bateria chumbo-ácido.....	13
Figura 4: Conjunto de transmissão de coroa e rosca sem fim.....	14
Figura 5: Polarização direta.....	15
Figura 6: Churrasqueira projetada para o protótipo.....	16
Figura 7: Suporte para fixação das placas.	21
Figura 8: Protótipo da churrasqueira.	24
Figura 9: Placas de Peltier fixadas no suporte móvel.....	24
Figura 10: Sistema de suporte do espeto.....	25
Figura 11: Suporte do Mancal e do motor com eixo e rosca sem fim.....	25
Figura 12: Fixação do conjunto mecânico de rotação à churrasqueira.	26
Figura 13: Conjunto motor e eixo.	26
Figura 14: Capa de preservação e proteção.	27
Figura 15: Suporte da Bateria	27
Figura 16: Protótipo finalizado.....	28
Figura 17 Protótipo construído para testes	29
Figura 18: Pirômetro Óptico.	30
Figura 19: Multímetro fluke.....	30
Figura 20: Catálogo de motores Pololu Robotics & electronics.....	32
Figura 21: Dimensões do motor.	33
Figura 22: Bateria selada moura 12 V 7 Ah.....	35
Figura 23: Medição de temperatura do bojo da churrasqueira.	37
Figura 24: Medição de temperatura entre o isolante cerâmico e as placas peltier....	38
Figura 25: Medição de temperatura na parte inferior das placas de peltier.....	38
Figura 26: Medição de tensão da combinação de resistores em série.....	41
Figura 27: Medição de corrente da combinação de resistores em série.	42
Figura 28: Medição de tensão da combinação de resistores em paralelo.....	43
Figura 29: Medição de corrente da combinação de resistores em paralelo	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de Seebeck para metais, ligas e semicondutores.....	7
Tabela 2: Custo total do protótipo	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comportamento de materiais em relação a temperatura.....	9
Gráfico 2: Análise da corrente de saída do módulo TEG SP 184827145.....	12
Gráfico 3: Performance do motor pololu CC com caixa, 12 V e 100 rpm.....	34
Gráfico 4 Análise da corrente de saída do módulo TEG SP 184827145.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	OBJETIVO GERAL.....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1	EFEITO PELTIER-SEEBECK.....	4
3.2	DISPOSITIVOS TERMOELÉTRICOS	4
3.3	TRANSMISSÃO TÉRMICA	5
3.4	EFEITOS TERMOELÉTRICOS	5
3.5	FIGURA DE MÉRITO	8
3.6	FUNCIONAMENTO DAS PLACAS TERMOELÉTRICAS.....	10
3.7	DESEMPENHO DE DISPOSITIVOS TERMOELÉTRICOS.....	11
3.8	SISTEMA ELETROQUÍMICO DE ARMAZENAMENTO	12
3.9	COROA E ROSCA SEM FIM	14
3.10	DIODOS	15
4	METODOLOGIA	16
4.1	ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO DE ROTAÇÃO.	16
4.2	TORQUE PARA ROTAÇÃO DE UM ESPETO.....	17
4.3	ESCOLHA DO MOTOR.....	18
4.4	DIMENSIONAMENTO PARA ESCOLHA DA BATERIA.....	18
4.5	INSTALAÇÃO DA BATERIA.....	20
4.6	INSTALAÇÃO DO DISPOSITIVO TERMOELÉTRICO.....	20
4.7	INSTALAÇÃO DO DIODO.....	21
4.8	ISOLAMENTO PARA TEMPERATURA DE TRABALHO.	21
4.9	INTERFERÊNCIA GEOMÉTRICA E AMBIENTAL NA GERAÇÃO ENERGÉTICA.	22
4.10	CALCULO DA TENSÃO E CORRENTE GERADAS PELOS DISPOSITIVOS TERMOELÉTRICOS.	23
4.11	FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO PROTÓTIPO.....	23
4.12	VALIDAÇÃO DO PROJETO DO PROTÓTIPO.	29

4.13	VERIFICAÇÃO DA TEMPERATURA DAS SUPERFÍCIES DO CONJUNTO DE PLACAS E BATERIA.....	29
4.14	MEDIÇÃO DA CORRENTE E TENSÃO PRODUZIDA PELO DISPOSITIVO TERMOELÉTRICO E CÁLCULO DE POTÊNCIA.	30
5	RESULTADOS	31
5.1	DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO.....	31
5.2	DIMENSIONAMENTO DE TORQUE POR ESPETO.....	31
5.3	DIMENSIONAMENTO DO MOTOR	32
5.4	CAPACIDADE MÁXIMA DE CARGA.....	34
5.5	DIMENSIONAMENTO DA BATERIA.....	35
5.6	DIMENSIONAMENTO DO ISOLANTE PARA TEMPERATURA IDEAL.....	36
5.7	MEDIÇÃO DAS TEMPERATURAS	37
5.8	DESEMPENHO E DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS TERMOELÉTRICOS.	39
5.9	TESTES.....	40
5.9.1	Geração energética	40
5.9.2	Melhor tipo de combinação de resistores.	40
5.9.2.1	Teste com combinação de resistores em série.	41
5.9.2.2	Teste com combinação de resistores em paralelo.....	42
5.10	AUTONOMIA DO PROTÓTIPO.....	44
5.11	DURABILIDADE	45
5.12	ORÇAMENTO DO PROTÓTIPO DE TESTE.	46
6	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

No cenário de inovação tecnológica o efeito seebeck vem sendo utilizado como uma fonte alternativa de energia, inovadora e sustentável, como exemplo disso, pode-se citar uma lanterna chamada “Hollow Flashlight”, que utilizando o efeito Seebeck produz eletricidade através da variação de energia térmica. Tendo sua parte central oca, possibilita que o ar ambiente circule, a diferença de temperatura gerada entre a mão do operador e o ar ambiente é transformada em energia elétrica por meio de pastilhas termelétricas, alimentando os leds da lanterna (BHEEMIREDDY, 2014). Outro exemplo ainda mais impactante são os módulos termoeletricos utilizados em 25 missões diferentes pela NASA, onde através do efeito Seebeck estão oferecendo energia elétrica para sondas que viajam pelo sistema solar (NASA, 2009) O atual cenário de inovação tecnológica tem proporcionado comodidade, lazer e bem-estar, que em maior parte de sua finalidade é aplicável à comunhão com amigos e familiares durante o descanso dos afazeres cotidianos, de acordo com a preferência nacional pode ser obtido com um churrasco de qualidade. Essa visão é sustentada pelo centro de estudos avançados em economia aplicada da USP, garantindo que o Brasil é o maior consumidor de carne bovina do mundo, favorecendo ainda mais a prática do churrasco (CEPEA-USP, 2018).

De acordo com o consultor do SEBRAE Paulo Di Chiara apenas 102 empresas no estado do Paraná movimentaram cerca 11 milhões de dólares em apenas um ano, com vendas de churrasqueiras (Barão, 2004). Em meio a esse grande mercado de churrasqueiras, surge uma vasta oportunidade na área de empreendimento, porém para tal aplicação obter êxito necessita-se entender e compreender as tendências de consumo das pessoas na presente geração e suas exigências, revelando assim que a satisfação da geração contemporânea se sustenta em três pilares, sendo estes: Praticidade, sustentabilidade e modernidade (Martins, 2015).

Ainda conforme Martins (2015), os ramos da inovação, fabricação e comércio, precisam estar alinhados com os referidos pilares e os mais altos padrões de qualidade para obterem êxito, neste conceito entende-se que a maior aliada da satisfação é a qualidade, que na atual aplicação só é possibilitada através da rotação das carnes a serem preparadas, visto que essa ação preserva as melhores características de aroma, sabor e maciez (LEAF GROUP, 2017).

Com o intuito de atender aos pilares fundamentais de consumo atual já descritos, o

presente trabalho propõe a construção de um protótipo experimental de churrasqueira com um espeto, totalmente independente de energia externa, utilizando somente o efeito seebeck que reaproveita a energia térmica presente na queima do carvão.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Aproveitar a energia térmica para a alimentação de um motor de corrente contínua para uma churrasqueira, utilizando o efeito seebeck.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito Peltier e Seebeck na geração de energia elétrica.
- Dimensionar e montar um sistema de reaproveitamento térmico.
- Projetar um protótipo de uma churrasqueira
- Adaptar o sistema de reaproveitamento térmico, os potenciais mecânicos e energéticos ao protótipo.
- Validar a funcionalidade do protótipo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 EFEITO PELTIER-SEEBECK

O efeito Peltier converte um potencial elétrico em um fluxo de calor estabelecendo um gradiente de temperatura entre as duas faces do dispositivo termoelétrico. Também é comum dizer que o efeito transforma energia elétrica em energia térmica. O efeito Peltier é geralmente utilizado para retirar o calor de um ponto, que deseja resfriar, e transportá-lo para um ponto externo. Exemplo de aplicação: processador de computador, pequenas geladeiras, ar refrigerado, bebedouro etc. O mesmo par termoelétrico, utilizado para produzir o efeito Peltier, pode ser utilizado, também, para produzir o efeito seebeck (MORAN, SHAPIRO, MUNSON, & DEWITT, 2012).

O efeito Seebeck é a geração de uma diferença de potencial elétrico entre duas junções metálicas de materiais diferentes quando elas estão a diferentes temperaturas (MORAN, SHAPIRO, MUNSON, & DEWITT, 2012).

O efeito de conversão direta de calor em energia elétrica foi descoberto por Thomas Johann Seebeck (em 1821). Este fenômeno consiste na geração de tensão elétrica através de um dispositivo simples do tipo termopar baseado em um par de materiais termoelétricos diferentes, metálicos ou não metálicos. O conversor de calor em eletricidade é chamado de Termo eletrogerador, ou TEG. (Polzine & Schaffer, 2013).

3.2 DISPOSITIVOS TERMOELÉTRICOS

A célula de Peltier é um dispositivo termoelétrico que utiliza o efeito Peltier para aplicações de resfriamento ou aquecimento em vários setores como o de eletrônica, automotivo, militar etc. (ALMEIDA, 2013).

Esses dispositivos oferecem múltiplas vantagens sobre as outras tecnologias, como elas não são compostas de peças móveis dispensam manutenção frequente e não contém clorofluorcarbonos. A direção do calor é reversível, ou seja, um resfriador pode virar um aquecedor alterando a polaridade (CAMARGO & OLIVEIRA, 2011). Dado que o efeito Seebeck é o inverso do efeito Peltier, baseado no efeito Seebeck, os dispositivos termoelétricos também trabalham como geradores de potencial elétrico. Na prática faz-se necessário o uso de vários termopares para se formar um módulo (SANTOS, 2010).

Um dispositivo comum é composto por duas camadas de cerâmicas, estas servem de estrutura para preservar a integridade mecânica do módulo e também servem como isolamento elétrica para os termos elementos de telureto de bismuto tipo “n” e tipo “p”, estes são conectados eletricamente em série e termicamente em paralelo. Os dispositivos em geral contem de 3 a 127 termopares. O cobre é utilizado como material condutor elétrico entre os semicondutores postados em série e o sistema é conectado por solda. Para o projeto de um gerador elétrico utilizando o efeito Seebeck, alguns parâmetros devem ser considerados, dentre eles os mais importantes são o rendimento, a potência de saída do sistema e a diferença de temperatura entre o lado quente e frio (Kakimoto, Efeito Peltier-Seebeck: gerando eletricidade por diferença de temperatura, 2013).

3.3 TRANSMISSÃO TÉRMICA

Segundo (FERNANDES, 2012) a transferência de calor é o trânsito de energia térmica devida a uma diferença de temperaturas. A energia térmica está relacionada com a translação, rotação, vibração e aos estados eletrônicos dos átomos e moléculas que constituem a matéria. Existem três tipos de transferência de calor: condução, convecção e radiação. As transmissões térmicas mais importantes para o presente projeto são a condução e a convecção.

Condução- É a transferência de calor devido ao movimento aleatório dos seus átomos, moléculas, e/ou elétrons, em um sólido ou fluido estático (gás ou líquido).

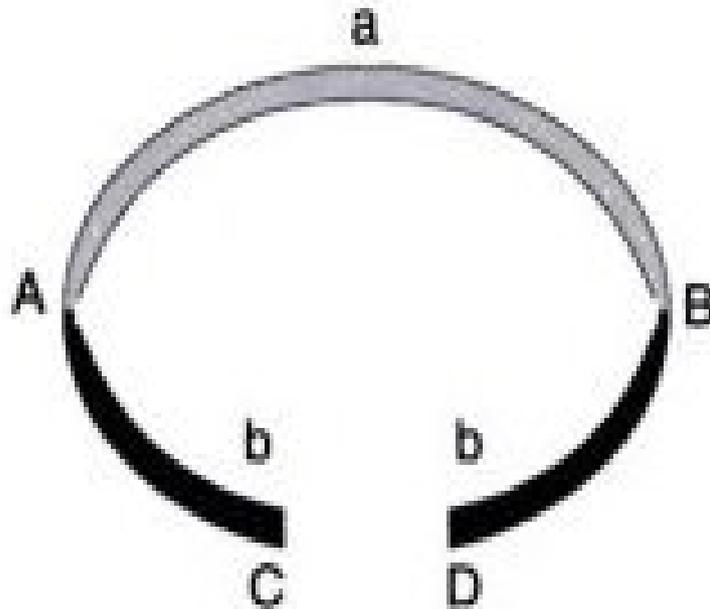
Convecção- Transferência de calor devida ao efeito combinado do movimento aleatório do fluido sobre uma superfície (Donoso, 2015).

3.4 EFEITOS TERMOELÉTRICOS

A termoeletricidade é um composto de fenômenos físicos que geram uma relação entre as propriedades elétricas dos materiais e a temperatura. Essa relação permite que uma diferença de temperatura seja transformada em energia elétrica ou que energia elétrica seja transformada em uma diferença de temperatura, o primeiro denominado de efeito Seebeck e o segundo efeito Peltier (DEBORTOLLI, 2016).

O efeito Seebeck pode ser demonstrado usando como referência a representação de um termopar como mostra a Figura 1.

Figura 1: Esquema de um termopar simples.



Fonte: (ROWE, 2005)

Conforme a Figura 1 o termopar pode ser considerado como um circuito formado por dois condutores distintos, representados por **a** e **b**, os quais estão conectados eletricamente em série, porém termicamente em paralelo. Se as junções nos pontos **A** e **B** estão em temperaturas diferentes T_1 e T_2 respectivamente e $T_1 > T_2$, uma força eletromotriz **VG** é gerada entre os terminais **C** e **D**. A diferença de potencial entre os pontos C e D segue a seguinte Equação 1 (ROWE, 2005).

$$VG = \alpha \Delta T \quad (1)$$

Onde, **VG** é a tensão em Volts [V], ΔT é a diferença de temperatura entre as junções **A** e **B** ($T_1 - T_2$) em Kelvin [K] e α é o coeficiente Seebeck em [V/K].

