

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
MARCOS ROBERTO MARTIM

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE
ENERGIA TÉRMICA-ELÉTRICA COM PLACA *PELTIER*

CASCADEL - PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
MARCOS ROBERTO MARTIM

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE
ENERGIA TÉRMICA-ELÉTRICA COM PLACA *PELTIER*

Projeto de pesquisa apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso - II.

Prof. Orientador: MSc. Helder José Costa Carozzi

CASCADEL – PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
MARCOS ROBERTO MARTIM

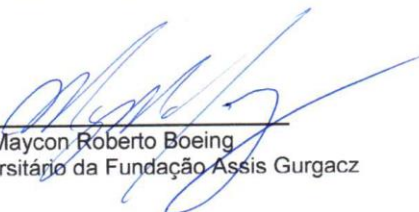
ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA FINANCEIRA DE
APROVEITAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA-ELÉTRICA COM PLACA
PELTIER

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob orientação do Professor Helder José Costa Carozzi.

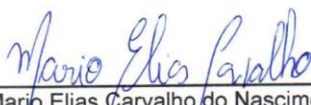
BANCA EXAMINADORA



Helder José Costa Carozzi
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz



Maycon Roberto Boeing
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz



Mario Elias Carvalho do Nascimento
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz

Cascavel, 03 de DECEMBRO de 2018

DEDICATÓRIA

A minha família em especial minha noiva Fernanda, por todo apoio, incentivo, e compreensão de vários momentos que não estive presente junto a ela, por fazer várias vezes o papel de “Pai” dentro de casa, quando eu não estava presente junto a ela e minha filha.

A minha filha Maria Luíza que me perdoe pelos momentos mais essenciais e importantes, nos quais não pude estar presente, como em seus primeiros passos, suas primeiras palavras ditas, em cada descoberta nova que conseguiu fazer e eu não estive presente para desfrutar destes que são os melhores momentos da vida de um pai.

Aos meus pais Antonio e Vilma pelo incentivo, conselhos para não desistir dos sonhos e a cobrança diária para seguir firme conseguindo me formar.

Aos meus irmãos, Andréia, Marcelo e Emilly, por todo apoio que me deram, o que foi de suma importância.

Para meus cunhados Eliano e Djeise, que sempre estavam à disposição para incentivar e ajudar em tudo que fosse preciso, não medindo esforços.

Dedico também para aqueles que duvidavam da minha capacidade, o que me motivou mais ainda para a formação, para provar que sou muito mais capaz do que todos imaginam.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui. A minha família por toda paciência e dedicação contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais fácil e feliz durante esses anos.

Ao professor Hélder José Costa Carozzi, pelas orientações, conselhos e ideias para o desenvolvimento deste trabalho e ao longo do curso.

Meus sinceros agradecimentos a empresa Cerâmica Martins, primeiramente por me proporcionar a trabalhar por mais de seis anos, me liberando todos os dias antes do término do horário para que eu pudesse cursar a faculdade. Agradeço aos proprietários pela compreensão do tempo ausente, e também por deixar realizar o trabalho na empresa.

A instituição Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz por me oferecer os melhores professores e uma das melhores infraestruturas para melhor aprendizado.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.” – Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a aplicação de um sistema geração de energia térmica, diante de um aproveitamento da energia térmica já disponível, proveniente da queima do material cerâmico, para a geração de energia elétrica. Para isso utilizou-se uma placa *Peltier*, que devidamente aproveitada no processo inverso de seu funcionamento, ou seja, ao invés de se aplicar tensão e observar uma diferença de potencial térmico, foi aplicado uma diferença de potencial térmico entre suas superfícies opostas, apresentando em seus terminais uma diferencial de potencial térmico (ddp), ainda sim, garantiu o efeito de *Peltier*, gerando energia elétrica através da térmica. Propôs-se assim uma solução e aplicação viável da utilização da energia térmica que seria desperdiçada para atmosfera, apresentando-se como uma opção barata para a geração de energia elétrica, cujo o aproveitamento seria decidido em termos do modelo de negócio da cerâmica. Os resultados obtidos demonstraram que foi possível a captação da energia térmica já disponível e transformá-la em energia elétrica, porém a eficiência obtida demonstrou, pelo menos em termos da metodologia adotada e do tipo de placa de *Peltier*, que a energia gerada, não foi suficiente, para justificar a implementação de um sistema série-paralelo, a exemplo de células fotovoltaicas, que pudessem viabilizar o investimento nesta modalidade de geração de energia a partir da conversão térmico-elétrico de *Peltier*, haja vista que até mesmo um sistema de baixo consumo, a exemplo de um Light Emitting Diode (LED), não se manteve em condições de operação desejada.

Palavras-Chaves: Placas *Peltier*; Cogeração; Energia Elétrica; Energia Térmica.

ABSTRACT

The work aimed at installing a thermal energy generator, while the voltage energy is already available, while the burning of ceramic material, for a generation of electric power. For that, a control board is used, which is used in the reverse process of its operation ie, instead of applying the voltage and a thermal potential difference, a thermal potential difference between its opposite layers was applied, it is a differential of thermal potential (ddp), yet, guaranteeing the Peltier effect, generating electric energy through thermal. It provides a viable solution and application of the energy of an electric power source, which can be used as an alternative for the generation of electric energy. The results obtained demonstrated a possibility of capturing the existing energy and transformed into electrical energy, but an efficiency obtained, demonstrating, at least in terms of methodology and a type of Peltier board, that the generated energy was not enough , to justify the implementation of a parallel series system, an example of photovoltaic cells, which could make feasible the investment in the modality of generation of energy, from the thermal-electric generation of Peltier, would have seen that even a system of low consumption , an example of a Light Emitting Diode (LED), is not maintained under the desired operating conditions.

Keywords: Peltier Plates; Cogeneration; Electricity; Thermal energy.

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Ampére
Q _k	Calor <i>Thomson</i>
Q _{max}	Carga máxima da pastilha <i>Peltier</i>
σ	Coeficiente <i>Thomson</i>
α	Coeficiente (V/°C)
COPEL	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
I	Corrente elétrica no circuito (A)
I _{max}	Corrente elétrica máxima da pastilha <i>Peltier</i>
ddp	Diferencial de potencial térmico
dT _{max}	Diferença máxima de temperatura
Δt	Diferença de temperatura (°C)
dt/dx	Diferença de temperatura (°C)
fem	Força eletromotriz
q ₀	Junção fria
q ₁	Junção quente
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (“diodo emissor de luz”)
π	Proporção numérica definida pela relação entre o perímetro de uma circunferência e seu diâmetro
Kcal	Quilocaloria
Kg	Quilograma
kWh	QuiloWatt-Hora
R\$	Símbolo da moeda Brasileira
Q _p	Taxa de calor <i>Peltier</i> por unidade de área da junção
Bi ₂ Te ₃	Telureto de bismuto
V _{max}	Tensão elétrica máxima da pastilha <i>Peltier</i>
V _s	Tensão <i>Seebeck</i>
T	Temperatura absoluta (°C)
°C	Temperatura em graus Célsius
T _c	Temperatura lado frio (°C)
T _h	Temperatura lado quente (°C)
V	Volt

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Efeito <i>Seebeck</i>	16
Figura 2.2: Esquema elétrico-térmico do circuito do efeito <i>Peltier</i>	17
Figura 2.3: Fio condutor ligando dois reservatórios térmicos T1 e T2.....	19
Figura 2.4: Esquema de uma pastilha Peltier.....	20
Figura 2.5: Módulo termoeletrico.....	21
Tabela 2.1: Distribuição de Consumo Energético	23
Figura 2.6: Corte transversal do forno, mostrando os diversos elementos constituintes	23
Figura 3.1: Forno utilizado para execução do projeto	24
Figura 3.2: Figura ilustrativa do forno no ponto A.....	25
Figura 3.3: Figura ilustrativa dos pontos B, C e D	26
Figura 3.4: Figura ilustrativa dos pontos E, e F	26
Figura 3.5: Disposição de medição do forno no ponto A. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.	27
Figura 3.6: Disposição de medição do forno no ponto B. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.	29
Figura 3.7: Disposição de medição do forno no ponto C. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.	30
Figura 3.8: Disposição de medição do forno no ponto D. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.	31
Figura 3.9: Disposição de medição do forno no ponto E. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.	32
Figura 3.10: Disposição de medição do forno no ponto F. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.	33
Figura 3.11: Disposição de medição do forno nos pontos G e H. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.....	34
Figura 3.12: Teste de geração de energia somente com a pastilha.....	36
Figura 3.13: Teste de geração de energia com forma sobre a pastilha	37
Figura 3.14: Pastilha e estrutura	38
Figura 3.15: Teste de geração com 56 horas de fogo.....	39
Figura 3.16: Teste de geração com 60 horas de fogo.....	39
Figura 3.17: Teste de geração com 88 horas de fogo. (a) posição com o <i>jumper</i> . (b) posição com a retirada do <i>jumper</i>	40

LISTA DE TABELA

Tabela 2.1: Distribuição de Consumo Energético	23
Tabela 3.1: Tabela de levantamentos de temperatura em C°.	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 EFEITOS TERMOELÉTRICOS	15
2.1.1 Efeito <i>Joule</i>	15
2.1.2 Efeito <i>Seebeck</i>	16
2.1.3 Efeito <i>Peltier</i>	17
2.1.4 Efeito <i>Thomson</i>	19
2.2 PLACA <i>PELTIER</i>	20
2.3 DESCRIÇÕES DA ATIVIDADE INDUSTRIAL CERAMISTA.....	21
2.3.1 Preparação da massa cerâmica.....	21
2.3.2 Moldagem	21
2.3.3 Secagem	22
2.3.4 Queima	22
2.3.5 Forno abóbada.....	23
3 METODOLOGIA.....	24
3.1 MEDIÇÕES DE TEMPERATURA	24
3.1.1 Medição de temperatura no ponto A	27
3.1.2 Medição de temperatura no ponto B	28
3.1.3 Medição de temperatura no ponto C	29
3.1.4 Medição de temperatura no ponto D	30
3.1.5 Medição de temperatura no ponto E	32
3.1.6 Medição de temperatura no ponto F.....	33
3.1.7 Medição de temperaturas nos pontos G, H.....	34
3.2 TESTES REALIZADOS	36
4 RESULTADOS	41
5 DISCUSSÃO	42
6 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

Dentre os insumos mais onerosos nos custos operacionais estão, sem dúvida, o da energia elétrica, que é tão essencial para a manutenção da produção.

