

Caracterização de um protótipo gerador de energia elétrica através de um deslocamento de cargas numa esteira rolante
Characterization of a prototype generator of electricity through the load movement

Luiz Gustavo Dorfman dos Reis¹, Leonardo Tadeu Eprs Gaspar¹, Thais Cavalheri dos Santos^{1,2*}, Alexandre Daliberto Frugoli¹, Pedro Américo Frugoli¹, Renata de Faria Barbosa^{3}, Iara Batista de Lima¹**

¹Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia - ICET, Universidade Paulista, 04026-002, São Paulo-SP, Brasil

²Centro Universitário São Judas Tadeu, Campus Unimonte, 03166-000, São Paulo-SP, Brasil

³Instituto do Mar - IMAR, Universidade Federal de São Paulo, 11070-102, Santos-SP, Brasil

*thais.santos@docente.unip.com.br

**renatabarbosa28@yahoo.com.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo gerador de energia elétrica por meio do deslocamento de cargas. Este protótipo é constituído de dispositivos e circuitos eletrônicos simples, e a utilização de cristais e materiais piezoelétricos. Esses materiais convertem energia mecânica em energia elétrica. Essa conversão é realizada quando há deformação no material submetido à uma certa pressão, resultando na separação dos centros gravitacionais de cargas positivas e negativas, produzindo, assim, pequenos dipolos elétricos. Entre os materiais com propriedades piezoelétricas, destacam-se as cerâmicas, largamente empregadas e predominantes no mercado, além de materiais como o PT (PbTiO₃) e o PMN (Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃).

Palavras-chave: Piezoeletricidade. Eletricidade. Conversão de energia.

Abstract

The aim of this work was to develop a prototype generator of electricity through the load movement. This prototype has simple electronic circuits and device with crystals and piezoelectric materials. Piezoelectric materials convert mechanical energy into electrical energy. This conversion is performed when a pressure deforms the material structure, leading to separation of the gravitational centers of positive and negative charges, which produces electric signals. Among materials exhibiting piezoelectric properties, there are the ceramics, widely used, and materials such as PT (PbTiO₃) and PMN (Pb (Mg_{1/3}Nb_{2/3}) O₃).

Keywords: Piezoelectretic. Energy. Energy conversion.

Introdução

A produção de energia elétrica vem sendo associada à construção de usinas hidroelétricas, nucleares, eólicas e solares. Todavia, a implantação desses tipos de usinas causa grandes impactos ambientais, pois para construir uma usina hidroelétrica, é necessário, por exemplo, desmatar e inundar grandes áreas. Um dos exemplos que ficou marcado na história das hidroelétricas foi a Usina de Balbina [1], localizada no estado do Amazonas, onde além do desmatamento e a inundação de uma vasta área, houve a perda de grande parte da fauna e flora do local. Inaugurada na década de 80, essa usina ficou conhecida como “fábrica de gases de efeito estufa”, pois nas partes mais profundas do lago ficam concentrado o gás metano, devido à pressão e a profundidade, que tem um efeito estufa 25 vezes maior do que o dióxido de carbono. O metano é expelido durante a passagem da água pelas turbinas e continua a ser liberado para a atmosfera.

Dessa forma, é extremamente relevante estudar novas formas de geração de energia. A piezoelectricidade é uma forma de geração de energia que utiliza conceitos baseados na transformação de energia, através da conversão de energia mecânica em energia elétrica. Países como Holanda e Inglaterra adotam essa tecnologia. Por exemplo, as casas noturnas de Amsterdam fizeram adaptações no piso e mediante a movimentação do público, há a captação desse movimento no chão capta, transformando-o em energia elétrica utilizando um sistema com dispositivos piezoelétricos.