Com o sentido da corrente passa da junção quente para a junção fria significa que α tem valor positivo, do contrário será negativo. O coeficiente de Seebeck tem variação praticamente linear para pequenas diferenças de temperatura. O coeficiente de Seebeck é uma característica intrínseca dos materiais, e pode tomar valores tanto positivos quanto negativos como mostra a Tabela 1 (Silva, 2014).

Tabela 1: Coeficientes de Seebeck para metais, ligas e semicondutores.

MATERIAIS	COEFICIENTE DE SEEBECK [$\mu\text{V}/\text{k}$]	SEMICONDUCTORES	COEFICIENTE DE SEEBECK [$\mu\text{V}/\text{k}$]
Antimônio	47	Se	900
Níquel cromo	25	Te	500
Cádmio	7.5	Si	440
Tungstênio	7.5	Ge	300
Ouro	6.5	Bi ₂ Te ₃ (tipo n)	-230
Prata	6.5	Bi _{2x} Sb _X Te ₃ (tipo p)	300
Cobre	6.5	SB ₂ Te ₃ (tipo p)	185
Róio	6	PbTe	-180
Tântalo	4.5	Pb ₀₃ Ge ₃₉ Se ₅₈	1670
Chumbo	4	Pb ₀₆ Ge ₃₆ Se ₅₈	1410
Alumínio	3.5	Pb ₀₉ Ge ₃₃ Se ₅₈	-1360
Carvão	3	Pb ₁₃ Ge ₂₉ Se ₅₈	-1710
Mercúrio	0.6	Pb ₁₅ Ge ₃₇ Se ₅₈	-1990
Platina	0	SnBi ₄ Te ₇	25
Sódio	-2,0	SnBb ₄ Te ₇	120
KOH	-9,0	SnBi ₃ SB ₁ Te ₇	151
Níquel	-15	SnBi _{2.5} SB _{1.5} Te ₇	110
Cu Ni Mn Fe (constantan)	-35	SnBi ₂ SB ₂ Te ₇	90
Bismuto	-72	PbBi ₄ Te ₇	-53

Fonte: Adaptado de (DEBORTOLLI, 2016).

A Tabela 1 descreve o coeficiente de seebeck para cada tipo de material, esclarecendo que existem divergências entre materiais diferentes, pois a geração da força eletromotriz é ocasionada com o deslocamento dos elétrons da camada de valência do material condutor, de um ponto com temperatura mais elevada para outro com temperatura mais baixa.

Já a relação existente entre o calor absorvido ou liberado pela junção e a corrente elétrica é dada pela Equação 2 (Guimarães, 2006).

$$Q = \pi I \quad (2)$$

Onde, Q é a quantidade de fluxo de calor em Watts [W], I é a corrente elétrica dada em Amperes [A] e π é o coeficiente de Peltier dado em [W/A] ou [V]. Este efeito é gerado devido à existência de uma força eletromotriz na junção, originada pela

diferença das composições em ambos os lados dela (Khan Academy, 2018).

Apesar de aparecer em todo tipo de junção condutora, este fenômeno é geralmente inibido em junções metálicas pelo efeito Joule que tem maior influência, entretanto, a utilização de semicondutores permite obter um efeito Peltier com maior evidência. (Moura, 2017).

Em 1855, foi possível estabelecer uma relação entre os coeficientes dos efeitos de Seebeck e Peltier, com a aplicação dos conceitos termodinâmicos nos experimentos. Thomson certificou que considerando um material homogêneo, onde ao mesmo tempo exista uma corrente elétrica e uma diferença de temperatura, além da liberação de calor por efeito Joule haverá uma liberação ou absorção de calor proporcional a intensidade da corrente, dada pela Equação 3 (Guimarães, 2006).

$$Q = \beta I \Delta T \quad (3)$$

Onde, Q é a quantidade de calor liberado ou absorvido em Watts, I é intensidade de corrente elétrica em Amperes, ΔT é a diferença de temperatura em Kelvin e β é o coeficiente de Thomson medido em [V/K] (Baumgart, 2017).

Thomson também relacionou os efeitos de Seebeck e Peltier através da Equação 4 (Kakimoto, 2013).

$$\pi = \alpha T \quad (4)$$

Onde é possível concluir que o coeficiente de Peltier é igual ao coeficiente de Seebeck multiplicado pela temperatura absoluta (T). (Strangueto, 2007)

3.5 FIGURA DE MÉRITO

A figura de mérito ou fator Z , é a medida do desempenho global do dispositivo, definida com a relação de três grandezas, as propriedades elétricas, térmicas e a temperatura absoluta de funcionamento. (Santos, 2007).

É utilizada para comparações de sistemas termoelétricos com a relação da sua capacidade de transformar energia térmica em energia elétrica. Um material que possui uma alta figura de mérito é considerado um bom material para aplicações em sistemas termoelétricos (Santos, 2007).

A figura de mérito é representada pela letra Z e é definida pela Equação 5, onde α é o coeficiente de Seebeck, ρ é resistividade elétrica do material e κ é a condutividade térmica. A unidade de medida de Z é [K⁻¹] (FERNANDES, 2012).

$$Z = \alpha^2 \rho \cdot k \quad (5)$$

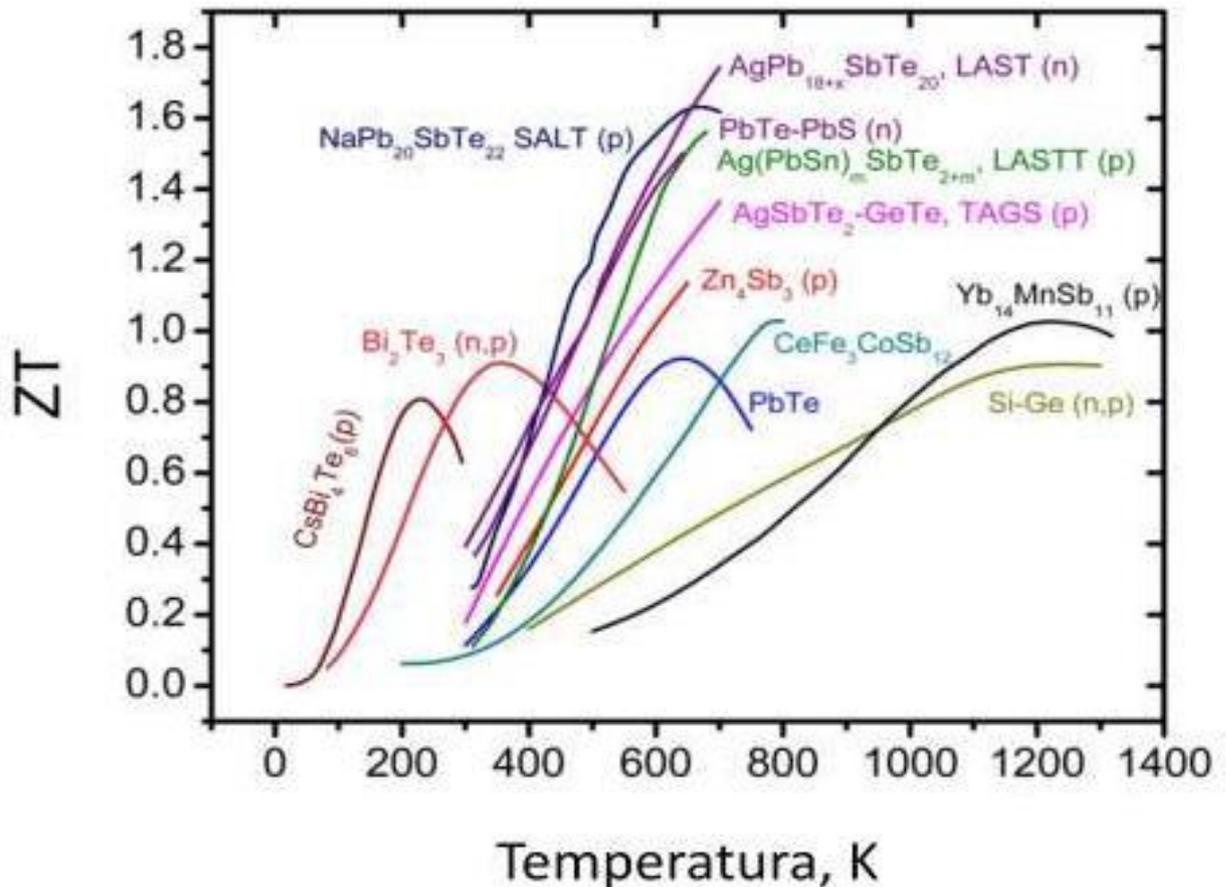
A figura de mérito pode variar com a temperatura. Assim tem-se as referências ao parâmetro de figura de mérito ZT (adimensional), calculado para uma determinada temperatura pela seguinte Equação 6 (Ando Junior, 2016).

$$ZT = \alpha^2 T \rho \cdot k \quad (6)$$

Onde T é a temperatura em que se queira saber a figura de mérito.

Materiais com boas características termoelétricos são aqueles que possuem alto coeficiente de Seebeck com uma baixa resistividade elétrica e condutividade térmica, ou seja, quanto maior a figura de mérito melhor o material (Santos, 2007), conforme representado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Comportamento de materiais em relação a temperatura.



Fonte: (FERNANDES, 2012).

No Gráfico 1 observa-se como se comportam os valores de figura de mérito de alguns materiais onde ZT tende a aumentar de acordo com a temperatura. Alguns materiais apresentam um ponto máximo e depois caem de acordo com a temperatura.

3.6 FUNCIONAMENTO DAS PLACAS TERMOELÉTRICAS

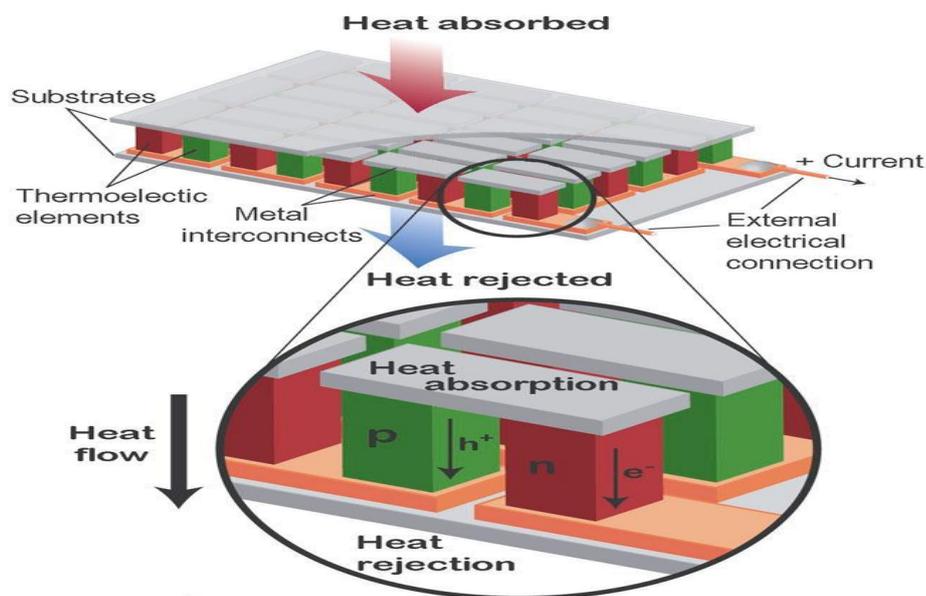
Os módulos, que podem ser placas ou células termoelétricas, são a forma mais utilizada de se representar os efeitos Seebeck e Peltier. Atualmente o mercado possui uma grande variedade de dispositivos termoelétricos, entretanto a sua definição é baseada em seu principal modo de operação, os que operam pelo efeito Peltier e os que operam pelo efeito Seebeck. Os que operam pelo efeito Peltier são conhecidos pela sigla TEC, do inglês *thermoelectric cooler*, e são utilizados para aplicações de refrigeração ou aquecimento, as células que operam pelo efeito Seebeck são conhecidas pela sigla TEG, do inglês *thermoelectric generator*, e tem como aplicação a geração de energia elétrica. (DANVIC, 2018)

As placas TEGs tem o princípio de funcionamento e configuração muito semelhante ao das TECs. Se colocada uma fonte de calor na extremidade superior da placa e um sumidouro no outro, exemplificada abaixo na Figura 2, a superfície aquecida transfere energia térmica para os elétrons da camada de valência do material, que ao receberem energia suficiente, pulam de suas órbitas tornando-se elétrons livres, começando assim um deslocamento para a extremidade próxima ao sumidouro, encontrando níveis mais baixos de energia por causa da temperatura reduzida. A zona aquecida fica com excesso de cargas positivas, enquanto a zona com menor temperatura com excesso de elétrons livres. Esse processo entra em equilíbrio quando a tensão gerada entre os extremos do material é maior que a energia que os elétrons possuem para se movimentar (Dall’Agnol, Niencheski, Kraemer, & Tatsch, 2009).

Mesmo com a existência de diferenças entre os dois tipos de módulos, TEC e TEG, ambos podem ser utilizados para os dois tipos de propósitos. O tipo TEG tem mais eficiência na transformação de energia térmica para elétrica, já o tipo TEC é mais indicada para refrigeração de um objeto com alimentação de eletricidade (Moreira, Galarce, Lisbôa, & Borges, 2009)

Para maior entendimento do princípio funcional da placa pode-se analisar a Figura 2.

Figura 2: Configuração interna de uma TEG e o efeito Seebeck.



Fonte: (Academia de Ciências da Republica Checa, 2018)

A Figura 2 exemplifica o funcionamento das placas de peltier, o símbolo h^+ representa o excesso de lacunas no material tipo-p, enquanto que e^- o excesso de elétrons presentes no material tipo-n. As TECs normalmente são utilizadas em baixas temperaturas ou próximas da temperatura ambiente, devido as recomendações do fabricante, enquanto as TEGs são fabricadas para altas temperaturas, assim conseguem atingir uma maior diferença de temperatura (Audiffred, 2015).