A tarifa de energia é o preço cobrado por unidade de energia em R\$/kWh. Em essência, é de se esperar que o preço da energia elétrica seja formado pelos custos desde a geração até a sua disponibilização aos consumidores. É necessário compreender também que a energia elétrica é um bem essencial, o qual não se paga somente pelo consumo propriamente dito, mas também pela sua disponibilidade nas 24 horas do dia. A cada ano que passa a energia elétrica no Paraná tem um reajuste de alteração tarifária, no ano de 2015 segundo a resolução 1858/2015 teve um reajuste de 36,79% sendo o maior de todos os tempos, que aconteceu em março, já na metade do mesmo ano ocorreu um novo reajuste em 15,32% [1].

Em junho de 2017, os industriais paranaenses passaram a pagar uma conta de energia em média 5,62% mais cara. Os reajustes significam que as empresas de transformação tiveram, uma média, 2,63% do faturamento comprometido com contas de energia elétrica [2].

O Brasil é o maior consumidor de energia elétrica da América Latina e o sétimo maior do mundo, isso se deve, especialmente as suas grandes participações de fontes renováveis em sua matriz energética, que se destaca mundialmente.

Os ceramistas se enquadram na geração térmica com combustível responsável sendo a biomassa. A biomassa é obtida através de uma variedade de recursos renováveis, como plantas, resíduos agrícolas, lixo e madeira que é o caso do setor ceramista. A biomassa tem algumas restrições, uma vez feito a queima nos fornos, os quais liberam grande quantidade de energia térmica, que não está sendo aproveitada, a indústria, para o seu processo de funcionamento, contrata uma demanda na concessionária local a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), pois como não se torna viável a migração para o mercado livre de energia, devido ao custo benefício, visto que a energia para indústrias tem um valor diferenciado. Caso seja possível a

utilização de energia térmica na conversão em energia elétrica e garantir o aproveitamento racional para alguma demanda, pode ser que a ideia de utilizar energia térmica em elétrica ao longo prazo pode-se tornar viável. Já que hoje, boa parte das indústrias ceramistas tem resultado operacional que não suporta os 3% de tudo que é comercializado. A conta de energia tem um peso muito grande nas planilhas de custos das indústrias, o que neste momento de crise prejudica ainda mais a competitividade e desfavorece a criação de novos postos de trabalho forma e gerando mais entraves no ambiente interno e na concorrência com os produtos importados.

Visando a uma possível solução do problema no setor ceramista do elevado custo de energia, mesmo que parcial para diminuir os custos em relação à energia elétrica seria alternativo de cogeração de energia que já está disponível no setor, como a energia térmica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EFEITOS TERMOELÉTRICOS

Efeitos termoelétricos estão associados com o fluxo de calor e eletricidade. Um termopar é um transdutor formado simplesmente por dois pedaços de fios de diferentes metais ou ligas, unidos eletricamente apenas em suas extremidades formando duas junções, que apresenta uma corrente elétrica no circuito termoelétrico formado, quando essas junções são submetidas a diferentes temperaturas. Uma dessas junções é denominada junção de medição, sendo submetida a temperatura que se deseja medir. A outra é denominada de junção de referência e é aplicada a uma temperatura conhecida (temperatura de referência) normalmente um banho de gelo [3].

Assim, os efeitos termoelétricos relacionam campos elétricos com gradientes de temperatura, são efeitos de conversão entre energia elétrica e energia térmica (ou vice e versa). Estes pertencem a uma gama de efeitos mais amplo, os efeitos termomagnéticos [4].

Existem três efeitos que formam os efeitos termoelétricos [4]:

- Efeito *Seebeck*, que descreve o surgimento de uma diferença de potencial em resposta a uma diferença de temperatura aplicada no material;
- Efeito *Peltier*, que é o inverso da *Seebeck*, acontece quando há o desenvolvimento de uma diferença de temperatura em função de uma diferença de potencial aplicada;
- Efeito *Thomson*, que descreve praticamente o aquecimento ou resfriamento (incluindo o efeito Joule) de um material com um gradiente de temperatura.

2.1.1 Efeito *Joule*

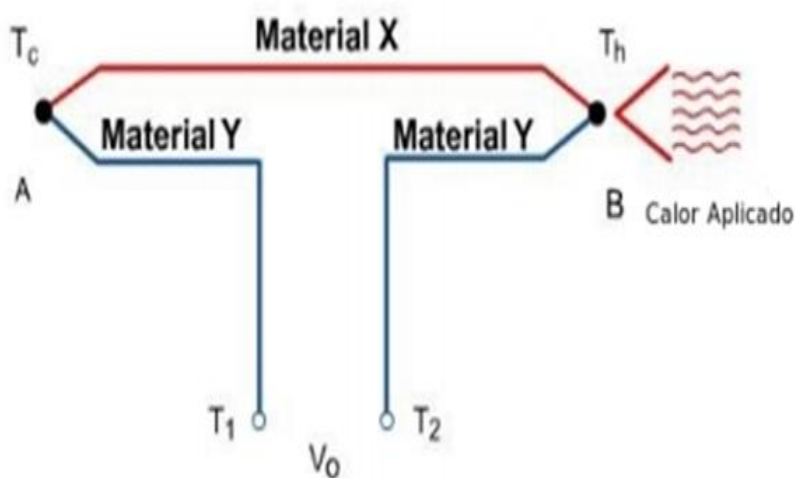
O efeito *Joule* é causado pelo choque dos elétrons livres contra os átomos dos condutores. Ao receberem energia, os átomos vibram mais intensamente. Quanto maior for a vibração dos átomos, maior será a temperatura do condutor. Observando-se então o aquecimento do condutor [5].

O efeito é bastante aplicado nos aquecedores em geral, como chuveiro elétrico, ferro de passar, lâmpadas incandescentes, secador de cabelos, chapinha, torradeira, cafeteiras entre outros.

2.1.2 Efeito Seebeck

Em 1821, *Thomas Seebeck* descobriu a existência de correntes termoeletricas enquanto observava efeitos eletromagnéticos associados com circuitos de bismuto/cobre e bismuto/antimônio. Seus experimentos mostraram que, quando as junções de dois metais diferentes formando um circuito fechado são expostas a temperaturas diferentes, uma força eletromotriz (fem) térmica é gerada, induzindo o aparecimento de uma corrente elétrica contínua nessa malha, conforme pode ser observado na Figura 2.1 [3].

Figura 2.1: Efeito Seebeck



Fonte: [3]

O efeito *Seebeck* está relacionado à conversão de energia térmica em energia elétrica com o aparecimento de uma corrente elétrica na malha. Nesse efeito, se dois materiais metálicos conectados por junções, de modo que estas junções mantidas a temperaturas diferentes T_h e T_c , e que T_h seja maior que T_c , os metais são capazes de produzir uma tensão. Para que ocorra o efeito *Seebeck*, os metais devem estar em uma diferença de temperatura (Δt). Para o cálculo de tensão *Seebeck* (v_s) é dada uma relação em que $T_h - T_c$ é o

gradiente de temperatura entre as junções localizadas nos lados opostos do material, a Equação 2.1 mostra a fórmula para o cálculo [6].

$$V_s = \alpha (T_h - T_c) \quad (2.1)$$

Em que:

V_s – Tensão *Seebeck*

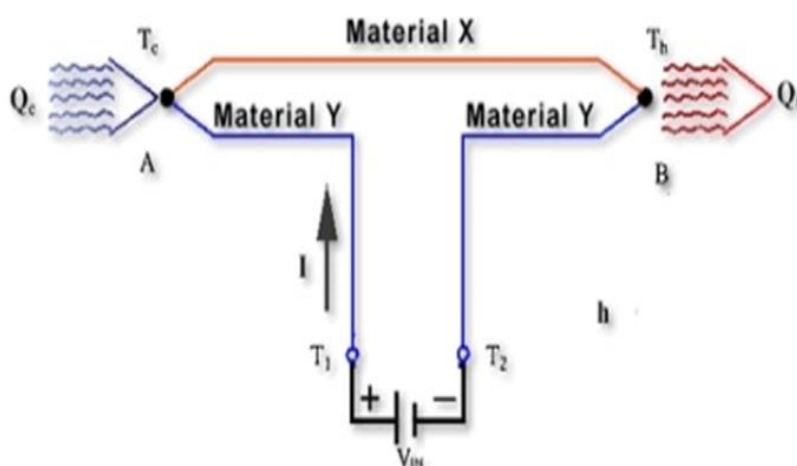
α – Coeficiente de *Seebeck*

$T_h - T_c$ – Diferença de temperatura

2.1.3 Efeito *Peltier*

Jean Peltier, em 1834 descobriu efeitos termoelétricos peculiares quando introduziu pequenas correntes elétricas externas em um termopar de bismuto-antimônio de *Seebeck*. Seus experimentos mostraram que, quando uma pequena corrente elétrica atravessa a junção de dois metais diferentes em uma direção, a junção se resfria, absorvendo calor do meio em que encontra, como mostrado na Figura 2.2 [3].

Figura 2.2: Esquema elétrico-térmico do circuito do efeito *Peltier*



Fonte: [3]

Quando a direção da corrente é revertida, a junção se aquece, aquecendo o meio em que se encontra. O efeito *Peltier* está relacionado à

emissão ou absorção de calor reversível que normalmente está presente quando uma corrente elétrica atravessa a junção entre dois metais diferentes. Esse efeito está presente tanto quando a corrente é introduzida por um circuito externo, quanto no momento em que é gerada pelo próprio termopar. Acreditava-se que o calor gerado fosse proporcional à corrente elétrica, sendo escrito como a Equação 2.2 [3].

$$Q_p = \pm \pi I = \pm \alpha T I \quad (2.2)$$

Em que:

Q_p – Taxa de calor *Peltier* por unidade de área da junção (W/m²)

α – Coeficiente *Seebeck* (V/ °C)

T – Temperatura absoluta (°C)

I – Corrente elétrica no circuito (A)

Se o calor é absorvido, a quantidade Q_p é positiva.