O efeito da piezoelectricidade é a capacidade que os materiais, como os cristais, têm de gerar tensão elétrica por meio de uma ação ou pressão mecânica aplicada sobre o mesmo. Em 1880, os irmãos Pierre Curie e Jacques Curie descobriram a piezoelectricidade. Eles observaram que alguns cristais ao serem comprimidos, em direções particulares, apresentaram cargas positivas e negativas em determinadas regiões de suas superfícies, sendo estas cargas proporcionais à pressão aplicada. Notaram também que essas cargas deixavam de atuar quando a pressão era cessada [2,3].

Assim, uma força mecânica na região do cristal resultará em uma polarização em direções diferentes. Então, podemos afirmar que as grandezas envolvidas na piezoelectricidade são do tipo "Tensoriais". A figura 1 ilustra o comportamento do cristal piezo. Quando esse cristal é submetido à uma tensão mecânica, ele produz tensão elétrica que pode ser medida utilizando eletrodos posicionados nas extremidades do cristal.

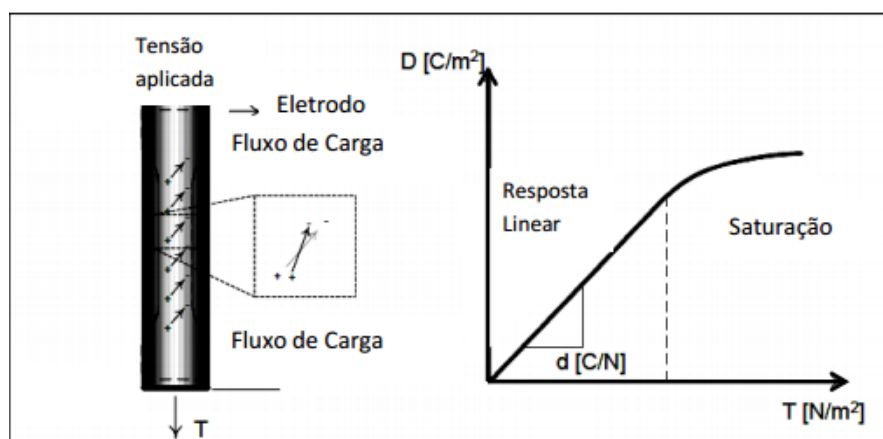


Figura 1: Deslocamento elétrico em função da tensão. Fonte: [4].

No gráfico mostrado na figura 1 podemos observar a curva do deslocamento de carga (D) em $[C/m^2]$ sobre a Tensão aplicada (T) em $[N/m^2]$ para um campo elétrico ($E = 0$) sobre o cristal a ser deformado. Verificamos que até o ponto de saturação elástica do material, a condição de proporção para essa deformação é definida pela constante Piezoelétrica (d).

As Equações que relacionam deformação e deslocamento elétrico com a tensão e o campo elétrico são descritas por Freitas [4]. Em 1881, através de análises termodinâmicas, Lippman [5] provou a existência do “efeito piezoelétrico inverso”, também conhecido por eletrostrição. Esse efeito consiste no aparecimento de uma deformação do material quando submetido a um campo elétrico. Além disso, essa variação dimensional provocada pela ação do campo elétrico está relacionada ao eixo de simetria do material, ou seja, aplicando um campo elétrico através de placas fixadas na superfície de um cristal piezoelétrico pode-se obter diversos tipos de deformações.

Uma aplicação bem comum associada a este efeito é o uso em máquinas de ultrassom, onde pulsos elétricos de ordem acima de 20 mil ciclos por segundo são aplicados ao cristal piezo, fazendo com que esta deformação gere ondas mecânicas, transmitindo pulsos sonoros de alta frequência (1 a 5 MHz) para o interior do corpo usando uma sonda. As ondas sonoras se deslocam e atingem um limite entre os tecidos, por exemplo, entre um fluido e um tecido macio, ou entre um tecido macio e um osso; parte das ondas sonoras são refletidas de volta para a sonda, enquanto que a outra parte continua se deslocando até atingir outro limite e ser refletida. As ondas refletidas são captadas pela sonda e retransmitidas para a máquina; a máquina calcula a distância entre a sonda e o tecido ou órgão (os limites) usando a velocidade do som no tecido (1540 m/s) e o tempo de retorno de cada eco, que é geralmente da ordem de milionésimos de segundo. Dessa forma, a máquina exibe as distâncias e as intensidades dos ecos na tela, formando uma imagem bidimensional.