3.7 DESEMPENHO DE DISPOSITIVOS TERMOELÉTRICOS

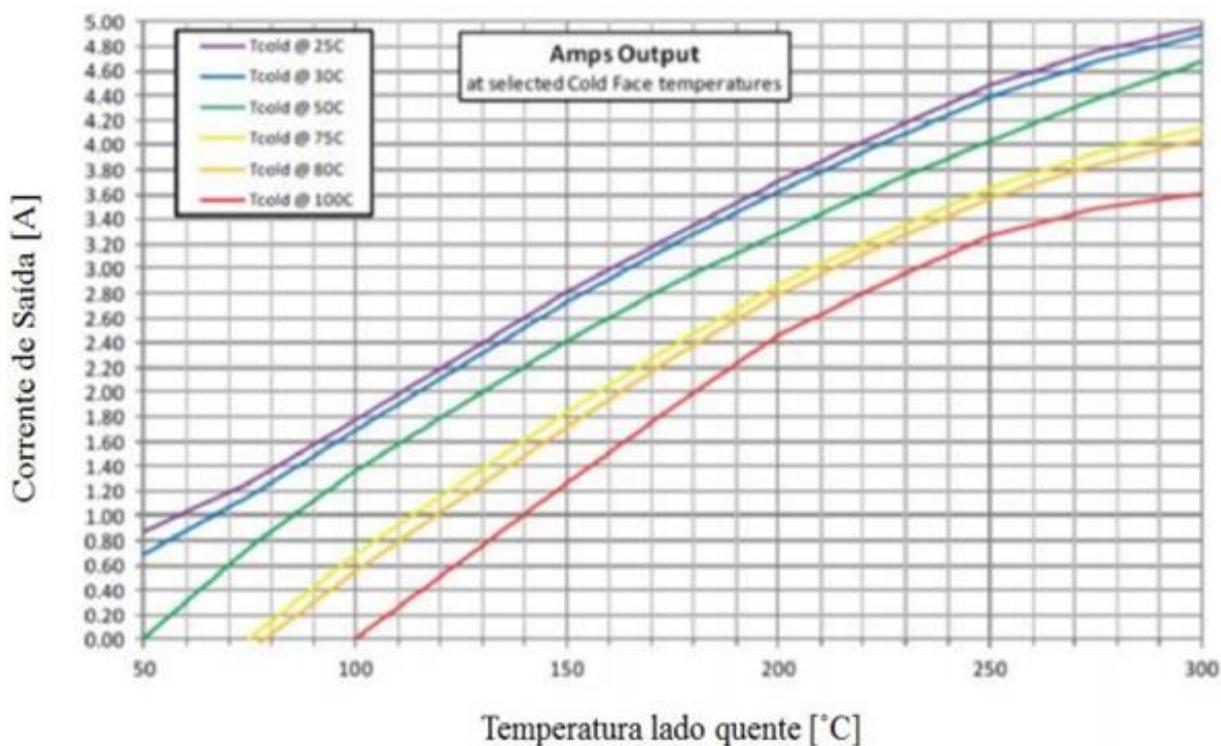
Para os cálculos do desempenho, uma série de relações que permitem calcular a energia e voltagem gerada por uma célula Peltier por meio das propriedades elétricas e termoelétricas dos materiais utilizados, juntamente com as condições em que a célula está submetida (GOUPIL et all, 2018).

Para o cálculo da tensão segue a Equação 7 (Kakimoto, 2013).

$$V_0 = \alpha(T_h - T_c) \quad (7)$$

Onde α é o coeficiente de Seebeck em volts/Kelvin, T_h é a temperatura no lado quente do dispositivo termoelétrico em Kelvin, T_c é a temperatura no lado frio em Kelvin. No Gráfico 2 é demonstrada a análise da corrente de saída do módulo.

Gráfico 2: Análise da corrente de saída do módulo TEG SP 184827145.



Fonte: TEGMART, 2013.

De acordo com o Gráfico 2, para cada módulo e variação térmica obtém-se uma corrente elétrica.

3.8 SISTEMA ELETROQUÍMICO DE ARMAZENAMENTO

Uma bateria é uma associação de vários acumuladores, podendo ser eles, pilhas ou condensadores ligados entre si, com a função de converter energia química em energia elétrica (Editora porto, 2018).

Nos últimos dez anos, com o avanço e acessibilidades das tecnologias, o uso das baterias tem se tornado cada vez mais constante, em decorrência disto as variedades de baterias no mercado se tornou muito vasta, porém em relação à definição, são classificadas quanto a primárias e secundárias, (Bocchi, Ferracin, & Biaggio, 2000).

Primárias: Se distinguem das demais por não serem recarregáveis, exemplo: zinco/dióxido de manganês (Leclanché), zinco/dióxido de manganês (alcalina), zinco/óxido de prata, entre outros.

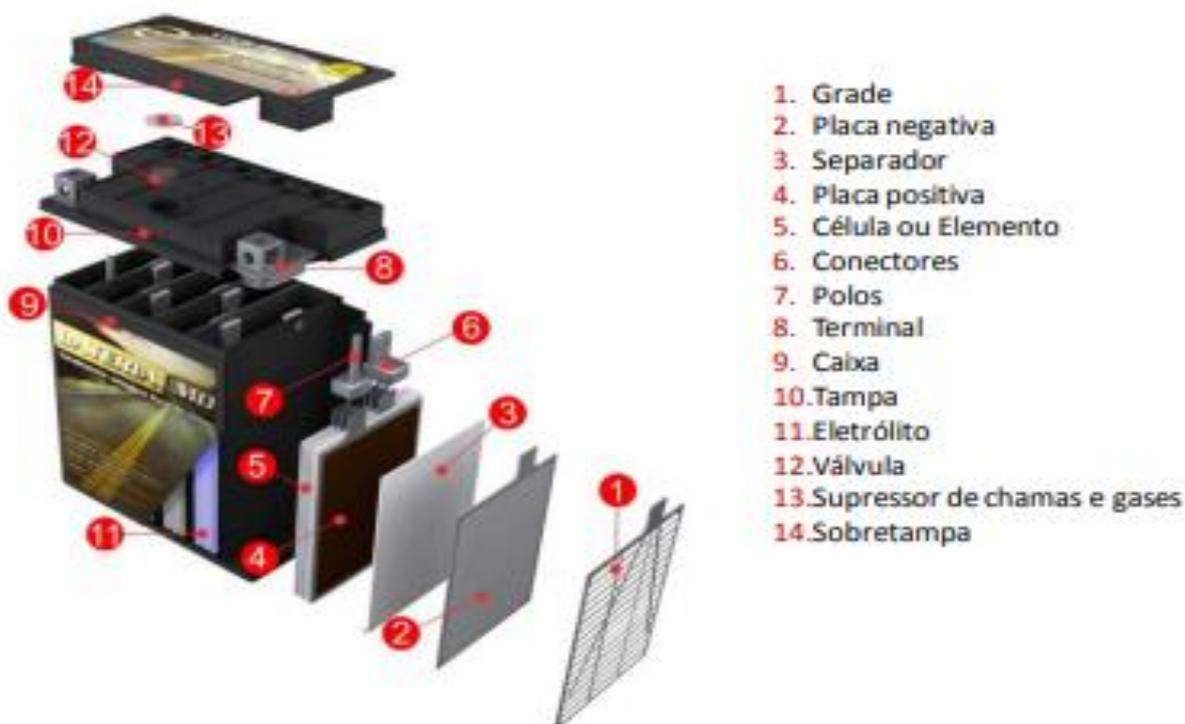
Secundárias: São baterias que podem ser recarregadas várias vezes, tendo como regra básica a capacidade de suportar 300 ciclos completos de carga e descarga com

80% da sua capacidade, exemplo: cádmio/óxido de níquel (níquel/cádmio), chumbo/óxido de chumbo (chumbo/ácido), hidreto metálico/óxido de níquel, entre outros.

A variação da corrente e tensão tornam o sistema instável, partindo deste princípio, torna-se necessário o uso de uma bateria no sistema visto que a mesma além de estabilizar a corrente oferecida para o motor, acumula energia, podendo ser utilizada posteriormente quando a conversão de energia for reduzida em decorrência das baixas temperaturas (Bocchi, Ferracin, & Biaggio, 2000).

A bateria mais utilizada em sistemas auxiliares atualmente é a bateria de chumbo-Ácido, devido a seu potencial tecnológico, funcional e seu custo operacional (CARNEIRO, Molina, Antoniassi, Magdalena, & Pinto, 2017). Tendo em vista as características desta bateria mostrada na Figura 3.

Figura 3: Componentes básicos de uma bateria chumbo-ácido.



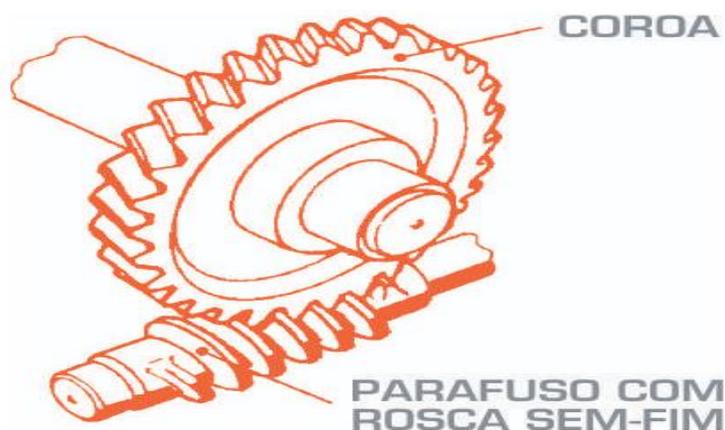
Fonte: (CARNEIRO, Molina, Antoniassi, Magdalena, & Pinto, 2017).

A Figura 3 exemplifica os componentes internos e externos da bateria chumbo-ácido, nomeando todos os componentes da mesma.

3.9 COROA E ROSCA SEM FIM

O conjunto de transmissão coroa e rosca sem fim é um importante transmissor de energia cinética como demonstra a Figura 4, onde é capaz de reduzir a velocidade e aumentar o torque (GOMES, 2014).

Figura 4: Conjunto de transmissão de coroa e rosca sem fim.



Fonte: (GOMES, 2014)

A Figura 4 ilustra o conjunto de engrenagens de coroa e rosca sem fim, nomeando os referidos componentes.

Para análise de variáveis desse engrenamento faz-se necessário a seguinte Equação (Junior, 2002).

$$N_p = \frac{N_c \cdot Z_c}{N_e} \quad (12)$$

N_c = Velocidade de rotação da coroa

N_p = Velocidade de rotação do sem-fim

N_e = Número de entradas do parafuso com rosca sem-fim

Z_c = Número de dentes da coroa

Para análise de variação de torque ocasionada por engrenamento (Almacinha, 2016), faz-se necessário o uso da Equação 13 (Junior, 2002).

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (13)$$

Onde:

M_1 = Torque da engrenagem 1;

M_2 = Torque da engrenagem 2;

Z_1 = Numero de dentes da engrenagem 1;

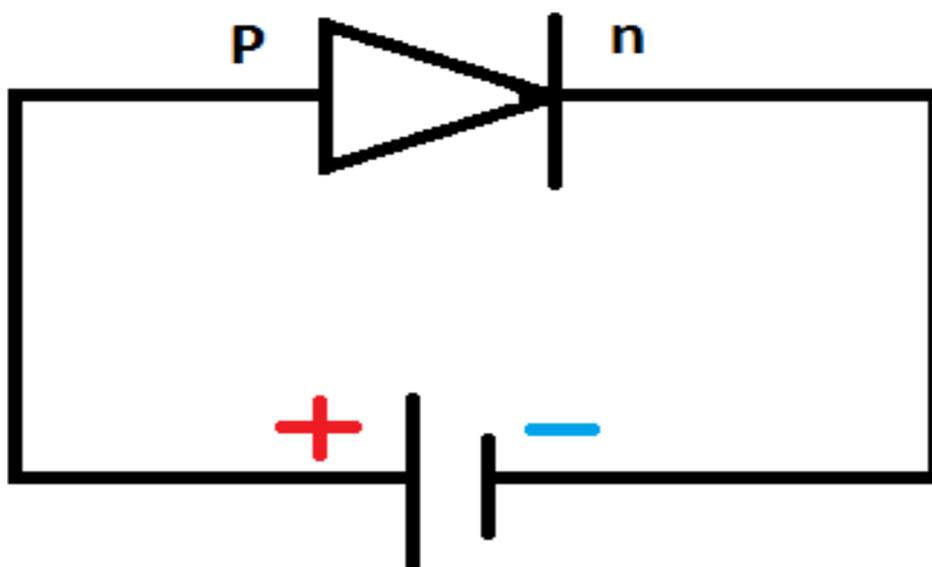
Z_2 = Numero de dentes da engrenagem 2.

3.10 DIODOS

Os diodos apresentam diversas configurações construtivas para suprir as necessidades de projetos e aplicações. Estes são dispositivos semicondutores surgidos por volta da década de 60. A generalidade deste componente é que a passagem de corrente elétrica só se conclui em um sentido de seus polos, a esta alimentação denomina-se polarização direta. Os díodos, executam funções específicas, tais como variação da capacidade em função da tensão (varicap), regulação de tensão (zener), emissão de luz (LED) para além de outros menos utilizados, mas com funções muito específicas (Lazzarini, et al., 2017).

Polarização direta é uma condição que ocorre quando o lado “P” é submetido a um potencial positivo relativo ao lado “n” do diodo como demonstra a Figura 5. (Dias, Stumpf, Sansiviero, & Pernaut., 2007).

Figura 5: Polarização direta.



Fonte: Autoria própria.

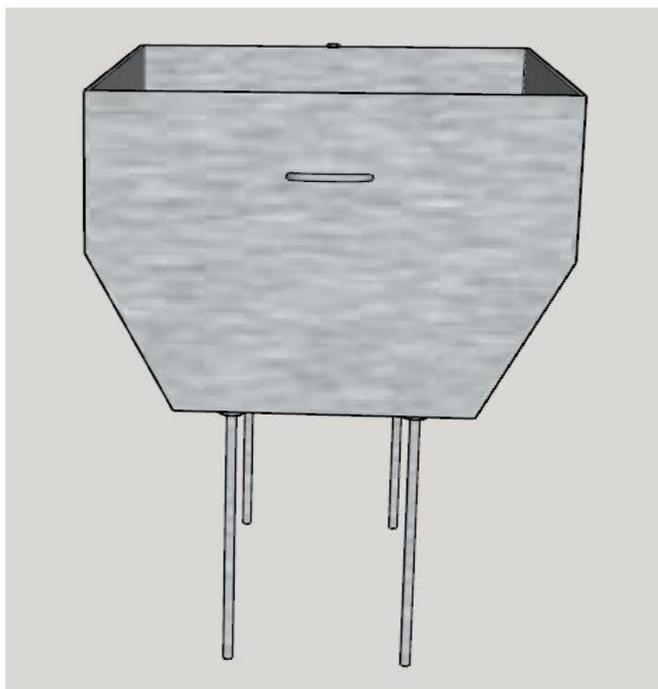
A Figura 5 exemplifica o funcionamento do diodo onde o polo positivo da fonte repele as lacunas do material “P” em direção ao polo negativo, enquanto os elétrons livres do lado “n” são repelidos do polo negativo em direção ao polo positivo.