A junção quente absorve:

$$q_1 = \alpha T I \quad (5.3)$$

Já a junção fria dissipa:

$$q_0 = \alpha T I \quad (5.4)$$

Por sua vez, quando o calor é dissipado pelo sistema, Q_p torna-se negativo, e o processo se dá de forma inversa, ou seja, a junção quente dissipa, enquanto a junção fria absorve [7].

As placas *Peltier* são formados por materiais semicondutores do tipo p e tipo n, onde circula uma corrente contínua, interligados por condutores de cobre, e revestidos com metais dos tipos cerâmicos.

O calor *Peltier* é reversível. Quando se inverte o sentido da corrente, permanecendo constante o seu valor, o calor é o mesmo, porém o sentido é oposto [7].

2.1.4 Efeito *Thomson*

Coube a *Thomson* tentar provar que α e π estão relacionados através da temperatura absoluta. *Thomson* chegou à notável conclusão que uma corrente elétrica produz diferentes efeitos térmicos, dependendo do sentido de sua passagem do ponto quente para o ponto frio ou do frio para o quente, em um mesmo metal [3].

O efeito é observado quando há corrente elétrica através de um condutor associado a um gradiente de temperatura: calor pode ser absorvido ou rejeitado de forma proporcional à corrente elétrica e ao gradiente de temperatura. Tal conceito exemplifica-se na Equação 2.3.

$$Q_k = \sigma I \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

Em que:

Q_k – Calor *Thomson*

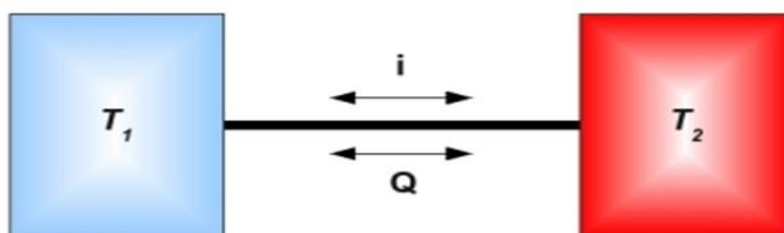
σ – Coeficiente *Thomson*

I – Corrente elétrica no circuito (A)

dT/dx – Diferença de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Mais tarde *Thomson* conseguiu demonstrar indiretamente a existência da voltagem *Thomson*. Ele aplicou uma corrente elétrica externa em um circuito fechado, formado por um único condutor homogêneo, submetido a um gradiente de temperatura e percebeu que o calor produzido por $i^2 R$ aumentava ou diminuía levemente por causa do calor reversível *Thomson* nos sentidos de quente para frio ou de frio para quente, dependendo do sentido da corrente e do metal do condutor [3], exposto na Figura 2.3.

Figura 2.3: Fio condutor ligando dois reservatórios térmicos T_1 e T_2



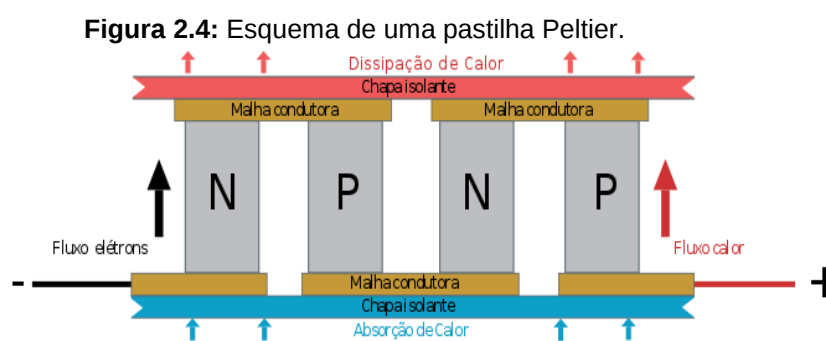
Fonte: [3]

O trabalho realizado será com uma pastilha *Peltier*, porém o método será o de *Thomson*, que é o inverso. As pastilhas são feitas com o propósito de introduzir uma corrente elétrica, e receber calor quente ou frio, por sua vez, o presente trabalho propõe-se ao efeito contrário, introduzindo-se um calor em um dos lados da placa, para conseguir corrente elétrica.

2.2 PLACA PELTIER

As placas *Peltier*, ou pastilhas termoelétricas, são pequenas e robustas, que usam a tecnologia de matéria condensada para operarem como bomba de calor. São de espessuras milimétricas de forma quadrada e achatada assim se dando o nome de pastilha. As placas são constituídas pela junção de dois semicondutores o Bi_2Te_3 (telureto de bismuto), os quais possuem diversos pares do tipo n e p.

Pastilhas operam na teoria de que há um efeito aquecedor ou resfriador, quando uma corrente elétrica passa por dois semicondutores o do tipo n e p, a voltagem aplicada aos pólos de dois materiais distintos cria uma diferença de temperatura, com essa diferença o resfriamento fará o calor mover-se de um lado para o outro [9]. Conforme pode ser observado na Figura 2.4.

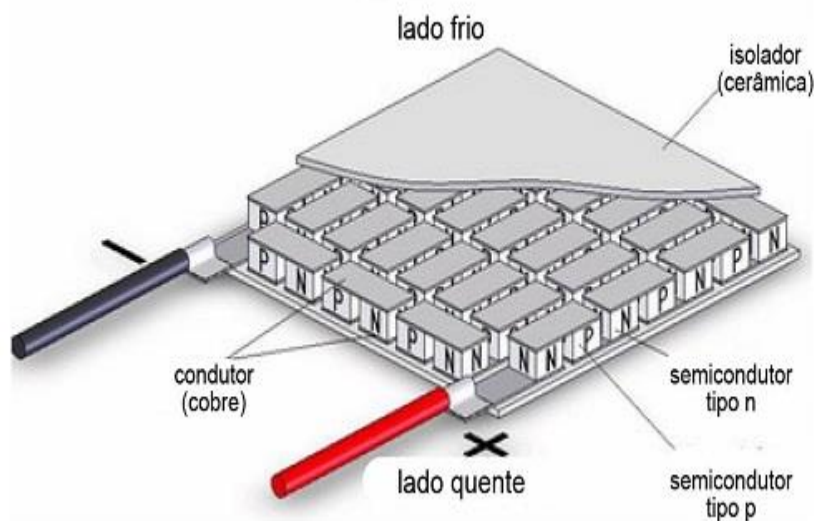


Fonte: [11]

Os semicondutores ficam isolados por duas chapas de cerâmica, eletricamente em série e termicamente em paralelo. Quando a corrente contínua passa pelos pares dos tipos n e p, existe uma redução na temperatura do lado frio, resultando na absorção do calor do ambiente. O calor é transferido

por elétrons até chegar do lado quente, o quais os elétrons movem-se de um estado alto para baixo, conforme Figura 2.5.

Figura 2.5: Módulo termoeétrico



Fonte: [12]

2.3 DESCRIÇÕES DA ATIVIDADE INDUSTRIAL CERAMISTA

2.3.1 Preparação da massa cerâmica

A preparação tem como finalidade proporcionar à argila bruta todas as características necessárias para dar sequência no processo de fabricação que em boas condições, melhora a qualidade final dos produtos. É a fase situada no processo de fabricação entre a extração da matéria-prima e a moldagem.

2.3.2 Moldagem

Com baixo teor de umidade a plasticidade é incompleta, com pouca coesão e quebradiça, dificultando a moldagem, originando produtos defeituosos.

Com o aumento da umidade a plasticidade é melhorada, facilitando a moldagem, porém não deve ultrapassar certos limites. Produtos moldados com elevado teor de umidade apresentam-se moles de difícil manuseio, necessitam

de um tempo mais prolongado de secagem e a retração é muito grande, com prejuízo na secagem e queima.

A técnica de moldagem caminha para a utilização de massas cada vez mais secas, sem prejuízo da plasticidade.

O ar que toda massa cerâmica contém em seu interior próprio ou incorporado durante o processo de preparação, deverá ser extraído.

Com a extração de ar, a massa cerâmica tem seu volume de vazio grandemente diminuído, dando lugar a maior coesão entre as partículas do material, aumentando a plasticidade e fazendo melhorar a moldagem.

2.3.3 Secagem

A água após ter realizado seu papel na moldagem de peças cerâmicas, deve ser removida tanto quanto possível antes da queima, evitando os prejuízos decorrentes de aquecimento brusco.

2.3.4 Queima

Pelo tratamento térmico os produtos cerâmicos sofrem transformações de natureza física e química, adquirindo qualidade e cor definitivas.

Inicialmente o calor do forno tem como objetivo a eliminação desta água que ocorre até 100°C, em períodos de acréscimo suaves de temperaturas, evitando prejuízos da peça pela formação rápida de vapor.

A maioria dos materiais que compõe a massa cerâmica, em particular a argila, contém água de ligação química, que é eliminada em seguida, à medida que a temperatura aumenta entre 400°C e 600°C. Toda matéria orgânica presente é eliminada nessa faixa de temperatura [3].

Em seguida, tem início à decomposição dos carbonatos, o que ocorre entre 800°C e 900°C [10].

Em se tratando de massa para cerâmica vermelha a verificação tem início entre 800°C e 1000°C, dependendo do tipo e teor de fundentes presentes [10].

A Tabela 2.1 mostra a distribuição do consumo energético.

Tabela 2.1: Distribuição de Consumo Energético

Consumo específico	kcal/kg	% Total
Térmico	900-1200	85-90%
Elétrico	110-150	10-15%
Total	1000-1400	

Fonte: [10] Adaptada pelo autor.

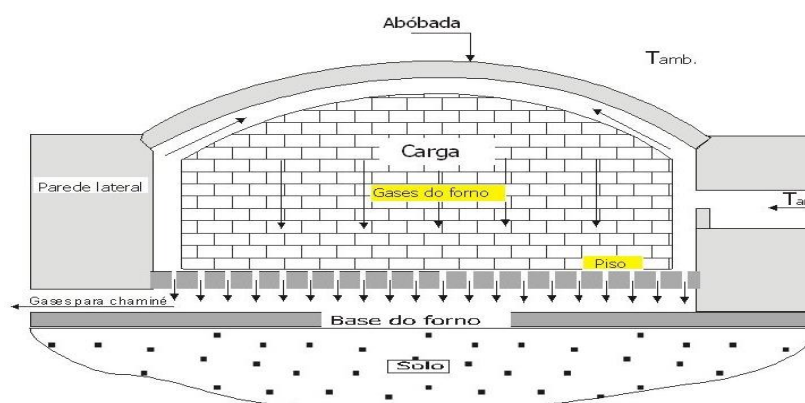
2.3.5 Forno abóbada

Tem como característica ser econômico por adaptar-se bem a qualquer combustível e ser de fácil operação.