Os PZTs, ou titanato zirconato de chumbo ($\text{Pb} [\text{Zr} (x) \text{ de Ti} (1-x)] \text{O}_3$), é um dos mais amplamente utilizados materiais de cerâmica piezoelétrica em todo o mundo. Materiais de PZTs apresentam maior sensibilidade e tem temperatura de funcionamento mais elevada, as aplicações são muitas, como: inspeções precisas de produtos automotivos, estruturais ou aeroespaciais, incluindo aplicações como a geração de energia ultrassônica de alta tensão ou em produtos de limpeza ultrassônicos, sonares, etc. As características do material incluem uma constante dielétrica elevada; alta de acoplamento; sensibilidade de carga elevada; alta densidade com uma estrutura e uma resposta de frequência livre de ruído limpo.

A definição de um material com características piezoelétricas dependem de algumas constantes, como por exemplo, *constante de tensão piezoelétrica (g)*, *constante de frequência (N)*, *constante elástica (s)*, *fator de qualidade mecânico (Qm)* e *constante dielétrica (k)*. É importante conhecer as constantes do cristal para a otimização do projeto. Os materiais piezoelétricos comercializados no mercado são: o PZT-4, é utilizado em sistemas de limpeza por ultrassom e fisioterapia, o PZT-8 utilizado em sistema de solda por ultrassom, o PZT-5A utilizado em sensores e transdutores para ensaios não destrutivos, o PZT-5J e 5H utilizados para geradores de faísca por impacto como detonadores e *magic clicks*, respectivamente.

No tocante às formas alternativas de geração de energia elétrica, o presente estudo, resultado, de trabalho de conclusão do curso de Engenharia da Universidade Paulista (UNIP), São Paulo, visa compreender os estudos sobre piezoeletricidade e apresentar as características de um protótipo gerador de energia elétrica ao se movimentar sob uma esteira rolante.

Materiais e Métodos

Fontes de tensão são dispositivos elétricos caracterizados pela imposição de uma determinada tensão ou diferença de potencial (DDP) aos seus terminais, também denominados por fontes de tensão. As fontes de tensão podem ser contínuas (fontes DC - *direct current*), quando a tensão gerada é constante no tempo, ou alternadas (fontes AC - *alternate current*), quando a tensão em sua maioria senoidal é variável no tempo. Os cristais piezoelétricos podem ser considerados fontes de tensão, pois ao serem deformados geram sinal elétrico com características AC. Em um circuito AC, a corrente ora circula em um sentido, ora em outro. No presente estudo, para a construção do circuito do protótipo utilizamos um sinal do tipo DC. A figura 2 ilustra a ponte retificadora de tensão, utilizada nesse trabalho, para a conversão do sinal AC, para sinal DC.

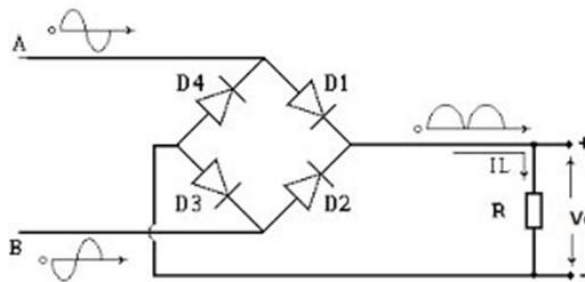


Figura 2: Ponte retificadora de onda completa. Fonte: próprio autor.