4 METODOLOGIA

Foi projetada uma churrasqueira retangular, tendo concavidade na parte inferior como demonstra a Figura 6. Este modelo deve atender aos seguintes requisitos:

- Ter espaço suficiente para adequar um espeto.
- Ter local de fácil acesso para instalação das placas em uma parte que esteja exposta à temperatura ambiente.
- Oferecer suportes para a instalação dos equipamentos responsáveis pela parte energética, de tal forma que sejam removíveis, permitindo mobilidade.
- Usar material que transmita calor na parte inferior.

Figura 6: Churrasqueira projetada para o protótipo.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 6 define a churrasqueira em seu estado inicial de construção, sem os equipamentos de transformação energética e transmissão.

4.1 ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO DE ROTAÇÃO.

Conforme necessidade de projeto, a rotação oriunda do motor precisa chegar ao espeto entre 4 e 6 rpm, para não comprometer a qualidade do produto, e utilizar do

potencial da relação de engrenagens para obtenção de mais torque (LEAF GROUP, 2017).

A solução para as presentes necessidades é adicionar um parafuso de rosca sem fim, que além de reduzir a rotação, aumenta o torque.

Devido a necessidade de aceitação dos espetos padrões de mercado, o padrão de rosca sem fim adotado foi o convencional utilizado em churasqueras, tendo suas dimensões apropriadas para receber os espetos.

Dimensões da rosca sem fim:

- 50 mm largura ;
- 1/4" de diâmetro;
- 10 mm de passo.
- 1 fio de entrada.

A coroa utilizada, como informada anteriormente foi a padrão comercial, que foi fixada no espeto, visando permitir praticidade de adaptação em caso de substituição. As dimensões da coroa utilizada no protótipo são:

- 32 mm de diâmetro externo;
- 2 mm de espessura;
- 17 dentes.

O impacto na velocidade de rotação gerado no espeto, decorrente das dimensões do conjunto de transmissão referido foram levadas em consideração para o dimensionamento do motor. Conforme referenciado, surge a necessidade de definir uma faixa específica de rotação para o motor, buscando rotação estabelecida pelo projeto após o seu engrenamento, onde N_p é a rotação necessária para o sem fim ; N_c é a velocidade de rotação que tem o espeto; Z_c é o número de dentes da coroa o N_e é o número de entradas do rosca sem fim, conforme Equação 12 disposta abaixo.

$$N_p = \frac{N_c \cdot Z_c}{N_e} \quad (12)$$

4.2 TORQUE PARA ROTAÇÃO DE UM ESPETO.

Para rotacionar um espeto com carne, torna-se imprescindível calcular o torque necessário, visto que o espeto estará apoiado entre dois rolamentos, um em cada extremidade. Definida a massa máxima que comportará o espeto, obtém-se a força

mínima para rotação, sendo ela de acordo com a Equação 14 (FREITAS, 2010).

$$F = m \cdot a \quad (14)$$

Outra variável essencial para cálculo do torque é o raio da coroa do espeto, tendo a força mínima para rotação e o raio da coroa do espeto, encontra-se o torque equivalente por meio da seguinte Equação 15 (Guimarães V. , 2014).

$$M = F \cdot r \quad (15)$$

O sistema de engrenagens reduz a velocidade potencializando o torque (GOMES, 2014).

Com o torque equivalente e o número de dentes do espeto calcula-se segundo a Equação 13 o torque mínimo para o sistema.

$$M1 = \frac{Z1 \cdot M2}{z} \quad (13)$$

O rendimento de transmissão de torque é de 95%, devido ao atrito entre as engrenagens (Almacinha, 2016), sendo assim existe uma perda de 5% em seu torque, compensando esse agravante tem-se o torque necessário para rotação.

4.3 ESCOLHA DO MOTOR.

Para escolha do motor vários fatores de necessidade do sistema foram levados em consideração, sendo eles:

- Atender a demanda de tensão e continuidade de corrente da bateria.
- Satisfazer a necessidade de torque sabendo que para fins demonstrativos o presente experimento foi projetado com apenas 1 espeto.
- Obedecer aos limites de velocidade de rotação.
- Consumo reduzido, a fim de reduzir o custo e aumentar sua autonomia.

Para tal especificação faz-se necessário o dimensionamento das variáveis listadas acima e a consulta no catalogo do fabricante.

4.4 DIMENSIONAMENTO PARA ESCOLHA DA BATERIA

Conforme necessidade de estabilização de velocidade de rotação dos espetos e estocagem energética, contornando os problemas que as oscilações de temperatura geram, surge à necessidade do dimensionamento de uma bateria para o sistema.

Para a definição da bateria ideal, é de notável relevância a informação de consumo

do sistema.

Ainda conforme (CARNEIRO, Molina, Antoniassi, Magdalena, & Pinto, 2017) o dimensionamento aplicacional de baterias é feito por meio de três valores nominais, sendo eles a capacidade nominal, cold cranking ampere e reserva de capacidade.

Capacidade nominal é a medida da capacidade de armazenamento energético, sinalizando a capacidade energética no ponto máximo da carga, possibilitando saber o quanto a bateria pode oferecer até a tensão final, sendo a unidade expressa em ampere-hora (Ah), conforme especificação dos fabricantes, as baterias são classificadas em Capacidade nominal (Ah), então como referenciado anteriormente a demanda energética do motor é definida por meio da seguinte Equação 8 (Peres & Silva, 2004).

$$Cn = \frac{C}{V} \quad (8)$$

Onde:

Cn= Capacidade nominal (Ah)

C= Consumo (Wh)

V= Tensão (V)

Cold Cranking Ampère é um teste de corrente a frio, realizado com a bateria em temperatura abaixo de zero, com o intuito de verificar o funcionamento da mesma em situações abaixo de zero.

Conforme estabelecido pela lei de ohm, a intensidade da corrente elétrica é dada pelo quociente entre a grandeza diferença de potencial e a resistência elétrica do condutor conforme a Equação 9, (COSTA, 2013) .

$$I = \frac{V}{R} \quad (9)$$

Onde:

I= corrente elétrica

V= tensão

R= resistência elétrica do condutor

Costa também diz que a potência é o produto da tensão e a corrente, e que o consumo de energia é dado por meio da potência e seu tempo (Wh), definindo assim com precisão a capacidade de armazenamento de uma bateria.

Que são descritas de acordo com as Equações 10 e 11 respectivamente (Irwin, 2004).

$$\text{POTÊNCIA} = V.I \quad (10)$$

$$\text{CONSUMO} = P. t \quad (11)$$

Onde:

I= corrente elétrica

V= tensão

T=tempo

4.5 INSTALAÇÃO DA BATERIA

Para a fixação da bateria no protótipo foi utilizado um suporte, tal que o mesmo teve que ser posicionado estrategicamente para obter a menor temperatura de trabalho possível, que conforme fabricante, não deve exceder 50 °C (Moura, 2017).

Para não permitir à passagem de calor excessivo a bateria, comprometendo sua vida útil, o suporte foi fabricado com base superior de madeira e sua fixação foi feita abaixo do suporte das placas termoelétricas, aproveitando o isolamento térmico cerâmico das referidas placas, permitindo também a total desmontagem do equipamento quando necessário. A fixação final da bateria no suporte será por encaixe, ajustando a chapa que a envolve, e por fim parafusando-a a base.

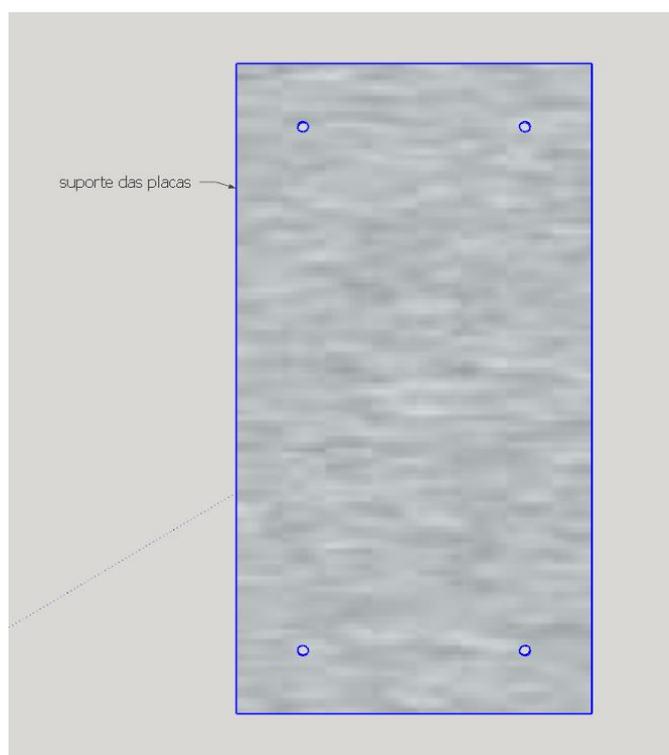
4.6 INSTALAÇÃO DO DISPOSITIVO TERMOELÉTRICO.

Tendo a churrasqueira, o primeiro passo é estabelecer o suporte para fixação das placas de Peltier, sabendo que as placas precisam ser fixadas na parte inferior, tendo em vista a necessidade de redução da exposição de calor, utilizando um princípio básico da física onde o ar quente sobe e o ar frio desce (Barroso-Krause & Souza).

O dispositivo termoelétrico foi instalado na parte inferior da churrasqueira, pois é o local que menos sofre com a ação do calor, desta forma não comprometendo o sistema da placa. Para esta instalação, faz-se necessário um suporte na churrasqueira para as placas, de forma que estas não venham a cair ou descolar e não recebam o calor total da chapa do fundo, visto que a temperatura é superior à permitida para os referidos dispositivos termoelétricos. Foi utilizado um módulo de Peltier disponível no mercado SP-184827145 SA.

A outra superfície da pastilha é voltada para o ar ambiente, assim, proporcionando um gradiente de temperatura entre as duas faces, conforme exemplifica o suporte na Figura 7, que posteriormente foi instalado na parte inferior da churrasqueira.

Figura 7: Suporte para fixação das placas.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 7 é esboço o suporte metálico fabricado para fixação das placas termoelétricas.

4.7 INSTALAÇÃO DO DIODO

As placas termoelétricas foram instaladas para disponibilizar energia, porém, conectá-las diretamente à bateria traria uma ação contrária, transformando energia elétrica em variação térmica entre suas faces, consumindo carga, por ser essa uma função da mesma. Sabendo deste princípio o fluxo unidirecional é fundamental para a presente aplicação, conforme abordado o diodo tem a funcionalidade necessária para evitar o efeito reverso das placas, permitindo somente o fluxo energético no sentido placas-bateria, respectivamente. A instalação do diodo foi feita no polo positivo, entre a placa e a bateria a fim de bloquear a corrente no sentido inverso.

4.8 ISOLAMENTO PARA TEMPERATURA DE TRABALHO.

A eficiência das placas termoelétricas está diretamente ligada ao diferencial de

temperatura em suas extremidades, visto que a temperatura em torno da periferia da churrasqueira tende a ser alta em seu funcionamento, foi adicionado ao protótipo um isolamento térmico, visando impedir que essa expansão térmica aconteça na parte inferior da churrasqueira evitando temperaturas acima da recomendada pelo fabricante. Tal isolamento não interfere na troca térmica, porque a temperatura oferecida pela queima do carvão é superior a temperatura de trabalho, sendo o isolante também uma proteção para as placas termoelétricas, atendendo recomendações de segurança do fabricante, que orienta uma temperatura máxima de 150 graus Celsius.

Para tanto, realizou-se uma medição térmica com o auxílio de um pirômetro digital na parte inferior da churrasqueira, contendo brasas de carvão semelhante a uma utilização no cozimento de churrasco, após a estabilização do fogo e consequentemente da temperatura, sendo esta superior a ideal de funcionamento, necessitando de um isolamento térmico a fim de reduzir a temperatura de trabalho das placas termoelétricas.

Foi definido como revestimento térmico um material cerâmico, visto que é economicamente viável e é um excelente isolante térmico, e para calcular a espessura do material cerâmico foram utilizadas duas equações, a de transferência global de calor 16, e a de quantidade de calor 17 (Barrosa, 2004).

$$\dot{Q} = \frac{K A \Delta T}{e}, \quad (16)$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t, \quad (17)$$

Uma placa cerâmica foi adicionada entre a churrasqueira e a chapa de fixação das placas de Peltier, evitando assim a temperatura excessiva chegando as placas.

4.9 INTERFERÊNCIA GEOMÉTRICA E AMBIENTAL NA GERAÇÃO ENERGÉTICA.

Conforme exboçadas nas ilustrações do projeto, a parte inferior da churrasqueira foi projetada de forma concava, tendo em vista a diminuição da área de contato em temperatura elevada. Tal medida foi adotada baseada no princípio físico de troca térmica onde a condução transmite mais temperatura do que a convecção (Barrosa, 2004). O objetivo da diminuição da temperatura de troca térmica é a temperatura ideal de trabalho das placas, sendo esta menor que a temperatura oferecida na região de

contato com o fundo da churrasqueira, onde as mesmas foram instaladas. Analisando o fator ambiental climática, o mesmo oferece variação geracional na fonte energética, porém a divergência gerada não é relevante para interferir no funcionamento do sistema, pois isso implica em um carregamento mais lento da bateria, porém existe uma margem imensa entre o potencial gerado e consumido, ao qual a bateria corrige esse agravante automaticamente.

4.10 CALCULO DA TENSÃO E CORRENTE GERADAS PELOS DISPOSITIVOS TERMOELÉTRICOS.

Os dispositivos termoeletricos escolhidos para o projeto são as placas de peltier TEG SP 184827145, devido as mesmas terem a maior temperatura de trabalho e maior eficiência para a conversão de energia térmica em elétrica do mercado (Alves, 2009). Definida a bateria, a quantidade de placas termoeletricas foi dimensionada baseando-se na tensão de flutuação, para tanto o desempenho analisado foi unitário, para posteriormente definir o quantitativo de placas (Saad, 2012). Conforme referenciada anteriormente, a Equação 7 define a tensão da placa termoeletrica.