O forno abóbada não oferece fogo nas laterais e a velocidade de aquecimento é muito alta, havendo risco de requeima de material e ainda ausência de controle de registros, prejudicando o processo como um todo.

A Figura 2.6, ilustra um forno abóbada, mostrando os diversos elementos constituintes.

Figura 2.6: Corte transversal do forno, mostrando os diversos elementos constituintes



Fonte: [13]

Para conseguir bons resultados é necessário o controle dos registros desde o início do esquentar, garantindo a velocidade de aquecimento, mantendo constante a alimentação das fornalhas e verificando periodicamente as condições dos crivos e das fornalhas.

3 METODOLOGIA

O estudo do projeto aconteceu na empresa Cerâmica Martins Ltda, na localidade de Arroio Guaçu, cidade de Mercedes, Estado do Paraná. A Cerâmica possui sete fornos acoplados em quatro chaminés entre eles, os fornos são do tipo abóboda e têm como característica adaptar-se bem à qualquer combustível sendo de fácil operação.

3.1 MEDIÇÕES DE TEMPERATURA

As medições de temperaturas no forno e na chaminé aconteceram no forno número 7, conforme a Figura 3.1, com o termômetro infravermelho da marca Minipa modelo MT-320^a que mede uma temperatura de -50°C até 580°C.

A dimensão do forno é de 7,5 metros de comprimento, 3,70 metros de largura e 2,80 metros de altura.

Figura 3.1: Forno utilizado para execução do projeto



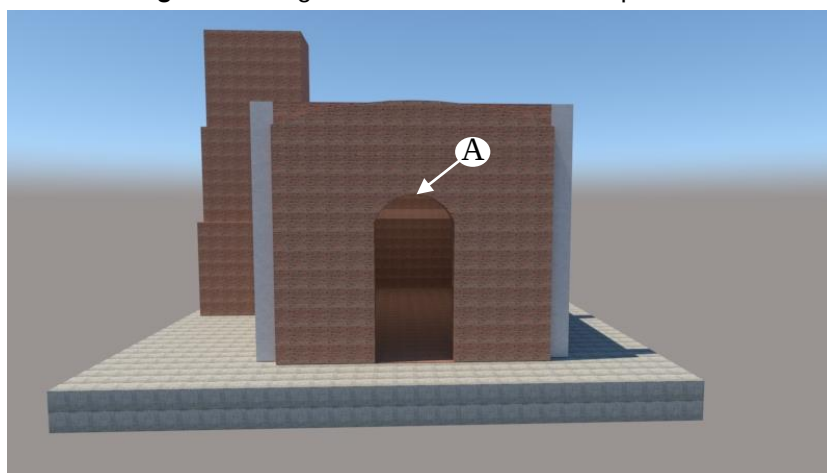
Fonte: Autor (2018).

O forno foi todo redesenhado, usando o programa SketchUp modelo estudante, para melhor compreensão do formato do forno e dos seis pontos que foram realizadas as medições.

As medições foram realizadas entre os dias 20 e 24 do mês de agosto de 2018, tendo sido observada a temperatura em seis pontos específicos.

O ponto A foi na porta do forno, pelo qual o forno é preenchido internamente por tijolos e após o término, a porta é feita com tijolos de seis furos e não maciços dependendo do forno, como mostra a Figura 3.2, sendo parte superior do forno.

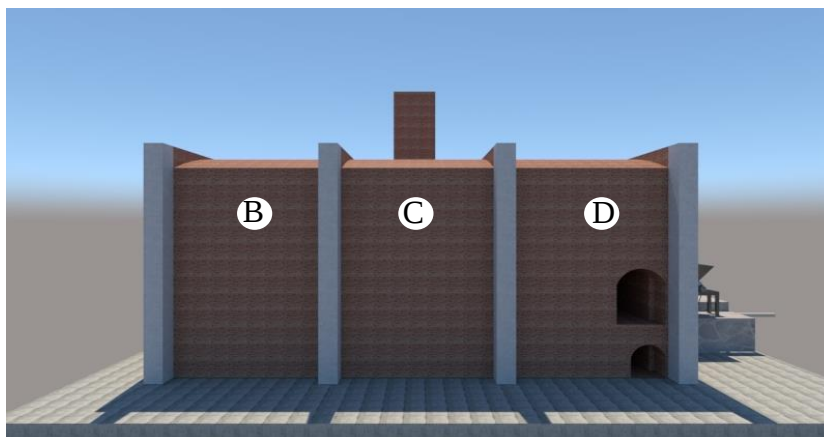
Figura 3.2: Figura ilustrativa do forno no ponto A



Fonte: Autor (2018).

Os pontos B, C, D foram na extremidade da lateral do forno, sendo o ponto B na extremidade da lateral do forno de canto com a porta do forno. O ponto C se deu exatamente no meio da lateral do forno, já o ponto D se localizava na outra extremidade da lateral do forno, exatamente em cima da fomalha. Para melhor entendimento, a Figura 3.3, mostra uma ilustrativa do forno.

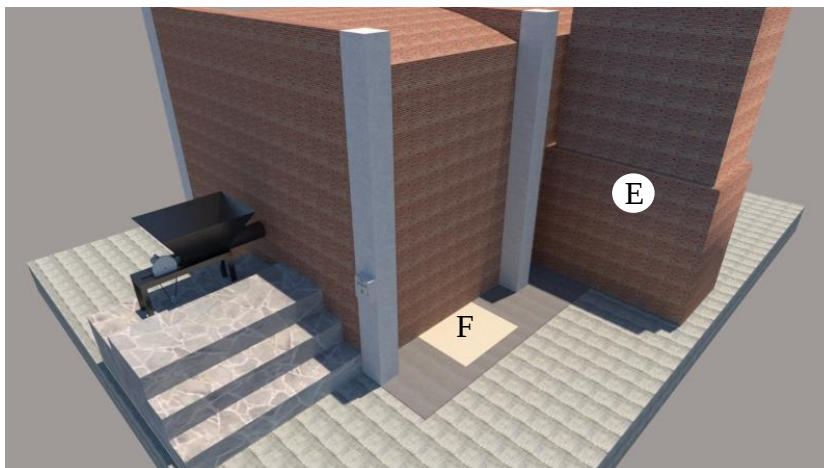
Figura 3.3: Figura ilustrativa dos pontos B, C e D



Fonte: Autor (2018).

O ponto E, F se localiza do outro lado do forno, sendo que o ponto E fica na chaminé do forno em uma altura de 1,5 metro, já o ponto F se localiza no tampão de fechamento dos gases para que sejam evacuados para a chaminé. A Figura 3.4, mostra uma ilustrativa do forno e seus respectivos pontos de medição de temperatura.

Figura 3.4: Figura ilustrativa dos pontos E, e F



Fonte: Autor (2018).

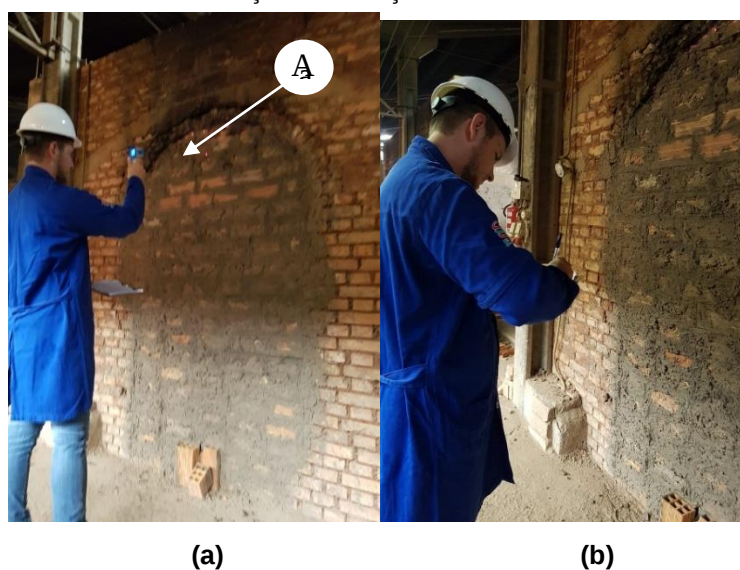
As temperaturas internas do forno, são medidas na parte superior e inferior, sendo denominada G, H.

3.1.1 Medição de temperatura no ponto A

No ponto A, conforme a Figura 3.5, as medições de temperatura começaram com seis horas e trinta e cinco minutos de fogo, obtendo-se uma temperatura de $51,5^{\circ}\text{C}$, enquanto isso a temperatura interna no ponto G estava 108°C e no ponto H estava 59°C . Com vinte e três horas e trinta minutos de queima a temperatura no ponto elevou-se para $102,4^{\circ}\text{C}$ e no ponto G para 237°C e no H para 65°C . Após um dia e quatro horas de queima no forno a temperatura estava a $125,6^{\circ}\text{C}$, no ponto G estava em 248°C e no H a 73°C . Em um dia e oito horas a temperatura no ponto A estava com 167°C , já a temperatura no ponto G foi pra 276°C e no H para 76°C .

Em dois dias de fogo a temperatura estava 171°C , já no ponto G que é a parte superior estava em 339°C e na parte H que é a inferior estava em 116°C . Após três horas do segundo dia de fogo a temperatura no ponto G, subiu para 174°C , no ponto G em 373°C e no H em 159°C . Em dois dias e oito horas a temperatura no ponto A aumentou para $210,7^{\circ}\text{C}$, no ponto G para 401°C e no H para 187°C . Com três dias e oito horas de fogo se inicia a queima do material cerâmico o tijolo, a temperatura que se constatou no ponto A foi de até $369,2^{\circ}\text{C}$, no ponto G chegou até 938°C e no H em 625°C .

Figura 3.5: Disposição de medição do forno no ponto A. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.