O conjunto dos quatro díodos mostrados na figura 3, ao receberem a tensão alternada nos díodos de entrada, separam os pulsos positivos e negativos na saída permitindo a retificação de onda completa e a entrada de AC, sendo a saída polarizada. Estudos mostram que a maneira mais simples de converter um sinal físico em elétrico é, transformando esse sinal em tensão ou corrente elétrica. Nos padrões mais comuns, a saída de tensão por escala de 0 a 10 V, a intensidade do sinal físico é convertida de maneira linear. Por exemplo, considerando um instante de tempo igual a 1 s seja medido um sinal de frequência de baixa escala (5 Hz - ciclos por segundo), a saída de tensão nesta faixa de frequência, é de aproximadamente 2,5 V como ilustra a figura 4, obtida durante a realização dos testes.

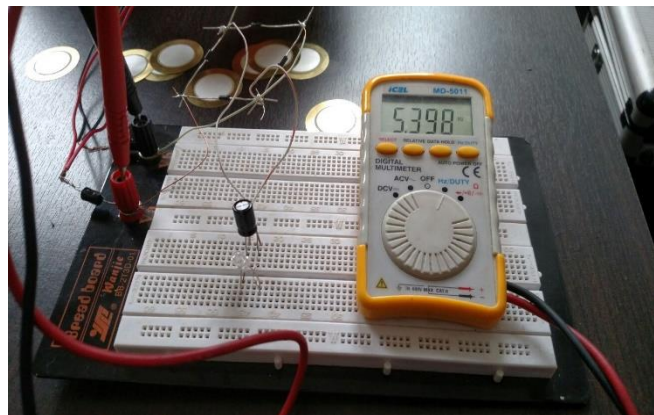


Figura 3: Sinal em Hz (ciclos por segundo) gerado a partir da deformação do cristal (discos dourados). Fonte: próprio autor.

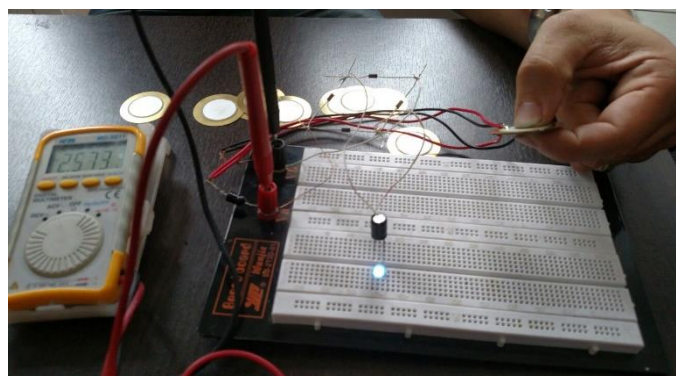


Figura 4: Sinal de tensão gerado pela deformação do cristal piezoelétrico. Fonte: próprio autor.

A segunda etapa experimental consistiu em estudar a tensão máxima que poderia ser aplicada e estudou também a melhor configuração (série ou paralelo) a ser utilizada. A vantagem de um circuito em série é que o consumo de energia é menor, porém, a potência dos consumidores é limitada por uma única corrente que irá passar pelo circuito. Por exemplo, duas lâmpadas em série, uma de 100 W e

outra de 50 W, cada uma emitirá um brilho com uma intensidade de 50 W. Todavia, a vantagem do circuito em paralelo consiste em um condutor para cada consumidor, e então no exemplo anterior, cada lâmpada se estivesse ligada em paralelo brilharia com a intensidade de suas respectivas potências, porém, apresenta uma desvantagem, pois o consumo será maior. A escolha do tipo de ligação e da configuração depende do projeto. Embora na maioria das ligações automotivas os circuitos estejam ligados em paralelo, para o protótipo estimava-se inicialmente, uma tensão de aproximadamente 10 V e uma corrente na faixa de 200 a 500 mA. Essa tensão e essa corrente são consideradas resultados positivos, pois para a implantação de sensores ou até mesmo a parte de iluminação com LEDs na esteira seria bem interessante. Os testes foram realizados independentemente da esteira com o intuito de obter parâmetros otimizados de estudo, como melhor compreensão de análise e também o fator da dificuldade em criar um sistema mecânico o qual fosse adaptado ao mesmo. Devido alguns problemas práticos, tomadas de decisões precisaram ser realizadas, assim como algumas adaptações.