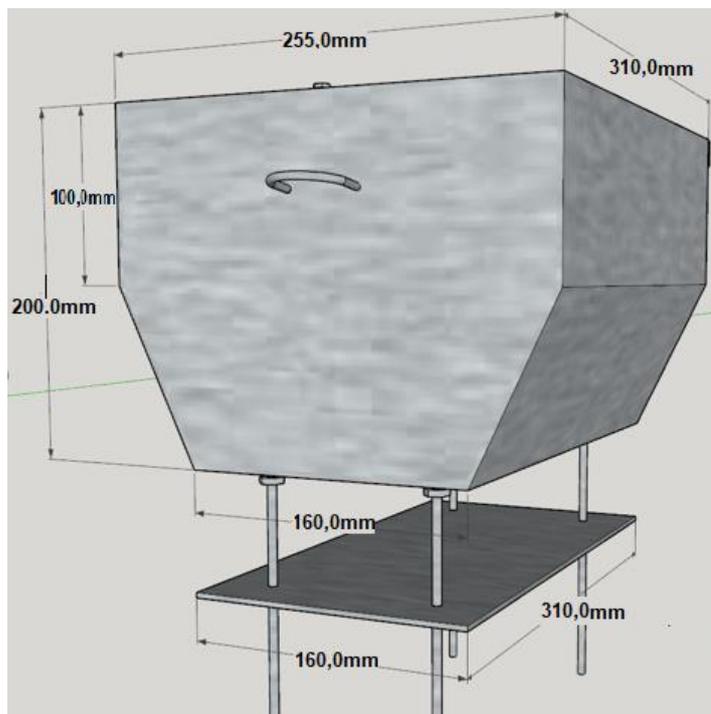
$$V_0 = \alpha(T_h - T_c) \quad (7)$$

Onde α é o coeficiente de Seebeck em volts/Kelvin, T_h é a temperatura no lado quente do dispositivo termoeletrico em Kelvin, T_c é a temperatura no lado frio em Kelvin. Tendo a informação de tensão e temperatura foi possível analisar a amperagem através do Grafico 2 do referencial teórico.

4.11 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO PROTÓTIPO.

Conforme metodologia adotada, foi projetada uma churrasqueira com concavidade na parte inferior, contando com um suporte para fixação das placas termoeletricas conforme Figura 8.

Figura 8: Protótipo da churrasqueira.

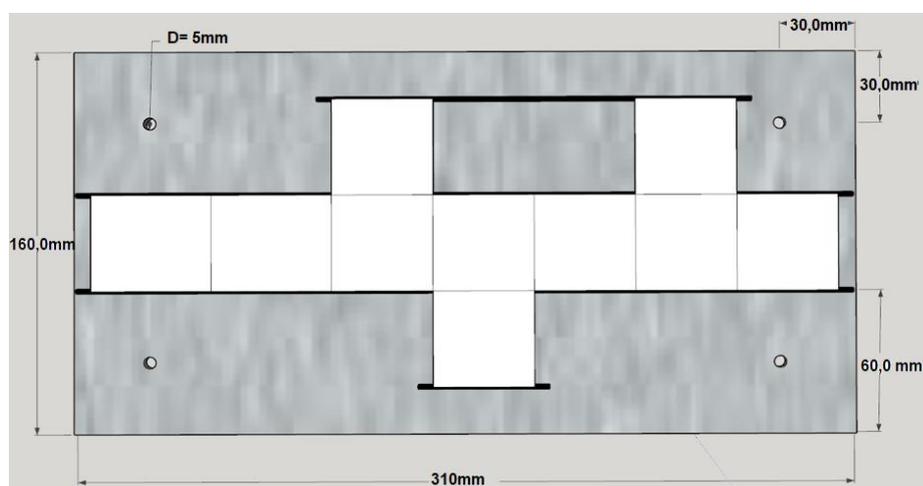


Fonte: Autoria própria.

Conforme Figura 8 foram soldados quatro parafusos na parte inferior da churrasqueira com uma chapa de 1 mm de espessura, permitindo regulagem de altura que é dada por meio de porcas, a fim de facilitar a fixação das placas e da bateria, facilitando também uma possível manutenção.

A instalação das placas de peltier na chapa de aço inoxidável foi feita através de guias previamente soldadas na chapa, conforme Figura 9.

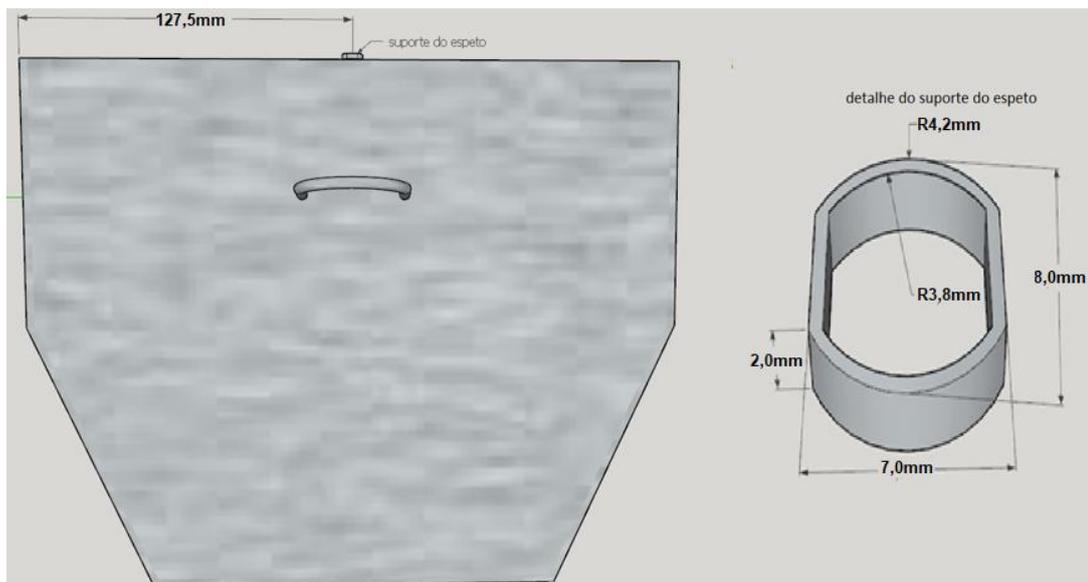
Figura 9: Placas de Peltier fixadas no suporte móvel.



Fonte: Autoria própria

A Figura 9 define a fixação das placas termoeletricas em suas guias, sendo posteriormente ligadas em série. Após a instalação do suporte e placas o próximo passo foi adaptar o local de recebimento do espeto conforme demonstrados na Figura 10.

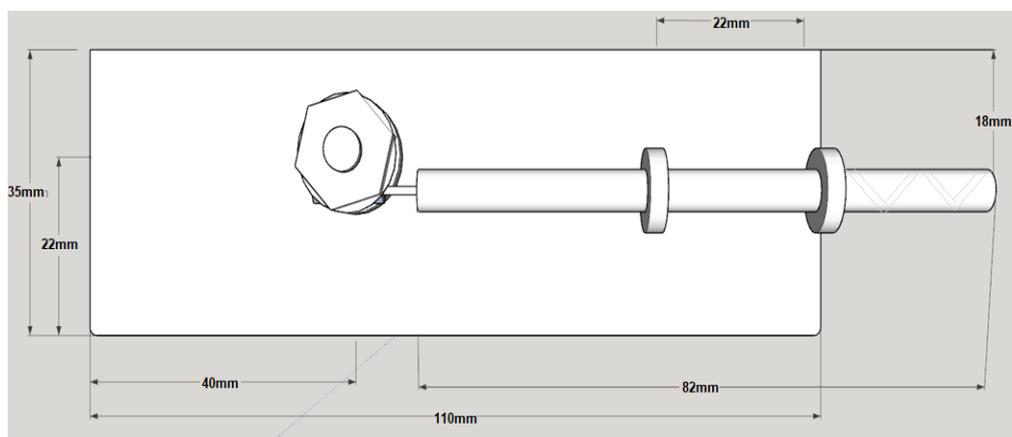
Figura 10: Sistema de suporte do espeto.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 10 exibe o sistema de suporte do espeto, utilizando rolamentos em suas extremidades, sendo um fixado na churrasqueira e outro no espeto. Posteriormente foi fabricado um suporte para o mancal e o motor conforme a Figura 11.

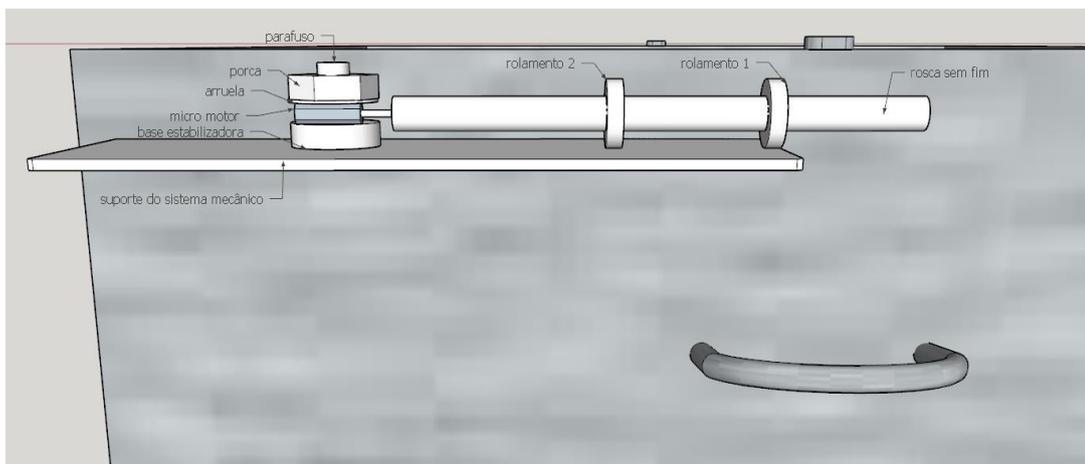
Figura 11: Suporte do Mancal e do motor com eixo e rosca sem fim.



Fonte: Autoria própria

Conforme Figura 11, foram fixados o mancal com seu eixo e o parafuso de rosca sem fim e o suporte do motor. Após os itens terem sido fixados no suporte, o mesmo foi fixado na churrasqueira conforme a Figura 12.

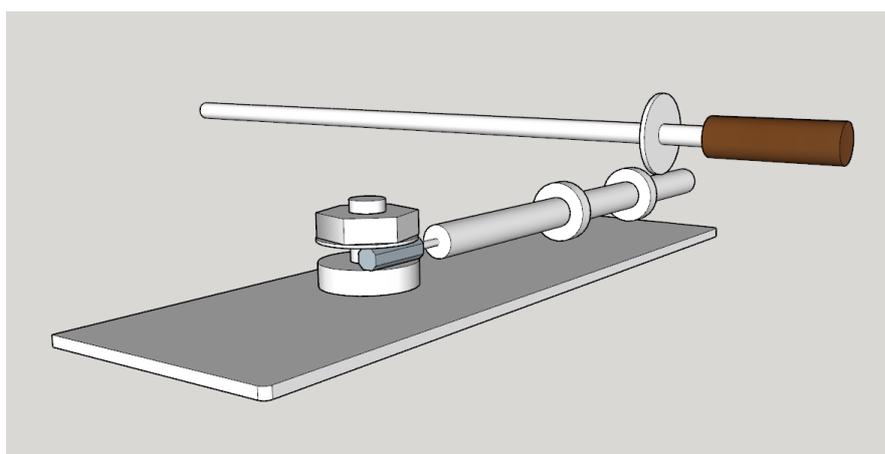
Figura 12: Fixação do conjunto mecânico de rotação à churrasqueira.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 12 mostra o conjunto mecânico de rotação instalado na churrasqueira. Utilizando o suporte do motor já instalado anteriormente, o motor foi fixado como demonstra a Figura 13.

Figura 13: Conjunto motor e eixo.



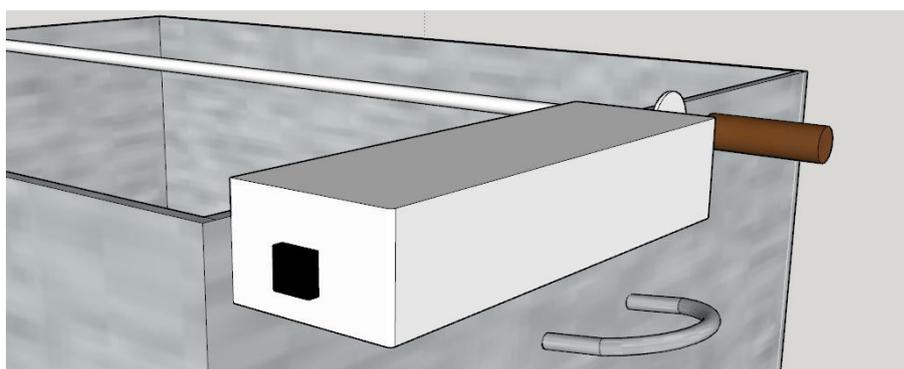
Fonte: Autoria própria.

Conforme visto na Figura 13, o motor foi fixado ao suporte feito de parafuso porca e arruelas, obedecendo alinhamento de horizontal e vertical, estando o suporte e mancal fixados paralelamente a coroa do espeto, de forma que impossibilita o contato

entre os dentes da coroa com o eixo, permitindo-o somente com o parafuso de rosca sem fim, evitando perda de carga desnecessária e desgaste precoce dos componentes.

Estando montada e ajustada a fonte motriz e a motora, a instalação de uma botoeira e uma capa de proteção foi feita como demonstra a Figura 14.

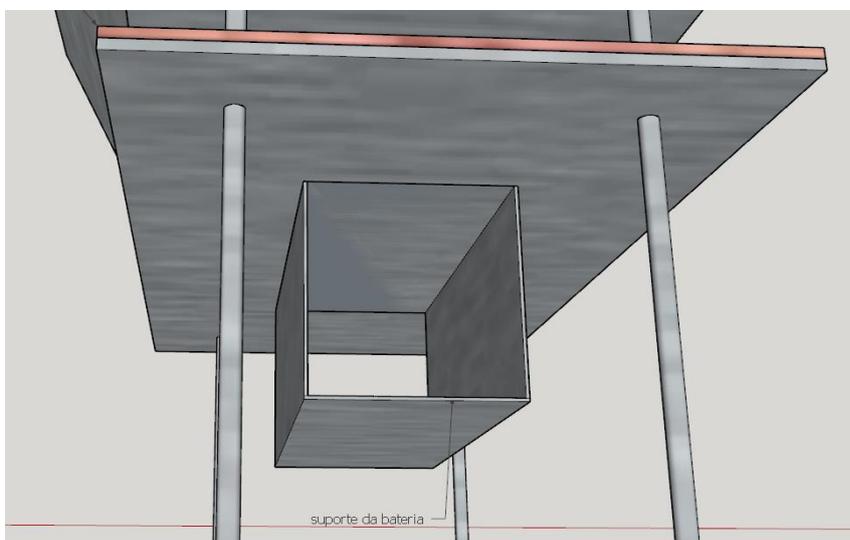
Figura 14: Capa de preservação e proteção.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 16 expõe o conjunto de motor e transmissão devidamente ligados por uma botoeira de acionamento e envolvidos por uma capa de proteção. Continuando o processo de montagem do protótipo foi fabricado um suporte para a bateria, sendo este fabricado com uma chapa de aço inoxidável de 1mm de espessura, dobrada e parafusada a uma base de madeira, conforme Figura 15.