Fonte: Autor (2018).

Após dezesseis horas de queima dos tijolos, o processo de produção chega ao fim, com o material já queimado, a temperatura começa a cair no ponto G para 212°C e no H para 96°C.

Já o ponto A não é possível fazer a medição, pois após acabar a queima dos tijolos a porta é retirada para o resfriamento deles, tendo em vista que não será possível o aproveitamento do começo ao fim da temperatura do forno, devido ao fato de que a porta do forno é retirada para dar início a um novo processo de queima não conseguiremos ter uma superfície plana, pois toda semana ao menos duas vezes, deve-se tirar e colocar. Como a porta do forno é feito com tijolos furados o seu aquecimento é mais rápido, visto que a espessura é menor, como também seu resfriamento é bem mais rápido do que com tijolos maciços, os quais são usados para construção dos fornos. Assim, nas análises não se usará o ponto A.

3.1.2 Medição de temperatura no ponto B

O ponto B, que está localizado na extremidade da lateral do forno (de canto com a porta), conforme a Figura 3.6 que mostra as leituras e anotações de temperatura no ponto. Assim como o ponto A as medições de temperatura com seis horas e trinta e cinco minutos de fogo, registraram uma temperatura de 20,2°C, enquanto isso a temperatura interna no ponto G estava 108°C e no ponto H estava 59°C. Com vinte e três horas e trinta minutos a temperatura no ponto se elevou para 43,8°C e no ponto G para 237°C e no H para 65°C.

Após um dia e quatro horas de fogo no forno a temperatura estava a 47,2°C, no ponto G estava em 248°C e no H a 73°C. Em um dia e 8 horas a temperatura no ponto B estava com 52,4°C, já a temperatura no ponto G foi pra 276°C e no H para 76°C. Em dois dias de fogo a temperatura estava 67,2°C, já no ponto G, que é a parte superior, estava em 339°C e na parte H, inferior, estava 116°C. Após três horas do segundo dia de fogo a temperatura no ponto subiu para 68,7°C, no ponto G em 373°C e no H em 159°C. Em dois dias e oito horas a temperatura no ponto B aumentou para 79,8°C, no ponto G para 401°C e no H para 187°C.

Figura 3.6: Disposição de medição do forno no ponto B. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.



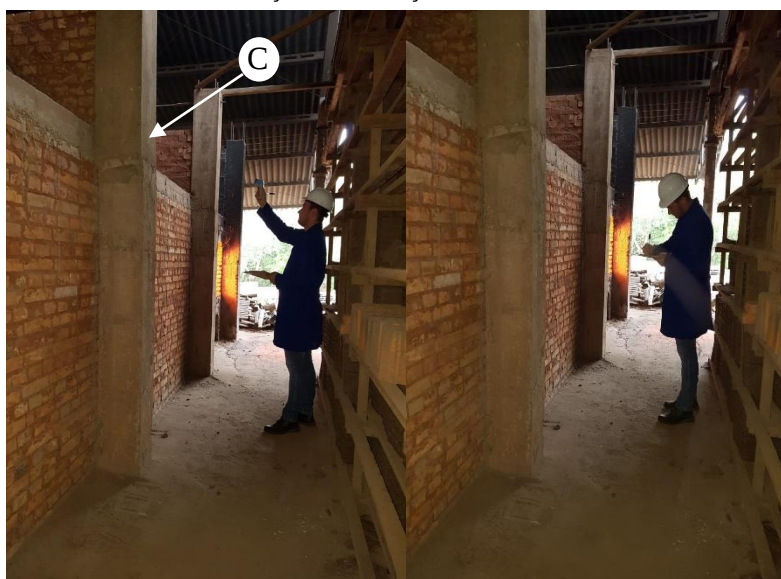
Fonte: Autor (2018).

Com três dias e oito horas de fogo se inicia a queima do material cerâmico o tijolo, a temperatura que chega no ponto B foi de até $137,5^{\circ}\text{C}$ e no ponto G chegou até 938°C e no H em 625°C . Após dezesseis horas de queima dos tijolos, o processo de queima chega ao fim, com o material já queimado, e a temperatura começa a cair nos pontos B, G e H, o ponto B vai para $87,5^{\circ}\text{C}$, G para 212°C e no H para 96°C . Agora nessa etapa de fim de queima a cada hora que se passa, mais a temperatura diminui.

3.1.3 Medição de temperatura no ponto C

O ponto C que foi denominado como sendo no meio da lateral do forno em três metros e 75 centímetros, conforme a Figura 3.7, as medições de temperatura começaram com seis horas e trinta e cinco minutos de fogo, que teve uma temperatura de $20,2^{\circ}\text{C}$, enquanto isso a temperatura interna no ponto G estava 108°C e no ponto H estava 59°C . Com vinte e três horas e trinta minutos a temperatura no ponto se elevou para $45,2^{\circ}\text{C}$, no ponto G para 237°C e no H para 65°C . Após um dia e quatro horas de fogo no forno a temperatura estava a 52°C e no ponto G estava em 248°C e no H a 73°C .

Figura 3.7: Disposição de medição do forno no ponto C. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.



(a)

(b)

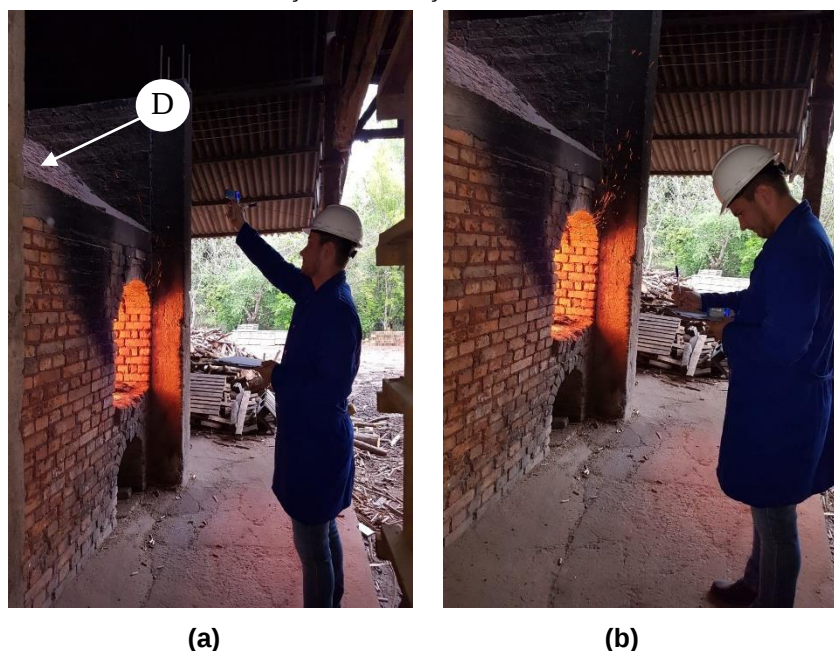
Fonte: Autor (2018).

Em dois dias de fogo a temperatura estava $71,2^{\circ}\text{C}$, já no ponto G que é a parte superior estava em 339°C e na parte H que é a inferior estava 116°C . Após três horas do segundo dia de fogo a temperatura no ponto subiu para $76,6^{\circ}\text{C}$, e no ponto G em 373°C e no H em 159°C . Em dois dias e oito horas a temperatura no ponto C aumentou para $87,1^{\circ}\text{C}$, no ponto G para 401°C e no H para 187°C . Com três dias e oito horas de fogo se inicia a queima do material cerâmico o “tijolo”, a temperatura máxima que atingiu no ponto C foi de até $137,5^{\circ}\text{C}$ e no ponto G chegou até 938°C e no H em 625°C . Após dezesseis horas de queima dos tijolos, o processo chega ao fim, com o material já queimado, e a temperatura começa a cair em todos os pontos, no C a temperatura foi para 81°C , no ponto G para 212°C e no H para 96°C .

3.1.4 Medição de temperatura no ponto D

O ponto D foi determinado como sendo na outra extremidade da lateral do forno, mais especificamente em cima da fornalha, conforme pode ser observado na Figura 3.8.

Figura 3.8: Disposição de medição do forno no ponto D. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.



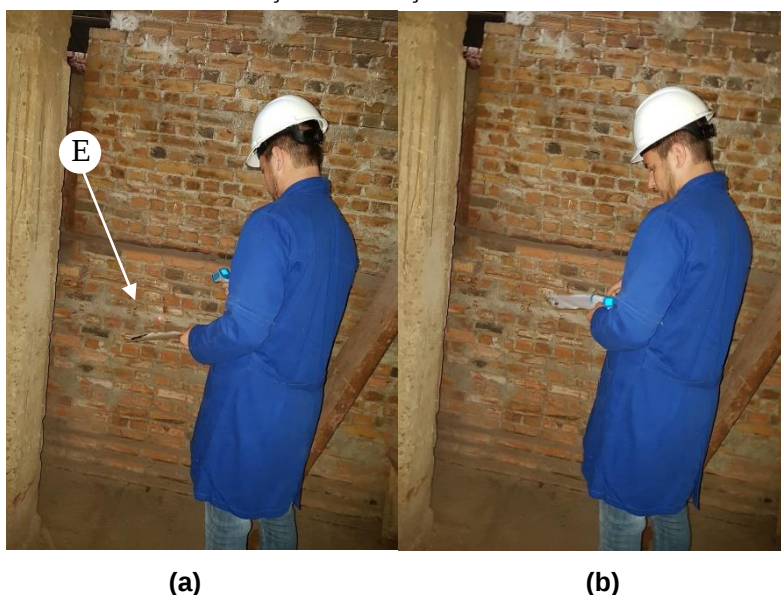
Fonte: Autor (2018).