Para acender apenas um LED de alto brilho que precisa de uma tensão mínima de 2 V e uma corrente mínima em torno de 20 mA, realizou – se adaptações, como por exemplo, o uso de duas bobinas (tem como característica armazenar energia através de um campo magnético, e como vantagem impedir variações na corrente elétrica) (figura 5), muito importante pois como o cristal piezo gera corrente elétrica, essa corrente não chega ao circuito “limpa” e devido ao uso desses indutores garantem que a corrente apresente qualidade melhor; logo em seguida adicionou – se uma ponte retificadora de diodos pois observamos ao colocar o multímetro (aparelho realizado para efetuar medições de corrente, tensão e resistência), o cristal ao ser pressionado, o multímetro captava apenas o sinal negativo, ou o termo “semi ciclo de uma senoide” de tensão elétrica porque o sinal gerado pelo cristal era de natureza alternada quando aplicada uma força. Em seguida, adicionamos o capacitor para filtrar o sinal, de apenas 100 μ F por 10 V. Com essa combinação no circuito foram obtidos os resultados do presente estudo.

Resultados e Discussão

Os valores de corrente e tensão no LED e no capacitor são mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Valores de corrente e tensão no LED e no capacitor após a ponte Retificadora.

Corrente no LED (mA)	Tensão no LED (V)	Corrente no Capacitor (mA)	Tensão no capacitor (V)
43	2,4	34	2,5

Fonte: próprio autor.

A tabela 2 mostra os dados de tensão, corrente e frequência na bobina.

Tabela 2. Valores de tensão e frequência antes da Ponte Retificadora.

Tensão (V)	Frequência (Hz)	Corrente (mA)	Frequência (Hz)
V Bobina = 1,6	5,4	I bobina = 0,02	5,2

Fonte: próprio autor.

A figura 5 mostra a curva característica do sistema (tensão em função da corrente).

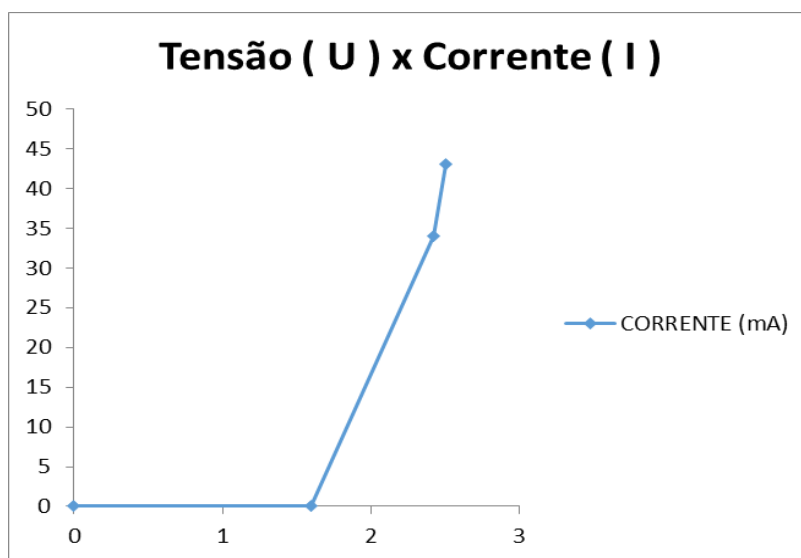


Figura 5: Gráfico de Tensão x Corrente. Fonte: próprio autor.

As figuras 6 e 7 ilustram os gráficos de frequência em função da corrente do sistema e da tensão em função da tensão, respectivamente.