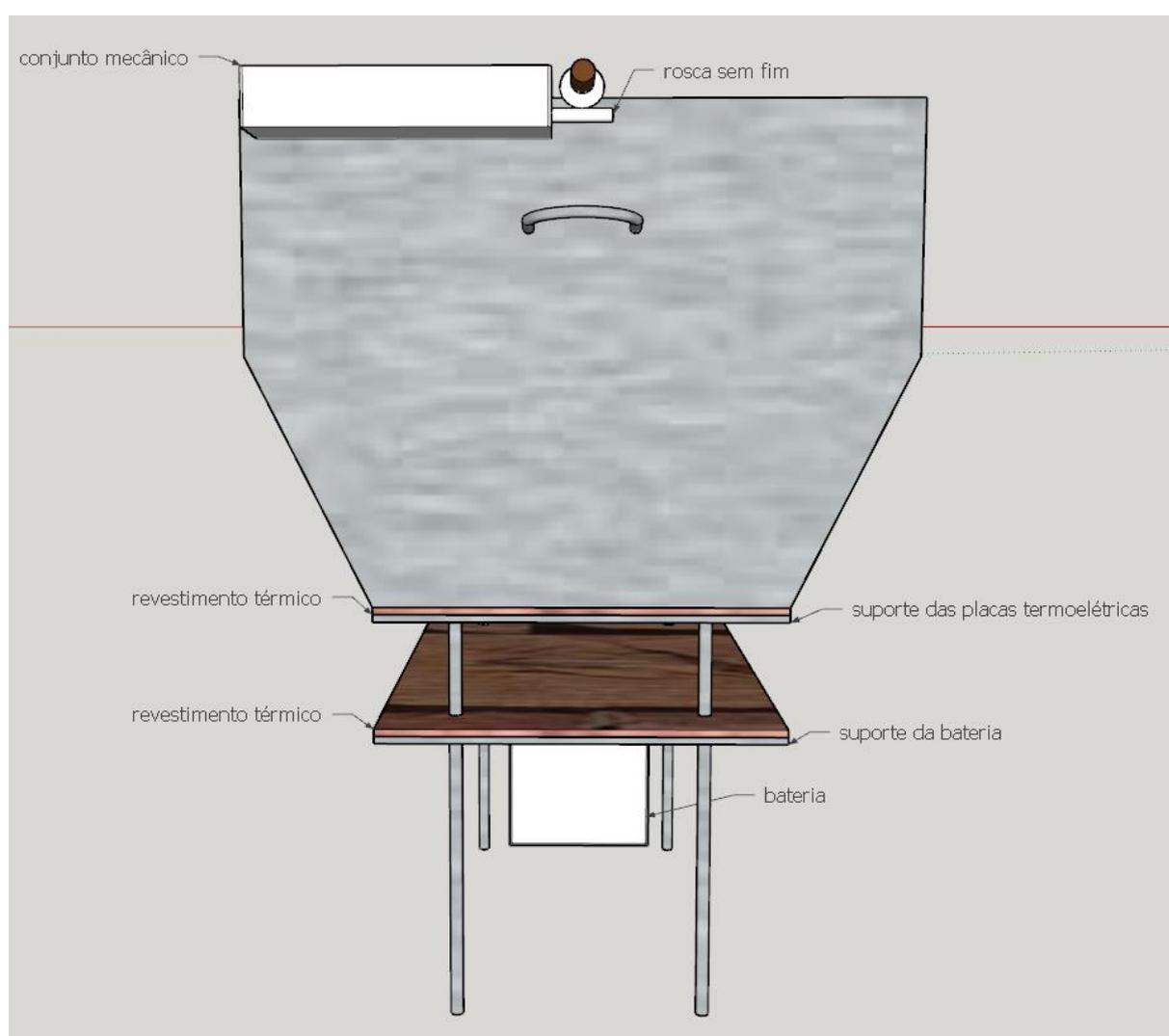
Figura 15: Suporte da Bateria



Fonte: Autoria própria.

A Figura 15 permite a visualização da estrutura de suporte da bateria instalado na parte inferior da churrasqueira, utilizando os mesmos parafusos do suporte das placas termoelétricas. Fixadas as placas termoelétricas e o suporte da bateria, a bateria foi adicionada. Posteriormente, as saídas elétricas da ligação em série das placas de peltier, com um diodo no polo positivo, foram ligadas a bateria, igualando os polos de ambas. Continuando as ligações elétricas, o motor foi conectado a bateria, instalando no polo positivo uma botoeira de acionamento, Figura 16.

Figura 16: Protótipo finalizado.



Fonte: Autoria própria.

A figura 16 registra o projeto do protótipo finalizado, com todas as peças e conexões instaladas, permitindo a compreensão do objetivo central do trabalho.

4.12 VALIDAÇÃO DO PROJETO DO PROTÓTIPO.

O protótipo foi construído com a finalidade de testar e validar a funcionalidade do mesmo como demonstra a Figura 17.

Figura 17 Protótipo construído para testes



Fonte: Autoria própria

A Figura 17 demonstra o protótipo construído para finalidade de testes da transformação de energia térmica em energia elétrica e para medições de temperatura.

4.13 VERIFICAÇÃO DA TEMPERATURA DAS SUPERFÍCIES DO CONJUNTO DE PLACAS E BATERIA.

Para a verificação da temperatura em ambas as superfícies das placas termoeletricas foi utilizado um Pirômetro óptico conforme a Figura 18, a fim de comprovar a variação térmica desejada.

A análise de temperatura de trabalho da bateria foi feita seguindo os mesmos padrões de medição.

Figura 18: Pirômetro Óptico.



Fonte: Autoria própria.

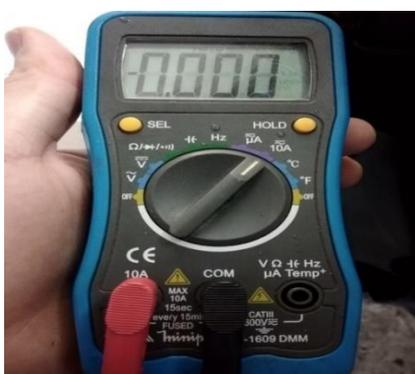
A Figura 18 mostra o pirômetro óptico utilizado no processo de medição de temperatura do presente experimento.

4.14 MEDIÇÃO DA CORRENTE E TENSÃO PRODUZIDA PELO DISPOSITIVO TERMOELÉTRICO E CÁLCULO DE POTÊNCIA.

Para a medição da corrente e da tensão produzida pelo conjunto de placas foi utilizado um multímetro fluke conforme a Figura 19, medidos simultaneamente com a temperatura. Para encontrar a potência “P”, faz-se o produto entre a tensão “U” e a corrente “i” conforme a Equação 10.

$$P = U \cdot i \quad (10)$$

Figura 19: Multímetro fluke.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 19 define o multímetro utilizado nas medições de tensão e corrente do presente trabalho.

5 RESULTADOS

5.1 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO

Para o dimensionamento do motor, é de fundamental importância a disponibilidade de algumas variáveis, uma delas é a rotação, visto que os elementos de transmissão alteram a rotação em seu funcionamento.

Sabendo que a velocidade de rotação esperada está entre 4 a 6 rpm, surgem dois limites para cálculo, $N_c = 4$ e $N_c = 6$. Aplicando na Equação 12 tem-se:

$$N_p = \frac{6 \cdot 17}{1} = 102 \text{ rpm.}$$

Conforme calculado, a rotação que o motor deverá transmitir ao eixo com rosca sem fim será 68 a 102 rpm, para que a rotação do espeto possa estar na rotação adequada.

5.2 DIMENSIONAMENTO DE TORQUE POR ESPETO

Definida a massa máxima que comportará o espeto, sendo 2kg, obtém-se a força mínima para rotação, sendo ela de acordo com a Equação 14:

$$F = 19,6 \text{ N} = 2 \text{ kgf}$$

Sabendo que a distância da aplicação de força em relação ao centro do espeto é igual ao seu raio, sendo $r = 16 \text{ mm} = 1,6 \text{ cm}$, encontra-se o torque equivalente por meio da seguinte Equação 15:

$$M = 313,6 \text{ N} \cdot \text{mm} = 3,2 \text{ kgf} \cdot \text{cm.}$$

Então o torque mínimo para girar o espeto é 3,2 kgf.cm, porém sabe-se que o sistema de transmissão coroa e rosca sem fim, dimensionado anteriormente, tem a velocidade inversamente proporcional ao torque, ou seja, o sistema de engrenagens reduz a velocidade potencializando o torque (GOMES, 2014).

Sabendo que a coroa fixa do espeto possui 17 dentes tem-se segundo a Equação 13:

$$M_1 = \frac{1 \cdot 3,2}{17}$$

$$M_1 = 0,19 \text{ kgf} \cdot \text{cm.}$$

Na prática o rendimento de transmissão de torque é de 95%, devido ao atrito entre as engrenagens (Almacinha, 2016), sendo assim existe uma perda de 5% em seu torque, compensando esse agravante tem-se:

$$M_1 = 0,2 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \text{ para cada espeto}$$

O torque mínimo calculado para rotacionar um espeto é $0,2 \text{ kgf.cm}$.

5.3 DIMENSIONAMENTO DO MOTOR

Para dimensionamento do motor vários fatores de necessidade do sistema foram levados em consideração, sendo todos eles dimensionados anteriormente, os mesmos são:

- Atender a demanda de tensão 12 V e continuidade de corrente.
- Satisfazer a necessidade de torque de $0,2 \text{ kgf.cm}$ por espeto, sabendo que para fins demonstrativos o presente experimento foi projetado com apenas 1 espeto.
- Obedecer aos limites de velocidade de rotação entre 68 a 102 rpm, para depois de passar por todo sistema de transmissão chegue a uma velocidade de rotação final de 4 a 6 rpm, preservando assim as características do churrasco (LEAF GROUP, 2017).
- Ter um menor consumo possível para reduzir o quantitativo final de custo e aumentar sua autonomia.

A fabricante que obteve destaque diante das opções de motores disponíveis no mercado foi a Pololu Robotics & electronics. Para tal escolha faz-se necessário a consulta no catalogo do fabricante, visando atender necessidades do sistema, as quais estão dimensionadas e listadas acima, tornando possível a escolha de maior benéfico para as especificações.

Conforme a Figura 20 pode-se analisar as opções na faixa de tensão de 12 volts.

Figura 20: Catálogo de motores Pololu Robotics & electronics.

Motor Type	Rated Voltage	Pololu Item #	Gear Ratio	No Load		At Maximum Efficiency				Max Power	Stall Extrapolation		Graph Page	
				Speed	Current	Speed	Torque	Current	Output		Torque	Current		
				:1	RPM	A	RPM	kg-mm	A	W	W	kg-mm		A
High-Power Carbon Brushes (HPCB 12V)	12 V	3036, 3047	4.995	6000	0.06							1.9	0.75	
		3037, 3048	9.96	3000							2.4			
		3038, 3049	29.86	1100		840	1.0	0.23	0.82	1.1	3.9			
		3039, 3050	51.45	650		500	1.5	0.22	0.79	1.1	6.7			
		3040, 3051	75.81	450		350	2.1	0.20	0.76	1.1	10			
		3041, 3052	100.37	330		260	2.9	0.21	0.78	1.1	13			
		3042, 3053	150.58	220		170	4.2	0.21	0.73	1.0	18			
		3043, 3054	210.59	160		120	5.6	0.21	0.71	1.0	25			
		3044, 3055	248.98	130		110	6.6	0.21	0.72	1.1	30			
		3045, 3056	297.92	100		87	7.3	0.21	0.65	1.0	33			
		3046, 3057	886.41	35		27	21	0.19	0.59	*	100			

Fonte: (Data sheet Pololu, 2018)

A Figura 20 exibe a parte referente aos motores 12 V CC do catalogo do fabricante, onde a mesma oferece especificações sobre os respectivos motores, facilitando a

escolha do motor ideal para o projeto.

O motor que atende com perfeição a todos os requisitos de projeto é o micromotor pololu CC com caixa, 12 V 100 rpm, destacado na Figura 19.

As especificações técnicas do motor dimensionado para o protótipo são:

- Faixa de tensão de 12 V;
- Velocidade de rotação com carga 87 rpm;
- Corrente nominal de 0,06 A;
- Torque com carga de 0,73 kgf.cm;
- Potência máxima de 1 W.

O Motor escolhido é compacto leve e possui caixa de redução embutida, suas dimensões estão dispostas abaixo figura 21.

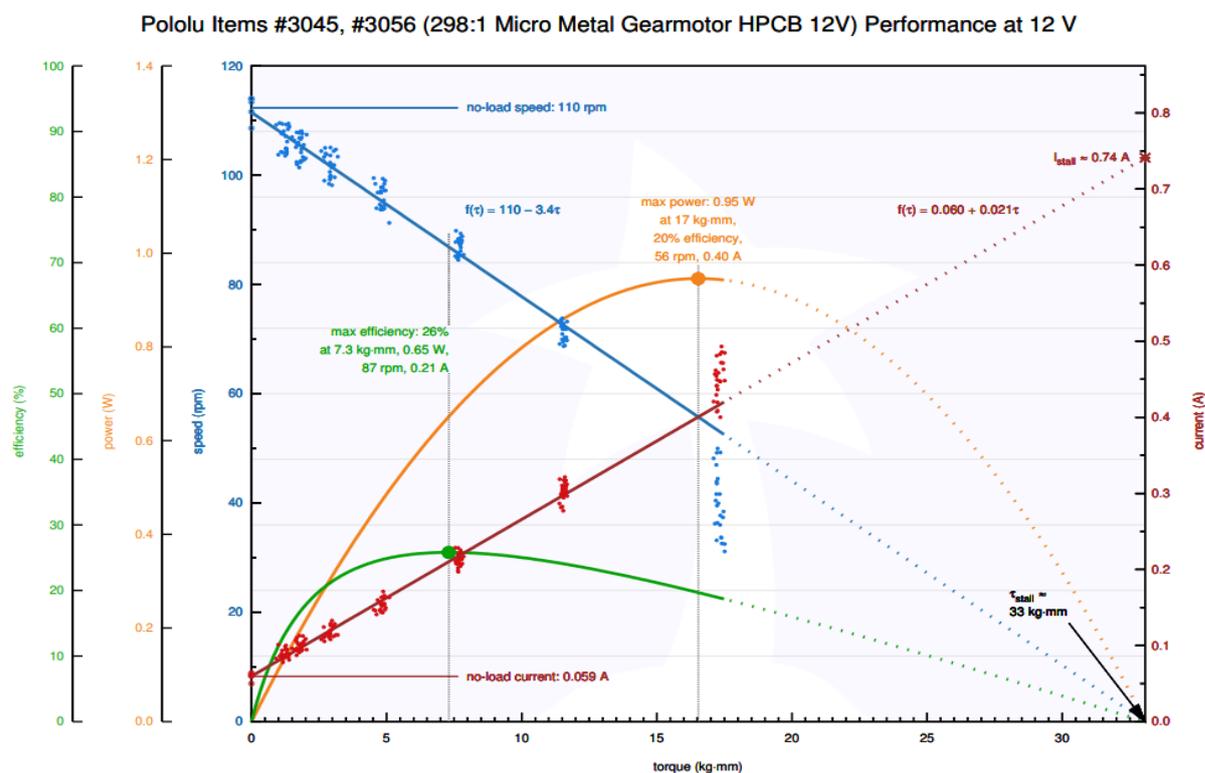
Figura 21: Dimensões do motor.