As medições de temperatura começaram com seis horas e trinta e cinco minutos de fogo, que teve uma temperatura de $21,3^{\circ}\text{C}$, enquanto isso a temperatura interna no ponto G estava 108°C e no ponto H estava 59°C . Com vinte e três horas e trinta minutos a temperatura no ponto estava $47,1^{\circ}\text{C}$, no ponto G para 237°C e no H para 65°C . Após um dia e quatro horas de fogo no forno a temperatura estava a $53,2^{\circ}\text{C}$, no ponto G estava em 248°C e no H a 73°C . Em um dia e oito horas a temperatura no ponto D estava com $56,8^{\circ}\text{C}$, já a temperatura no ponto G foi pra 276°C e no H para 76°C . Em dois dias de fogo a temperatura estava $86,6^{\circ}\text{C}$, já no ponto G, que é a parte superior, estava em 339°C e na parte H que é a inferior estava 116°C . Após três horas do segundo dia de fogo a temperatura no ponto D aumentou para $88,88^{\circ}\text{C}$, no ponto G em 373°C e no H em 159°C . Em dois dias e oito horas a temperatura no ponto D aumentou para 122°C , no ponto G para 401°C e no H para 187°C . Com três dias e oito horas de fogo se inicia a queima do material cerâmico o “tijolo”, a temperatura máxima que atingiu no ponto D foi de até $140,7^{\circ}\text{C}$ e no ponto G chegou até 938°C e no H em 625°C . Após dezesseis horas de queima dos tijolos, o processo chega ao fim, com o material já queimado e a temperatura nos pontos diminui, no ponto D caiu para $91,5^{\circ}\text{C}$, no ponto G para 212°C e no H para 96°C .

3.1.5 Medição de temperatura no ponto E

O ponto E foi determinado como sendo a chaminé do forno numa altura de 1,5 metro, conforme pode ser visto na Figura 3.9. As medições de temperatura começaram com seis horas e trinta e cinco minutos de fogo, que teve uma temperatura de 25,9°C, enquanto isso a temperatura interna no ponto G estava 108°C e no ponto H estava 59°C. Com vinte e três horas e trinta minutos a temperatura no ponto estava 20,7 °C e no ponto G para 237°C e no H para 65°C. Após um dia e quatro horas de fogo no forno a temperatura estava a 21,1°C, no ponto G estava em 248 °C e no H a 73 °C. Em um dia e oito horas a temperatura no ponto E estava com 23°C, já no ponto G foi pra 276°C e no H para 76°C. Em dois dias de fogo a temperatura estava 29,7 °C, já no ponto G, que é a parte superior, estava em 339 °C e na parte H, inferior, estava 116°C. Após três horas do segundo dia de fogo a temperatura no ponto caiu para 28,3°C, nos demais pontos subiu, no ponto G em 373°C e no H em 159°C. Em dois dias e oito horas a temperatura no ponto E aumentou para 28,5°C, no ponto G para 401°C e no H para 187°C.

Figura 3.9: Disposição de medição do forno no ponto E. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.



Fonte: Autor (2018).

Com três dias e oito horas de fogo se inicia a queima do material cerâmico “tijolo”, a temperatura que atingiu no ponto E foi de até 55,9°C, no

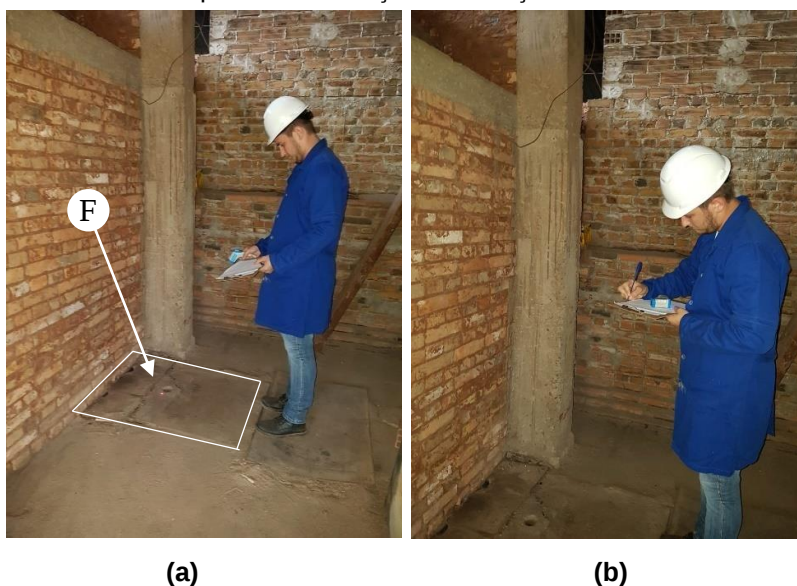
ponto G chegou até 938°C e no H em 625°C. Após dezesseis horas de queima dos tijolos, o processo chega ao fim, com o material já queimado a temperatura no ponto D aumentou para 62,2°C, e nos demais pontos caiu, no ponto G para 212°C e no H para 96°C.

No ponto E as temperaturas variam muito, o seu ponto máximo de temperatura foi quando a queima dos tijolos chegou ao fim, quando então é colocado o resfriador e a temperatura aumenta devido à vazão do calor retirado à força pela chaminé, sendo assim não atingindo as temperaturas em relação e tempo necessário para uma utilização mais adequada da placa.

3.1.6 Medição de temperatura no ponto F

No ponto F que foi determinado como sendo o tampão de fechamento onde os gases se evacuam para a chaminé, conforme na Figura 3.10. Teve início como os demais as medições de temperatura começou as seis horas e trinta e cinco minutos de fogo, que teve uma temperatura de 24°C, enquanto isso a temperatura interna no ponto G estava 108°C e no ponto H estava 59°C. Com vinte e três horas e trinta minutos a temperatura no ponto estava 34,2°C, no ponto G 237°C e no H 65 °C.

Figura 3.10: Disposição de medição do forno no ponto F. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.



Fonte: Autor (2018).

Após um dia e quatro horas de fogo no forno a temperatura estava a 37,6°C, no ponto G estava em 248°C e no H a 73°C. Em um dia e oito horas a temperatura no ponto F estava com 40,5°C, já a temperatura no ponto G foi pra 276°C e no H para 76 °C. Em dois dias de fogo a temperatura estava 38,1°C, já no ponto G, que é a parte superior, estava em 339°C, na parte H a inferior estava 116°C. Após três horas do segundo dia de fogo a temperatura no ponto caiu para 37,8°C, nos demais pontos subiu no ponto G em 373°C e no H em 159°C. Em dois dias e oito horas a temperatura no ponto F aumentou para 46,3°C, no ponto G para 401°C e no H para 187°C. Com três dias e oito horas de fogo se inicia a queima do material cerâmico o “tijolo”, a temperatura que atingiu no ponto F foi de até 166,9°C, naquele momento e no ponto G chegou até 938°C e no H em 625°C. Após dezesseis horas de queima dos tijolos, o processo de queima chega ao fim, com o material já queimado a temperatura no ponto D aumentou para 70,1°C, e nos demais pontos caiu, no ponto G para 212°C e no H para 96°C.

3.1.7 Medição de temperaturas nos pontos G, H

As leituras e anotações nos pontos G e H foram realizadas simultaneamente com as demais leituras, conforme a Figura 3.11.

Figura 3.11: Disposição de medição do forno nos pontos G e H. (a) Posição física. (b) Correspondente medição e anotação associada.



(a)

(b)

Fonte: Autor (2018).

O aparelho de medição das temperaturas internas é da marca Samrello. Constituído por um indicador de temperatura digital de 4 pontos, modelo IDTS 204 ANI/96 e um termopar modelo PT-100

A Tabela 3.1 mostra todos os dados observados no levantamento de temperatura para uma melhor comparação das temperaturas extraídas do forno em determinado período de tempo.

Tabela 3.1: Tabela de levantamentos de temperatura em C°.

Data	Hora	Horas	G	H	A	B	C	D	E	F
		fogo								
20/08	14h	6:35	108	59	51,5	20,2	20,2	21,3	25,9	24
21/08	7h:30	23:30	237	65	102,4	43,8	45,2	47,1	20,7	34,2
21/08	12h	28:00	248	73	125,6	47,2	52	53,2	21,1	37,6
21/08	16h	32:00	276	76	167	52,4	52,7	56,8	23	40,5
22/08	8h	48:00	339	116	171	67,2	71,2	86,6	29,7	38,1
22/08	11h	51:00	373	159	174	68,7	76,6	88,8	28,3	37,8
22/08	16h	56:00	401	187	210,7	79,8	87,1	122	28,5	46,3
23/08	16h	80:00	938	625	369,2	137,5	137,5	140	55,9	166,9
24/08	8h	96:00	212	96	-	87,5	81	91,5	62,2	70,1

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A placa *Peltier* utilizada é o modelo HTC-62-28-24.1, com tamanho de 62x62 mm. O calor é gerado toda vez que uma corrente elétrica passa por um elemento, sendo que cada pastilha tem seu próprio limite de quanto calor que se pode transferir, o Q_{max} que nesta pastilha a capacidade é de 394,5 W, a corrente elétrica associada ao Q_{max} é conhecida como I_{max} e é de 28 A, a tensão elétrica corresponde como V_{max} que é de 24,1 V. Se um módulo for completamente isolado de seu ambiente e estiver rodando a I_{max} , ele produzirá a diferença máxima de temperatura entre os lados quente e frio, conhecida como dT_{max} que será de 68°C.

Existem limites de temperatura para operar os elementos, os quais estão disponíveis com uma temperatura máxima de operação de 200 °C, o limite máximo é dado devido a refusão da solda e a vedação das pastilhas. Outro limite que se deve levar em conta é a temperatura máxima entre o lado quente e o lado frio das placas, que em aplicações gerais com uma diferença de

223°C, na placa utilizada no trabalho essa diferença de temperatura deve ser no máximo 68°C. Após análise do levantamento das temperaturas em diversos pontos, conforme visto anteriormente foi denotado que o ponto F, no tampão de fechamento onde os gases se evacuam para a chaminé, teve os melhores resultados obtidos, assim sendo escolhido para a realização e experimento do trabalho.

3.2 TESTES REALIZADOS

O primeiro experimento se deu somente pela placa *Peltier*, no momento em que a temperatura estava em 41 °C, gerando assim 0,02 V, conforme pode ser visto na Figura 3.12, mesmo com temperaturas maiores o valor não ultrapassa os 0,02 V, assim não atendendo aos critérios esperados.