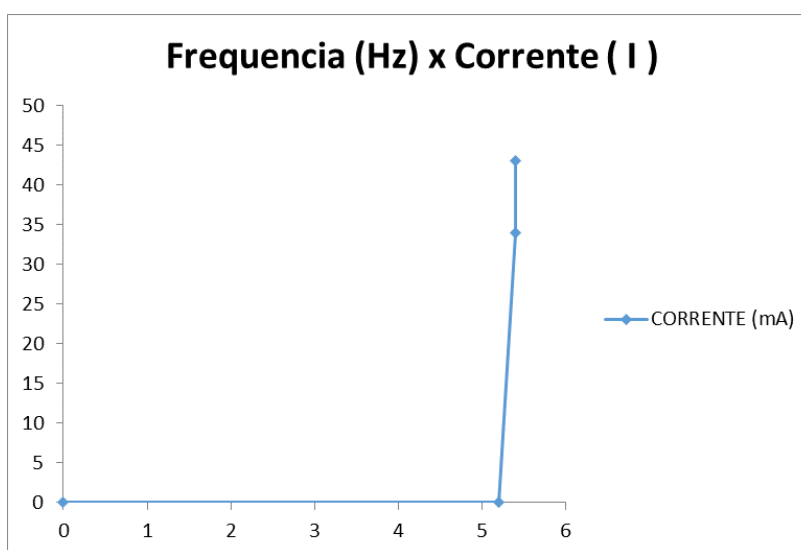


Figura 6: Gráfico de Frequência x Corrente. Fonte: próprio autor.

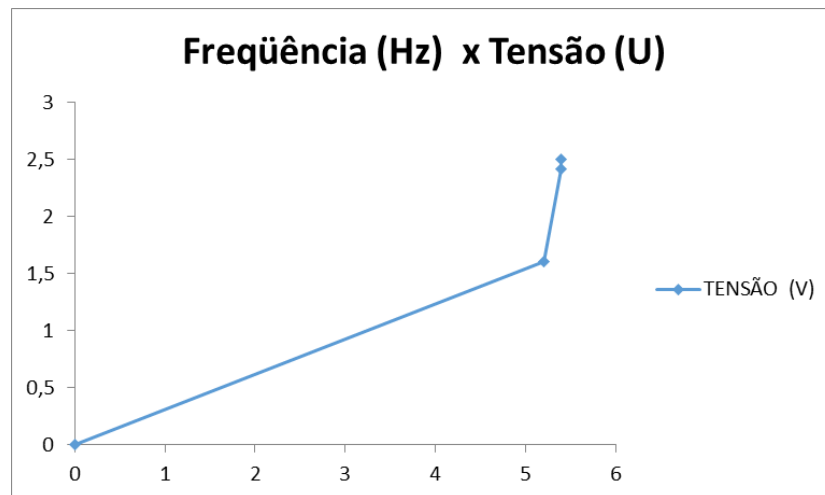


Figura 7: Gráfico de Freqüência x Tensão. Fonte: próprio autor.

Esse trabalho apresenta discussões a respeito do uso do modo contínuo e do desgaste do cristal piezolétrico. Uma de suas principais cerâmicas apresenta limitações, como o envelhecimento natural, podendo ser acelerado pelas condições de uso. Além disso, destacamos limitações como por exemplo, a instabilidade das propriedades em função de variações de temperatura e a saturação de limites elétricos e mecânicos.

Materiais cerâmicos (policristalinos), apresentam vantagens quando comparados aos cristais: processo de obtenção mais barato, flexibilidade de preparo utilizando uma vasta variedade de composições o que permite controlar ou alterar suas propriedades físicas, e a possibilidade de serem produzidos utilizando diversas geometrias, diferente de materiais piezo pois a obtenção de cristais de alta qualidade requer processos ou muito demorados, ou processos de crescimento muito caros, como os métodos Czochralski ou Bridgeman, e por possuir propriedade física que varia com a direção, o manuseio e cortes requerem dificuldades em orientações específicas para utilizá-los de forma adequada.