Fonte: (Pololu Robotics & electronics., 2018)

As Figura 21 representa o motor utilizado no protótipo e suas dimensões para maior compreensão do mesmo. O comportamento do referido motor pode ser analisado no Gráfico 3.

Gráfico 3: Performance do motor pololu CC com caixa, 12 V e 100 rpm.



Fonte: (Data sheet Pololu, 2018)

O Gráfico 3 correlaciona o desempenho do motor em determinadas tensões, correntes, torque, potência e eficiência.

5.4 CAPACIDADE MÁXIMA DE CARGA.

Para análise da capacidade de carga foi levado em consideração o torque oferecido pelo motor dimensionado, Figura 19, sendo este 0.73 kgf.cm.

Sabendo que o torque mínimo calculado para atender a demanda de um espeto é 0,2 kgf.cm, foi calculada a quantidade de espetos que pode ser anexado ao protótipo, visando o torque disponível pelo motor nas condições submetidas do presente experimento. Então:

$$\text{Quantidade de espetos possíveis} = \frac{0,73 \text{ [kgf.cm]}}{0,20 \text{ [kgf.cm]}}$$

Quantidade de espetos possíveis = 3 espetos.

O presente sistema tem capacidade para rotacionar 3 espetos com capacidade de carga de 2kg cada.

5.5 DIMENSIONAMENTO DA BATERIA

Para a definição da bateria, é de notável relevância a informação de consumo, para tal especificação foi estabelecida como base de variáveis as informações dadas pelo motor de 12 V, que é responsável pelo consumo do sistema. Conforme referenciado anteriormente o consumo é dado por meio do produto da potência útil (P) em relação ao tempo.

Utiliza-se a potência útil é de 1 W para traçar o consumo num período de uma hora de acordo com a Equação 11.

$$C = 1 [W] \times 1 [h]$$

$$C = 1Wh$$

Conforme especificação dos fabricantes, as baterias são classificadas em Capacidade nominal (Ah), então como referenciado, foi definida a demanda energética do motor por meio da seguinte Equação 8:

$$C_n = \frac{1}{12}$$

$$C_n = 0,083 Ah$$

Tendo em vista o consumo de 1 wh e a capacidade nominal de 0,06 Ah que são necessários para sustentar o sistema, a escolha que atende todas os padrões exigidos foi a Bateria Selada Moura 12V 7 Ah. A imagem da bateria utilizada no protótipo é retratada conforme Figura 22.

Figura 22: Bateria selada moura 12 V 7 Ah.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 22 expõe a bateria utilizada no protótipo, as demais especificações técnicas são:

- Fabricante: Moura, regulada por válvula.
- Tipo: Chumbo-ácida selada
- Tensão nominal: 12 V;
- Capacidade: 7 Ah;
- Flutuação: 13,5 a 13,8 V;
- Altura: 100 mm;
- Largura: 65 mm;
- Comprimento: 151 mm.

5.6 DIMENSIONAMENTO DO ISOLANTE PARA TEMPERATURA IDEAL.

Tendo em vista coeficiente de transferência dos elementos isolantes disponíveis, o material escolhido foi a fibra cerâmica em placa, para o isolamento da parte superior as placas de peltier. A espessura do material cerâmico foi calculada a partir do calor específico “c” do mesmo, sendo 1130 J/Kg°K. e condutividade térmica “k” igual a 0,18W/m°K. (RESTHERML, 2018).

Conforme Equações 14 e 15 as dimensões do material cerâmico foram calculadas.

Primeiro foi utilizado a Equação 17 referente a quantidade de calor, para saber o fluxo de calor trocado entre a parede do bojo da churrasqueira e o ambiente.

$$Q = 0,18 \cdot 1130 \cdot (190 - 130)$$

$$Q = 12040 \text{ J}$$

Para achar o fluxo, que é a quantidade de calor por tempo que irradia da fonte quente, divide-se o valor encontrado por um espaço de tempo, onde foi definido esse espaço de tempo como sendo 1s como pede o sistema internacional, logo:

$$\dot{Q} = \frac{12040}{1}$$

Portanto:

$$\dot{Q} = 12040 \text{ J/s}$$

Assim, com essas variáveis definidas, pode-se calcular a espessura do material.

Para tanto foi utilizado a equação de transferência global de calor, então:

$$12040 = \frac{5,55 \cdot 0,18 \cdot (190 - 130)}{e}$$

$$12040 = \frac{60}{e}$$

$$e = \frac{12040}{60}$$

$$e = 0,0049 \text{ m}$$

A placa de fibra cerâmica industrial com calor específico de 1130 J/Kg°K. e condutividade térmica “k” igual a 0,18W/m°K, oferecendo 5mm de espessura da mesma entre a churrasqueira e o suporte das placas termoeletricas, a fim de alcançar a temperatura de trabalho da placa termoeletrica, sendo 130° C na parte superior.

5.7 MEDIÇÃO DAS TEMPERATURAS

Estando os elementos dimensionados e instalados a medição das temperaturas fez-se necessária para determinação da corrente a ser fornecida pelas placas termoeletricas. Inicialmente foi medida a temperatura do bojo, sobre a placa cerâmica, buscando verificara a temperatura disponível, conforme Figura 23.

Figura 23: Medição de temperatura do bojo da churrasqueira.



Fonte: Autoria própria.

Conforme a Figura 23 é possível visualizar a medição da temperatura direta que chega a chapa da churrasqueira na parte inferior.

Tendo a temperatura real disponível, surge a necessidade de comprovar se o isolamento cerâmico calculado realmente obteve êxito. A Figura 24 abaixo expressa o teste feito na parte superior do suporte das placas termoeletricas

Figura 24: Medição de temperatura entre o isolante cerâmico e as placas peltier.



Fonte: Autoria própria.

Conforme retratado na Figura 24, a temperatura atingida pelo pirômetro óptico na parte superior do suporte das placas termoelétricas foi de 127 °C. Buscando constatar a diferença de temperatura entre as faces, a medição da temperatura da parte inferior das placas também foi feita conforme Figura 25.

Figura 25: Medição de temperatura na parte inferior das placas de peltier.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 25 registra a temperatura de 82 °C na parte inferior das placas termoelétricas. Conforme mensurado nas Figuras 24 e 25, a parte superior atingiu 127°C, já a parte inferior atingiu 82°C, tendo uma variação térmica entre as faces das placas termoelétricas de 45 graus Celsius.

5.8 DESEMPENHO E DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS TERMOELÉTRICOS.

Definida a bateria, a quantidade de placas termoeletricas foi dimensionada, baseando-se na tensão de flutuação. Para o dimensionamento das placas é necessário encontrar sua tensão.

Conforme referenciada anteriormente, a Equação 7 define a tensão da placa termoeletrica.

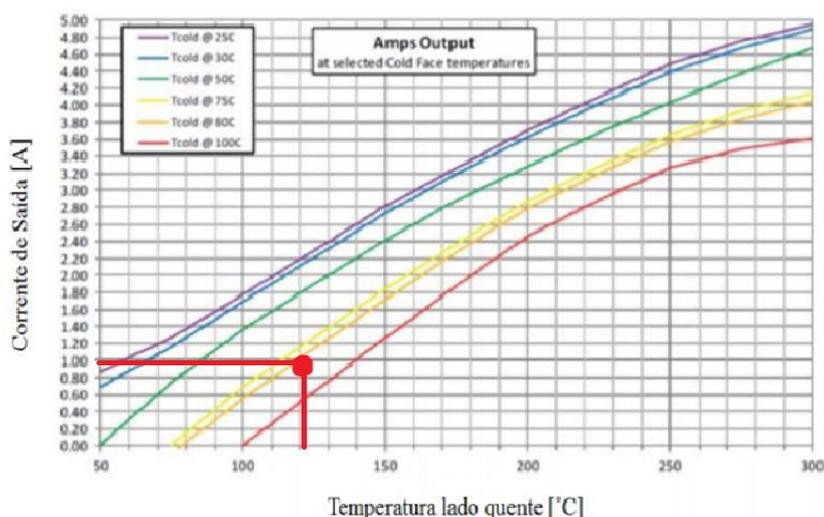
Onde α é o coeficiente de Seebeck em volts/Kelvin, T_h é a temperatura no lado quente do dispositivo termoeletrico em Kelvin, T_c é a temperatura no lado frio em Kelvin. Então :

$$V_0 = 0,0308(130 - 95)$$

$$V_0 = 1,386 V$$

Com a variação termica entre os polos de 45 graus a placa termoeletrica produz 1,386 Volts. As placas termoeletricas *TEG SP 184827145* possuem um gráfico disponível para relacionamento de variáveis, afim de disponibiliza informações de temperatura, corrente e tensão. Com as presentes informações de tensão e temperatura pode-se encontrar a corrente. E de acordo com o Gráfico 4 foi traçada a amperagem do sistema.

Gráfico 4 Análise da corrente de saída do módulo TEG SP 184827145.



Fonte: Adaptado de TEGMART, 2013.

De acordo com o Gráfico 2 o Gráfico 4 foi traçado , com isso uma diferença de

temperatura de 45 graus encontrada na presente aplicação, sendo o lado quente 127 e o frio 82, será obtido uma corrente de 0,95 ampere por placa.

A tensão de flutuação de uma bateria é a tensão mínima para carregar a mesma e evitar a auto descarga (CHAGAS, 2007). Partindo deste princípio, a tensão de flutuação é a necessária para o fornecimento energético da bateria.

Para atingir a tensão desejada foi utilizada a combinação de resistores em série, visto que a resultante das fontes ligadas em série é equivalente a soma das tensões geradas em cada fonte individual (ALVES, 1999).

Conforme definido no dimensionamento da bateria, a tensão de flutuação está entre 13,5 a 13,8 volts, e a tensão por placa calculada pela equação 7, sendo $V_0 = 1,386 \text{ V}$ permite saber a quantidade de placas para atender a demanda do sistema, sendo ela:

$$\text{Total de placas} = \frac{13,50}{1,38}$$

Total de placas = 9,75 placas termoelétricas.

Conforme calculado, a necessidade energética para o funcionamento do sistema são 10 placas de peltier tipo TEG SP 184827145.

5.9 TESTES

Inicialmente o protótipo foi submetido a testes, a fim de constatar a veracidade das dimensões e especificações calculadas. Para melhor exemplificação do sistema, o mesmo foi dividido em partes para ser testado, sendo exemplificados e ilustrados conforme a seguir.

5.9.1 Geração energética

Os testes relacionados à parte energética objetivaram constatar a temperatura ideal para fixação das placas, a melhor ligação entre elas, tendo em vista o reaproveitamento energético e necessidades do sistema.

5.9.2 Melhor tipo de combinação de resistores.

Conforme abordado no referencial teórico existem dois tipos de combinação de resistores, sendo as elas: combinação em série e combinação em paralelo, sendo

assim foram realizados testes com os as duas situações possíveis.

5.9.2.1 Teste com combinação de resistores em série.

Partindo do princípio de segurança abordado no teste anterior, foram fixadas dez placas de Peltier ligadas em série separados por uma cerâmica do bojo da churrasqueira. Após estabilização de temperatura, em 45 graus de variação entre os lados da placa, com o auxílio de um multímetro, foram realizadas medições de tensão, conforme a Figura 26.

Figura 26: Medição de tensão da combinação de resistores em série.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 26 registra a medição de tensão da fonte energética do sistema, sendo coletadas 13,78 V. Posteriormente foram medidas informações de corrente conforme

Figura 27.

Figura 27: Medição de corrente da combinação de resistores em série.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se na Figura 27 o registro de 0,907 A. Conforme retratadas nas Figuras 26 e 27 os valores mensurados de tensão e corrente obtidos da ligação em série são respectivamente: 13,78 volts e 0,90 amperes.

5.9.2.2 Teste com combinação de resistores em paralelo.

Posteriormente ao teste das placas ligadas em série, foram efetuados os testes das placas ligadas em paralelo, seguindo exatamente os mesmos procedimentos e mantendo as mesmas condições de teste com relação à anterior.

Conforme Figura 28 podem-se verificar os resultados obtidos para os testes de tensão da combinação de resistores em paralelo, a fim de constatar a melhor aplicabilidade da combinação de resistores em série, anteriormente dimensionados e verificados.

Figura 28: Medição de tensão da combinação de resistores em paralelo.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 28 registrou 1,388 V na medição da fonte energética, sendo estas as dez placas de Peltier. Conforme mensurado a tensão, a corrente também foi medida conforme Figura 29.

Figura 29: Medição de corrente da combinação de resistores em paralelo



Fonte: Autoria própria.

A Figura 29 registrou a na medição de corrente contínua 9,01 A, relacionados a geração energética das placas termoeletricas. Conforme retratadas nas Figuras 28 e

29 os valores mensurados de tensão e corrente obtidos da ligação em paralelo são respectivamente: 1,38 volts e 9,01 amperes.

Sabendo que a tensão mínima para recarregar a bateria é a tensão de flutuação da mesma estando entre 13,5 a 13,8, foi provado por cálculos e comprovado através de testes que o sistema de combinação de resistores em série é mais viável para presente aplicação.

5.10 AUTONOMIA DO PROTÓTIPO.

Conforme todos os padrões de operação dimensionados anteriormente o protótipo foi testado, e obtido os seguintes resultados:

- Tensão: foram obtidos 13,78 V com as 10 placas ligadas em série, atendendo as expectativas do dimensionamento de placas.