Figura 3.12: Teste de geração de energia somente com a pastilha



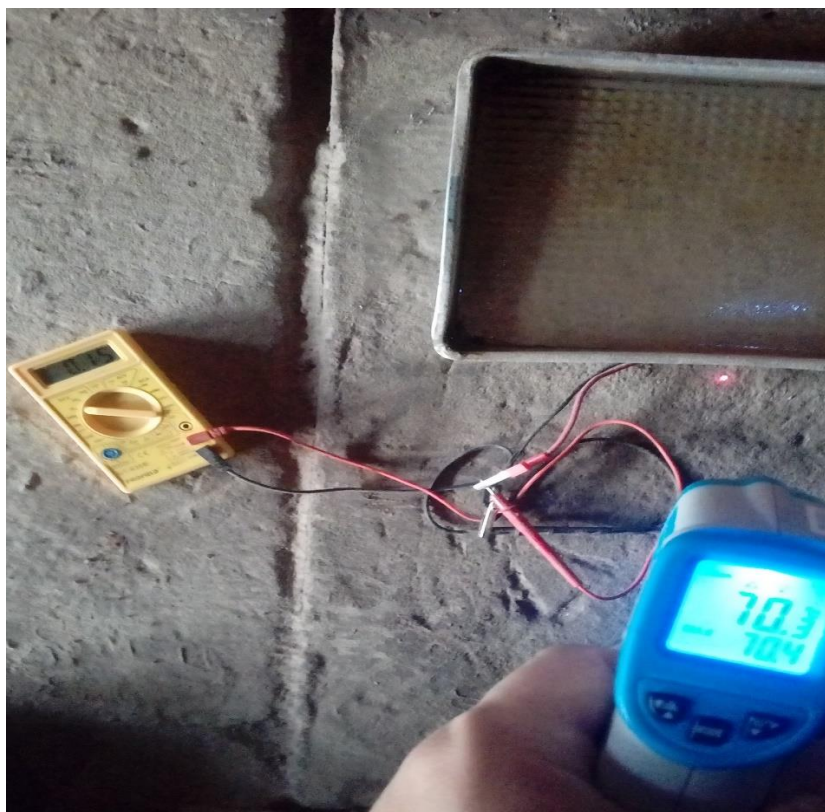
Fonte: Autor (2018).

Não atendendo o resultado esperado, o experimento foi modificado para então conseguir resultados melhores; após estudos, foi denotado que se o lado que estava para cima da placa, o lado frio fosse resfriado conseguiria um

diferencial de temperatura menor em ambos os lados e, assim, poderia se conseguir maior tensão elétrica, para isso uma forma com água foi colocado em cima da pastilha, alocado assim em formato de sanduíche, conseguindo-se maior tensão elétrica.

Com a forma cheia de água sobre a pastilha no formato de sanduíche, com um lado quente e o outro frio, conforme a Figura 3.13, diminuindo a diferença de temperatura entre os mesmos, a tensão elétrica aumentou com uma temperatura de 70,3°C no lado quente e com temperatura ambiente do lado frio, conseguiu se 0,15 V. Ainda não se alcançando a demanda necessária. Após outros experimentos realizados, foi constatado que se o lado frio da pastilha ficasse em contato direto com a água os resultados seriam melhores.

Figura 3.13: Teste de geração de energia com forma sobre a pastilha



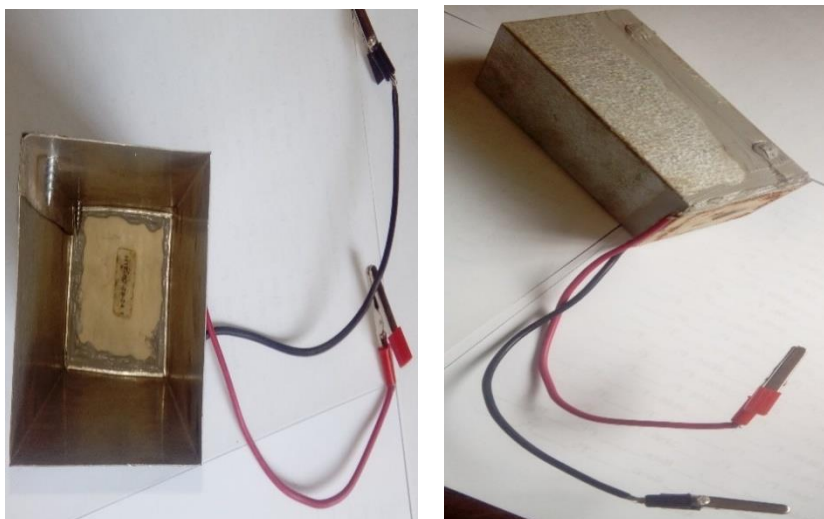
Fonte: Autor (2018).

A partir do momento em que os testes anteriores não atenderam os resultados esperados, foi-se modelado e fabricado uma estrutura de metal para suportar a água potável em cima da pastilha na fixação e na vedação foi

colocada massa acrílica de vedação, assim então realizando os testes necessários, junto à estrutura recolocou-se o multímetro digital e conectou-se uma lâmpada. A Figura 3.14 mostra a estrutura sobre a pastilha.

Junto à pastilha e à nova estrutura foi colocada uma lâmpada, de modelo de jardim que se auto carrega com uma mini placa solar, o sistema que a lâmpada possui para o carregamento da bateria é quando ela está sendo carregada a luz se mantém apagada, quando para de carregar a luz acende, nela possui uma lâmpada de LED de 0,06W, com uma bateria de 1 x AAA 200mAh 1,2V Ni-Mh. A lâmpada de jardim foi retirada da mini placa solar, para que o carregamento acontecesse somente com a energia produzida com a pastilha.

Figura 3.14: Pastilha e estrutura



Fonte: Autor (2018).

O experimento realizado deu-se desde do início, quando foi colocado fogo no forno até o término, que no total contou com uma duração de cinco dias.

Com 41 °C, a luz fica acesa, pois a tensão elétrica gerada não é o suficiente para o carregamento da bateria nessa temperatura a qual é de 0,17 V, conforme a Figura 3.15, essa temperatura se deu quando o forno estava com 56 horas de fogo ou seja dois dias e meio, a temperatura interna é de 230°C na parte de baixo e 372°C na parte superior. Antes das 56 horas a geração de energia era muito pequena na margem dos 0,02 a 0,06 V.

Figura 3.15: Teste de geração com 56 horas de fogo.



Fonte: Autor (2018).

Com $58,9^{\circ}\text{C}$ de temperatura no tampão, a tensão elétrica dobra elevando-se para 0,34 V, conforme a Figura 3.6, ainda não sendo suficiente para o carregamento da bateria da lâmpada, já são 60 horas de fogo com uma temperatura interna de 252°C na parte baixa e 355°C na parte superior.

Figura 3.16: Teste de geração com 60 horas de fogo

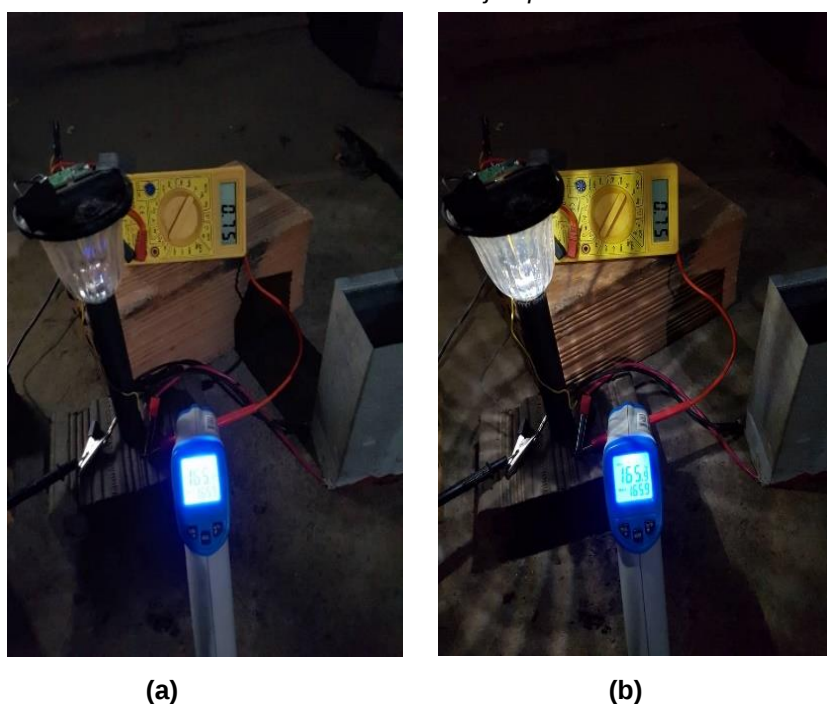


Fonte: Autor (2018).

Com início da queima dos tijolos a temperatura se elevou na parte interna, sendo que a parte inferior a temperatura chegou aos 740°C e na parte superior 968 °C, a temperatura no tampão onde o experimento estava sendo realizado se elevou para 165 °C, assim gerando uma tensão elétrica de 0,75 V, já sendo o suficiente para carregar a bateria do LED. A temperatura se manteve por cerca de 43 horas, ou seja, um dia e dezenove horas.

Na Figura 3.17 pode se notar que no primeiro instante (a); a bateria está carregando por isso que luz está apagada, já no segundo instante (b); após a retirada do *jumper* que realizava o carregamento da bateria, fazendo com que ocorra a interrupção do carregamento, tendo como consequência o acendimento do LED.

Figura 3.17: Teste de geração com 88 horas de fogo. (a) posição com o *jumper*. (b) posição com a retirada do *jumper*.



Fonte: Autor (2018).

4 RESULTADOS

Após vários dias de testes, observou-se que somente a pastilha Peltier não consegue garantir a geração de energia suficiente, para o suprimento da carga adotada, ratificando o LED, ficando esta geração, somente na faixa de 0,02V a 0,06V.

Posteriormente, quando do uso da estrutura conformada – reservatório de água, aqui denominada de forma, preenchida com água, foi possível perceber que houve um aumento significativo, se for levado em consideração o resultado da geração somente com a placa. Nesta situação, a troca de calor entre a placa e a respectiva forma, se deu pelo contato direto entre as superfícies da placa de Peltier (lado frio), com a superfície externa e plana da forma, cujo lado interior fazia contato, simultâneo com a água de refrigeração (efeito radiador). Com este processo obteve-se um total de 0,15V.