Outro material que também apresenta algumas desvantagens seria os piezocerâmicos, os quais pertencem à classe dos materiais ferroelétricos, pois quando recém produzidos, são isotrópicos, não apresentando uma orientação macroscópica da polarização espontânea, e, então para utilizá-los, como elementos piezoelétricos, é necessário que sejam polarizados sob a aplicação de campos elétricos elevados. Assim, durante o processo de polarização (onde é possível escolher a direção), os materiais de piezocerâmicos apresentam uma dependência maior de suas propriedades eletromecânicas com a temperatura, há também uma formação de fases que não são desejadas durante sua produção, pois pode alterar suas propriedades, e além disso, apresentam também uma variação de suas propriedades com o tempo.

Considerações Finais

Os parâmetros práticos para estudo e também considerados de importância para materiais piezoelétricos são: a orientação do corte (para cristais) ou da polarização macroscópica (para cerâmicas), as constantes dielétricas ϵ_T/ϵ_0 , ϵ_S/ϵ_0 (ϵ_0 – permissividade no vácuo), o fator de acoplamento eletromecânico k , os coeficientes piezoelétricos d e g , a constante de freqüência N , a velocidade do som no meio piezoelétrico, o fator de qualidade mecânico Q_m (para o modo de vibração que será utilizado).

Países como a Holanda que utilizam muito a tecnologia da piezoeletrecidade, afim de intensificar algumas dessas propriedades, para otimizar a performance do material piezoelétrico

para uma determinada aplicação, buscam preparar esses materiais piezoelétricos na forma de filmes finos (para aplicações com ondas de superfície ou micro atuadores, que consistem essencialmente em um mecanismo flexível ou na forma de compósitos. A utilização dessa tecnologia em larga escala enfrenta alguns problemas, um deles e talvez o principal é de como será armazenada essa energia, atualmente não existe uma bateria para armazenar a energia gerada. Algumas pesquisas apontam que a energia produzida neste processo precisa ser imediatamente utilizada. Ainda não é conhecida a razão, apenas é de conhecimento que países como Tóquio, realizou uma adaptação no metrô colocando um tapete na estação pela empresa IR East Toquio; como Holanda que adaptou pisos em casas noturnas que geram eletricidade, como a França, onde ocorreu a primeira maratona em que os atletas ao passarem em uma área onde havia tapetes piezoelétricos geravam energia elétrica. Todos esses países não revelaram como foi realizado e se houve armazenamento de energia. Essa temática já existe há mais de 100 anos, porém as aplicações estão ocorrendo com mais naturalidade a cerca de 3 anos. Pesquisas realizadas pela [UNESP], Walter Sakamoto da Faculdade de Engenharia, sugere que o armazenamento pode exigir o uso de super capacitores, que são caros e espaçosos se construídos com a tecnologia atual. Assim, o presente estudo teve como objetivo compreender os estudos sobre o assunto piezoelectricidade e o possível protótipo não foi finalizado em razão de dificuldades, as quais impediram o prosseguimento e andamento do mesmo.

Portanto, estudos futuros são necessários, tanto na construção do protótipo quanto no armazenamento da energia elétrica gerada.

Referências Bibliográficas

- [1] <http://www.oeco.org.br/reportagens/27823-balbina-boa-de-metano-ruim-de-energia/> acesso em 30/05/2019.
- [2] J. Curie, P. Curie, Comptes Rendus , 91 (1880) 294.
- [3] J. Curie, P. Curie, Comptes Rendus, 93 (1881) 1137.
- [4] R.L.B. Freitas, Fabricação, Caracterização e Aplicações do Compósito PZT/PVDF [tese de doutorado]. Ilha Solteira (SP): UNESP. (2012). Disponível *on line* http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/088-tese_ricardoluiabarrosfreitas.pdf , acesso em 25/05/2019.
- [5] G. Lippman, An. Chim. Phys., 24 (1881) 145-178.