Sabendo que a tensão de flutuação da bateria é de 13,5 V a 13,8 V a tensão obtida é a suficiente para recarregar a bateria sem danificá-la quando a carga máxima estiver completada, tendo em vista que a tensão de operação está dentro da tensão de flutuação.

- Corrente: Foram obtidos 0,90 A.

Conforme manual técnico da bateria o ideal para carregamento seria a decima parte da corrente disponibilizada pela mesma (Moura, 2017).

Visto que a bateria disponibiliza 7 Ah o ideal para carregamento seria 0,7 A, entretanto a presente carga também é capaz de recarregá-la, demandando menos tempo.

Sabendo que a bateria é alimentada por 0,90 A, sua carga completa se dará de acordo com a Equação 18 (Saad, 2012).

$$Tr = \frac{cb}{i} \quad (18)$$

$$Tr = \frac{7 [Ah]}{0,90[A]}$$

$Tr = 7,77 h$ para realizar uma carga completa na bateria.

Para fins de comparação, foi dimensionado o tempo de duração da carga na bateria, levando em consideração a demanda energética do motor, sendo 0,083 Ah calculado anteriormente. Conforme Equação 19 (Saad, 2012).

$$Tc = \frac{Cb}{i} \quad (19)$$

$$T_c = \frac{7[\text{Ah}]}{0,083[\text{A}]}$$

$T_c = 84,33$ h para descarregar completamente a bateria.

Na prática as baterias usam 75% de sua capacidade máxima (Moura, 2017), então:

$T = 63$ h para descarregar totalmente a bateria

Analisando as fontes energéticas de entrada e saída da bateria é notório que existe uma maior quantidade de energia entrando no sistema comparado a perda, e antes que a bateria possa ser descarregada a fonte disponível pelas placas termoelétricas consegue recarrega-la, comprovando a autonomia e viabilidade técnica do sistema dimensionado.

5.11 DURABILIDADE

Com o uso, todos os equipamentos e máquinas sofrem desgastes naturais, porém boas práticas de utilização maximizam sua vida útil (EngProcess, 2018). Com o presente experimento não é diferente.

Se tratando de um produto inovador e a variedade de itens utilizados para construção do mesmo, surge à dificuldade para estimar uma durabilidade geral para todo equipamento, sendo assim para tal estimativa os itens foram analisados de forma separada, possibilitando posteriormente uma conclusão sobre a durabilidade do equipamento em geral.

- Os elementos mecânicos de transmissão têm a durabilidade equivalente à no mínimo dez anos, devido à baixa rotação e ausência de força aplicada entre ambas as partes, visto que os espetos são sustentados por suportes com rolamentos.
- Já as placas de Peltier, conforme fabricante tem uma vida útil de aproximadamente de sete anos, podendo ser substituída facilmente pela sua localização externa.
- O motor de dimensionado, na ausência de curto circuito, chega facilmente a quinze anos de vida útil (K.TécnoLogia., 2018).
- A bateria dimensionada pode chegar a cinco anos de utilidade eficiente (Schneider Electric Brasil, 2016).

No geral por volta de cinco anos de uso existirá a necessidade de substituir a bateria, porém analisando a durabilidade de cada item presente no protótipo, pode-se chegar a uma média de utilização eficiente de dez anos, estando em paridade com a

durabilidade das churrasqueiras convencionais com motor elétrico 127 V.

5.12 ORÇAMENTO DO PROTÓTIPO DE TESTE.

Para determinação do valor total de custo do protótipo foi levado em consideração todos os itens utilizados na fabricação das peças e montagem e acabamento do protótipo. Para maior facilidade de entendimento os itens utilizados juntamente com seus custos unitários e totais estão representados na Tabela 2 disposta abaixo.

Tabela 2: Custo total do protótipo

ITENS DO PROTÓTIPO	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR POR ÍTEN (R\$)
PLACA DE PELTIER	10	9,9	99
BARRA ROSCADA	1	12,5	12,5
BATERIA 12 V	1	65	65
CHAPA INOX 1 mm	1	10	10
ESPETO	1	15	15
MOTOR	1	36	36
ROLAMENTO SIMPLES	2	7	14
DIODO	1	3,5	3,5
ROSCA SEM FIM	1	9,9	9,9
CUSTO TOTAL DO PROTÓTIPO (R\$)			264,9

Fonte: Autoria própria.

Conforme apresentado na Tabela 2, o custo total para a construção do protótipo de teste foi de 264,90 reais, sendo os valores referentes aos itens utilizados na construção, sem a mão de obra e custos de fabricação não estão inclusos na tabela.

6 CONCLUSÃO

Conforme objetivado, a avaliação dos efeitos termoelétricos possibilitou a construção metodológica e física de um sistema energeticamente independente, através do reaproveitamento energia térmica presente na churrasqueira pelo efeito Seebeck, a fim de rotacionar um espeto. Uma observação de extrema importância é referente ao princípio de Peltier, que utiliza energia elétrica para obtenção de variação térmica, tendo ele eficiência superior ao efeito seebeck, que utiliza variação de energia térmica para obtenção de energia elétrica, limitando seu uso. A adaptação da fonte energética ao motor de corrente contínua foi realizada com êxito utilizando uma bateria de chumbo-ácido, estabilizando a tensão e estocando energia, enquanto a adaptação dos componentes mecânicos foi realizada após o dimensionamento dos mesmos.

Finalizada sua montagem, o protótipo foi submetido a testes visando à comprovação de sua funcionalidade. Os testes iniciais foram direcionados à comprovação da combinação de resistores mais eficiente, que na atual aplicação foi a ligação em série, oferecendo tensão suficiente para atender a bateria. Posteriormente a medição da tensão e corrente foi comprovada a suficiência energética do sistema com dez placas de peltier do tipo TEG SP 184827145, com capacidade de torque suficiente para rotacionar três espetos limitados a dois quilogramas cada.

Em análise de todos os resultados esperados e obtidos e as dificuldades de projeto conclui-se que o protótipo obteve êxito em seu funcionamento, visto que o mesmo correspondeu às expectativas de projeto, rotacionando um espeto em uma churrasqueira, utilizando como fonte a energia térmica disponível pela mesma.

REFERÊNCIAS

Academia de Ciências da Republica Checa. (28 de Novembro de 2018). **Thermoelectric effect**. Acesso em 15 de Setembro de 2018, disponível em Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences: <https://www.fzu.cz/en/oddeleni/department-of-magnetics-and-superconductors/vyzkumna-temata/thermoelectric-effect>

Almacinha, J. A. (2016). **Redutor de parafuso sem fim / roda de coroa**. Universidade do Porto.

ALMEIDA, A. G. (2013). **ADEGA CLIMATIZADA PARA VINHOS**. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA- UniCEUB, Curso De Engenharia De Computação.

ALVES, M. F. (Fevereiro de 1999). **ABC DOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS EM CORRENTE CONTÍNUA**. Instituto Superior de engenharia, Porto, Portugal.

Alves, S. R. (2009). **Protótipo de um microgerador termoelétrico estado sólido: Cogeração a gás**. UFRGN, 18.

Ando Junior, A. L. (2016). **Use of the Seebeck Effect for Energy Harvesting**.

Audiffred, D. B. (2015). **UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS TERMOELÉTRICOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**. Joinville.

Barão, V. (2004). **Desequilíbrio nos custos preocupa fabricante de churrasqueiras**. Londrina.

Barroso-Krause, C., & Souza, M. R. (s.d.). **O homem e suas necessidades**. FAU / UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

Baumgart, P. D. (2017). **Charge Transport in Coordination Network Materials: Theoretical**. Frank Batten College of, 73.

BHEEMIREDDY, R. (2014). **Body Heat Powered Flashlight Using LTC3108**. international Journal of Engineering research and applications. 4. 94-97.

Bocchi, N., Ferracin, L. C., & Biaggio, S. R. (2000). **Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental**. Química e Sociedade, 7.

CAMARGO, J. R., & OLIVEIRA, M. C. (2011). **APLICAÇÃO DE MÓDULOS TERMOELÉTRICOS PARA CONDICIONAMENTO DE AR**. UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ (UNITAU).

CARNEIRO, R. L., Molina, J. H., Antoniassi, B., Magdalena, A. G., & Pinto, E. (2017). **Aspectos essenciais das Baterias Chumbo-Ácido e Princípios**. Revista Virtual de Química, 23.

CEPEA-USP. (26 de Fevereiro de 2018). **A IMPORTÂNCIA DO BRASIL NA PRODUÇÃO MUNDIAL DE CARNE BOVINA**. Piracicaba, São Paulo, Brasil.

CHAGAS, M. W. (2007). **NOVAS TECNOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO**. Curitiba, Paraná, Brasil.

COSTA, S. I. (OUTUBRO de 2013). **Ensino de Física e Química no 3º Ciclo do Ensino Básico e no. Relatório de estágio para obtenção do grau de Mestre.**, p. 64.

Dall'Agnol, A., Niencheski, H. Z., Kraemer, K., & Tatsch, D. M. (2009). **GELADEIRA PELTIER**. UFRGS, 23.

DANVIC. (2018). **Introdução ao efeito peltier**. Acesso em 20 de Julho de 2018, disponível em: <http://www.peltier.com.br/>

Data sheet Pololu. (maio de 2018). **Polulo micro metal gearmotors**. Acesso em 25 de Agosto de 2018, disponível em: <https://www.pololu.com/file/0J1487/pololu-micro-metal-garmotors.pdf>

DEBORTOLLI, M. A. (2016). **Estudo da utilização das células de Peltier com rastreamento de máxima potência para geração de energia elétrica**. Universidade do estado de Santa Catarina, Santa Catarina.

Dias, M. C., Stumpf, H. O., Sansiviero, M. T., & Pernaut., J. M. (26 de Março de 2007). **PROPRIEDADES ELÉTRICAS E MAGNÉTICAS DE NOVOS COMPOSTOS COM O ÂNION CONDUTOR**. p. 5.

Donoso, P. D. (2015). **Calor, energia e transferência de calor**. São Paulo: USP.

Editora porto. (16 de Outubro de 2018). **bateria (eletricidade)**. Acesso em 15 de Outubro de 2018, disponível em Como referenciar: bateria (eletricidade) in Artigos de apoio Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2018.[www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$bateria-\(eletricidade\)](http://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$bateria-(eletricidade))

EngProcess. (31 de Março de 2018). **Vida útil de equipamentos da sua empresa**. São Paulo, Campinas, Brasil.

FERNANDES, A. E. (2012). **Conversão de energia com células de Peltier**. Tese de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.

GOMES, P. F. (2014). **Cinemática e Dinâmica de Engrenagens**. Universidade de milho, Escola de engenharia.

GOUPIL et all, C. (29 de setembro de 2018). **Thermodynamics of Thermoelectric Phenomena and Applications**. Fonte: Reserarchgate: https://www.researchgate.net/publication/228923842_Thermodynamics_of_Thermoelectric_Phenomena_and_Applications

Junior, P. D. (2002). **Engrenagens cilíndricas de dentes retos**. EM 718-Elementos de maquinas II, 25.

K.Tecnologia., P. F. (05 de Janeiro de 2018). **Motor de HD com Arduino**. Acesso em 20 de Outubro de 2018, disponível em Fernando K.: <https://www.fernandok.com/2018/01/motor-de-hd-com-arduino.html>

Kakimoto, L. C. (2013). **Efeito Peltier-Seebeck: gerando eletricidade por diferença de temperatura**. São Paulo: Instituto de Física Gleb Wataghin .

Khan Academy. (2018). **Calor e temperatura**. Acesso em Novembro de 25 de 2018, disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/chemistry/thermodynamics-chemistry/internal-energy-sal/a/heat>

Lazzarini, L. E., Pacheco1, F. V., Silva1, S. T., Coelho1, A. D., Medeiros1, A. P., Bertolucci1, S. K., . . . Soare, J. D. (2017). **USO DE DIODOS EMISSORES DE LUZ (LED) NA FISIOLÓGIA DE PLANTAS CULTIVADAS**. Scientia Agraria Paranaensis, 137-144.

LEAF GROUP. (21 de Fevereiro de 2017). **A velocidade correta para um espeto elétrico**. Acesso em 18 de Outubro de 2018, disponível em Ehow brasil: https://www.ehow.com.br/velocidade-correta-espeto-eletrico-info_60386/

Martins, C. (27 de Julho de 2015). **Geração digital, geração net, geração Y:Refletindo sobre a relação entre as juventudes e as tecnologias digitais**. Rio Grande do Sul (PURCRS), Brasil.

MORAN, SHAPIRO, MUNSON, & DEWITT. (2012). Introdução à Engenharia de Sistemas Térmicos. : LTC Livros Técnicos e Científicos.

Moreira, A., Galarce, A. E., Lisbôa, F. C., & Borges, F. T. (2009). **VALIDAÇÃO DE CONCEITO PARA APLICAÇÃO DE UM SISTEMA PORTÁTIL**. UFRGS, 21.

Moura. (2017). **Manual técnico moura**. Acumuladores Moura S.A.

NASA. (15 de Maio de 2009). **Thermoelectric Devices Cool**. Fonte: Power Electronics: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20090039425.pdf>

Pololu Robotics & electronics. (2018). **Pololu**. Acesso em 11 de Junho de 2018, disponível em <https://www.pololu.com/>

Polzine, A., & Schaffer, L. (2013). **Materiais sinterizados para geração de energia elétrica**. 33º SENAFOR, .

ROWE, D. M. (2005). **Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano**. : CRC Press.

Saad, M. d. (2012). **CONTROLADOR DE CARGA E DESCARGA DE BATERIAS, MICROCONTROLADO COM PIC**. PUC, 53.

Santos, I. M. (2007). **Protótipo de uma unidade com tri-geração de energia para utilizações remotas: Aplicação de módulo semicondutivo gerador termoeletrico**. Tese de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande Do Norte, Natal.

SANTOS, L. P. (2010). **ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM GERADOR TERMOELÉTRICO BASEADO NO EFEITO SEEBECK**. UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ, São Paulo.

Schneider Electric Brasil. (20 de Dezembro de 2016). **Especialista global de automação e gerenciamento de energia**. Acesso em 20 de Outubro de 2018, disponível em Blog Schneider Electric Brasil: <https://blog.se.com/br/sem-categoria/2016/12/20/quando-trocar-bateria-do-nobreak/>

Silva, G. M. (2014). **Termopares Dispositivos utilizados para medir temperatura . Setúbal**. ESTSetúbal/IPS.

Strangueto, K. M. (2007). **A Termodinâmica da compressão e expansão dos gases**. UNICAMP, 38.

TEGMART. Devil Watt,2013. **Thermoelectric Modules**. Disponível em <https://www.tegmart.com/thermoelectric-modules/>. Acesso em 18 de junho 2018