Uma vez que esta estrutura implementada não atingiu resultados adequados, optou-se por outra abordagem técnica. Neste caso, utilizou-se de um tubo de seção quadrada, que teve um de seus lados (base ou lado inferior), selado com a própria placa de *Peltier* (lado frio), cuja vedação ocorreu mediante o uso de borracha de vedação para calhas, garantindo estanqueidade à estrutura proposta. O comprimento (ou altura do tubo) foi de 15 cm. Posteriormente, o vaso, assim formado, foi preenchido com água potável, o que conferiu uma melhor eficiência do conjunto, uma vez que a troca de calor (efeito radiador) nesta nova configuração, a água fez contato direto com a superfície fria da placa de *Peltier*. Com a nova estrutura montada, os resultados já foram bem melhores, quando se obteve 0,75V, conseguindo carregar um pouco da bateria, e, posteriormente, a ligação da lâmpada de LED.

Durante a realização do experimento, observou-se um aquecimento rápido da água, devido à forma da disposição dela no vaso.

Para se ter uma noção quando o recipiente ficou vazio, ao colocar água gelada a 10°C a tensão elétrica atingiu até 2,1V. Mas após atingir o seu patamar mais elevado em produção de energia, a tensão começa a decair drasticamente até chegar a seus 0,75V.

5 DISCUSSÃO

Os resultados encontrados no presente estudo demonstraram que a placa de *Peltier* para utilização na conversão da energia térmica em elétrica no método utilizado é inviável, por possuir uma estrutura simples e precária não proporcionando a obtenção de tensão alta por muito tempo devido ao superaquecimento da placa *Peltier* utilizada, sendo que ambos lados da pastilha aquecia enquanto que para o sucesso do experimento entende-se que um dos lados deveria permanecer frio o que iria proporcionar um maior diferencial de potencial térmico entre os lados da pastilha.

Quanto à captação de alta temperatura advinda da forma pelo lado quente da placa ocorria então uma transferência de calor diminuindo assim o diferencial de potencial térmico entre os lados da pastilha que ocorria devido ao refluxo de calor para o lado frio, que se tornou tão elevado que não foi possível a obtenção de um mecanismo de baixo custo para o seu resfriamento e, conseqüentemente, para a viabilidade do projeto.

A água potável que estava em 22°C utilizada no experimento mesmo sendo trocada, quando começasse o aquecimento, não evitou o superaquecimento do sistema posteriormente optou-se por colocar água gelada que estava em 10°C verificando-se então que houve um aumento na tensão elétrica atingindo o pico de 2,1V produzidos, não sendo utilizados no experimento outros tipos de fluidos de resfriamento devido ao custo.

Então com os dois lados superaquecidos os elementos internos da placa poderão ter sua junção superaquecida e conseqüentemente se romperão, ocasionando a inutilidade da placa.

6 CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados obtidos no experimento realizado, o presente trabalho demonstrou que é possível a geração de energia elétrica a partir da energia térmica que já está disponível no setor ceramista, porém com o protótipo e o experimento realizado, chega-se à conclusão de que a proposta de geração de energia através de pastilhas *Peltier*, não se torna viável, pois a tensão gerada é muito inferior para produzir energia, assim sendo necessário a colocação de mais pastilhas para então sustentar uma lâmpada de LED. Com isso, além da colocação de mais pastilhas se torna essencial o resfriamento do lado frio da pastilha; uma hipótese seria a colocação de um recipiente para que a água pudesse ser corrente, baseando-se em uma serpentina e resfriando as pastilhas.

Quanto à viabilidade, levando em consideração os materiais utilizados para se fazer o recipiente para o resfriamento das pastilhas, a mão de obra para construção do sistema proposto, e as pastilhas necessárias para a geração de energia para sustentar uma lâmpada, ele torna inviável o sistema, pois o investimento será grande para uma geração de pequena energia.

Baseado nos resultados do estudo sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas na área, como estudos para o melhoramento das pastilhas *Peltier*, e ou também novos estudos para conseguir-se aproveitar essa energia térmica que já está disponível decorrente de várias atividades industriais, a exemplo de caldeiras, sistemas de fornos de cozimento, fundição, entre outros.

Logo, o aproveitamento da energia térmica para transformá-la em energia elétrica, utilizando-se de placas de *Peltier*, com a tecnologia existente, não é viável devido ao alto investimento que precisaria ser feito. A energia térmica poderia ser utilizada para a própria queima dos tijolos, sendo capturada e lançada para dentro do forno novamente (processo auxiliar de pré-aquecimento) ou também, poderia se construir uma estufa que serviria de secagem dos tijolos crus, assim aproveitando o calor e acelerando o processo de secagem, observando-se assim uma grande vantagem, visto que o tijolo entraria totalmente seco no forno, e não úmido, o que, no atual processo, ocasiona a quebra ou rachadura de uma quantidade significativa.

REFERÊNCIAS

- [1] COPEL(Brasil).
[Http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2fhpcopel%2froot%2fpagcopel2.nsf%2f5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2f04afb43850ca33c503257488005939b7](http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2fhpcopel%2froot%2fpagcopel2.nsf%2f5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2f04afb43850ca33c503257488005939b7). **Alterações Tarifárias**. Curitiba: Copel, 2018
- [2] AGÊNCIA SISTEMA FIEP: <http://agenciafiep.com.br/2017/06/22/energia-eletrica-fica-em-media-562-mais-cara-para-industria-paranaense/>. Curitiba, 27 jun. 2017.
- [3] GOMES, Reben Rudson Mendes. **Efeito Peltier em Estruturas Semicondutoras Quasiperiódicas**. 2008. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Física, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Cap. 3.
- [4] RIEIRA JUNIOR, Alberto Torres. **Efeitos Termoelétricos em sistemas nanoscópicos**. 2013. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências, Universidade de São Paulo Instituto de Física, São Paulo, 2013.
- [5] TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **ENERGIA TERMELÉTRICA, GÁS NATURAL, BIOMASSA, CARVÃO E GÁS NATURAL**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (epe), 2016.
- [6] VÉRAS, Júlio Cezar de Cerqueira. **Análise Experimental dos efeitos de ciclos térmicos em geradores termoelétricos**. 2014. 65 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
- [7] SANTOS, Leonardo Paiva. **ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM GERADOR TERMOELÉTRICO BASEADO NO EFEITO SEEBECK**. 2010. 45 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mestrado em Área de Concentração: Automação Industrial e Robótica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2010.
- [8] BRASIL. EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. 2. ed. Brasília, 2006
- [9] HOJE, Mecatrônica. **Módulo, Célula de Peltier ou pastilhas térmicas, como funciona?** Disponível em: <<http://mecatronicahoje.blogspot.com/2011/06/modulo-celula-de-peltier-ou-pastilhas.html>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

[10] PRESERVE PROJETOS AMBIENTAIS (Foz do Iguaçu). **Monitoramento Atmosférico**. Mercedes: Preserve, 2016.

[11] WIKIPÉDIA. **Esquema de uma pastilha de Peltier**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Peltier#/media/File:Esquema_Pastilha_de_Peltier.svg>. Acesso em: 01 nov. 2018.

[12] KRYOTHERM. **Production of Thermoelectric Modules**. Disponível em: <<http://kryothermtec.com/portugal.html>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

[13] P&D, **2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS**. Disponível em <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/2/5021.pdf> . Acesso em março de 2018.

[14] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica -. **ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel, 2002. 199 p.

[15] PIRES, Eduardo Alfredo; MULLER JUNIOR, Hamilton; SUARES, Runan Aguirre. **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA/ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE UM TERMOGERADOR EM QUEIMADOR DE GASES DE ESTUFAS**. 2013. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica - Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus de Curitiba, Curitiba, 2013. Cap. 1.

[16] **FÍSICA PAI D'ÉGUA O JORNAL DE FÍSICA**. Belém: O Jornal de Física, 2006.

[17] MAMEDE FILHO, João. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS**. 9. ed. Rio De [: Ltc Editora, 2017.

[18] ANEEL, Agência Nacional de Energia. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005

[19] ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO Antonio. **Física Volume Único**. 2 ed. São Paulo, 2011.

[20] ELETROBRÁS, Eficiência Energética no Uso do Vapor. Disponível em: <<http://www.pessoal.utfpr.edu.br/jmario/arquivos/Livro%20Vapor.pdf>>. Acesso em março 2018.

[21] TIPLER, Paul Allen; MACEDO, Horácio. **Física para cientistas e engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro, 2008.

[22] MILEAF, Harry. **Elettricidade**. São Paulo, 1985.

[23] TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Geração de Energia Elétrica no Brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2005.

[24] CPN/SP. **Energia Elétrica: Geração, Transmissão e Distribuição**. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/dominios/ctn/anexos/cdNr10/Manuais/M%C3%B3dulo01/333_1%20INTRODU%C3%87%C3%83O%20A%20SEGURAN%C3%87A%20COM%20ELETRICIDADE.pdf>. Acesso em: março de 2018.

[25] ABNT. **NR 10: NORMA REGULAMENTADORA - NR 10**. Brasília: Portaria Gm, 2016.

[26] SANTOS, Kelly Vinente dos. **Fundamentos de Eletricidade**. Santa Catarina: E-tec Brasil, 2011.

[27] MARKUS, Otávio. **CIRCUITOS ELÉTRICOS CORRENTE CONTÍNUA E CORRENTE ALTERNADA**. 9. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2004.

[28] **AS LÂMPADAS DE EDISON**. <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/curiosidades/as-lampadas-edison.htm>: Uol, v. 1, 2016. Acesso em março 2018.

[29] **CONHEÇA A INCRÍVEL HISTÓRIA DA LÂMPADA**. São Paulo: Energilux, v. 1, 2018.

[30] BRASIL, Newton Paterman. **Notas de aula de Co-geração do Curso de Engenharia de Equipamentos**. Agosto de 2005 (Texto digitado).

[31] ODDONE, Domingos Carlos. **COGERAÇÃO: UMA ALTERNATIVA PARA A PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE**. 2001. 82 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

[32] ANEEL, Agência Nacional de Energia. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008

[33] ENERGIA, Ministério de Minas e. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (epe), 2017.

[34] BRANDÃO, Sérgio da Silva. **Cogeração**: Trabalho no âmbito da cadeira: Produção e Planejamento de Energia Elétrica. Coimbra: Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores Universidade de Coimbra, 2004.