



## **Protótipo de um sistema microeletromecânico para geração de energia elétrica através de materiais piezelétricos**

**Cícero Vasconcelos Ferreira Lobo<sup>1</sup>, Cátia Cristina Brito Viana<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (cicerovflobo@gmail.com)

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (catiaviana@gmail.com)

### **Resumo**

Nos últimos anos, a geração de energia elétrica através do uso de materiais piezelétricos se tornou um tópico popular no meio da pesquisa científica visto que diferentes tamanhos e estruturas para aproveitamento e conversão de energia baseando-se no efeito piezelétrico foram testadas. Esta pesquisa aborda o projeto e construção de uma rede composta por quatro vigas do tipo engastada-livre usando alumínio como substrato e o PVDF (polyvinylidene difluoride) como material piezelétrico com o intuito de produzir eletricidade suficiente para abastecer sensores e transmissores industriais. Por fim, esse projeto propõe uma maneira diferente de combinar a energia elétrica produzida no final do processo envolvendo o uso de dispositivos ópticos.

Palavras-chave: Energy harvesting, piezeletricidade, energia limpa.

Área Temática: Energia e energias renováveis.

## **MEMS prototype for generation of electricity through piezoelectric materials.**

### **Abstract**

*In the last years, the energy harvesting using piezoelectric materials has been a very popular topic in the research environment since different sizes, structures and types of energy conversion were tested. This study purposes a design and building of an array of four cantilever beams using aluminum as substrate and PVDF as piezoelectric element. The goal of the project is the production of enough electricity to feed some sensors and industrial transmitters. Finally, this project shows one different way to combine all the energy production in the end of the process using optically devices.*

*Key words: Energy harvesting, piezoelectricity, clean energy.*

*Theme Area: Energy and renewable energy.*



## 1 Introdução

Os materiais piezelétricos, tais como a cerâmica PZT - Lead Zirconate Titanate e o polímero PVDF - polyvinylidene difluoride podem produzir eletricidade em resposta a uma deformação sofrida, esse processo é chamado de efeito piezelétrico direto. O segundo modo de operação que esses materiais podem ser submetidos é conhecido como efeito piezelétrico inverso, ele se faz presente quando esses materiais sofrem a indução de campo elétrico que provocará deformação na estrutura piezelétrica (PEARSON, 2006).

Essa característica torna esses materiais interessantes para uma geração de energia elétrica em pequena escala, pois pode-se extrair a energia mecânica de vibrações de ambientes industriais, residenciais e até mesmo em locais externos e transformá-la em energia elétrica que seria suficiente para abastecer sistemas de monitoramento da condição estrutural (SHM) e dispositivos de aeronaves não tripuladas, tornando estes dispositivos autônomos. Além disso, a quantidade de energia gerada poderia ser usada para alimentar componentes wireless que requerem potência na faixa de 500uW até 50mW (PARK, 2010).

A energia elétrica gerada através dos materiais piezelétricos no final do processo está em corrente alternada, sendo assim, a conversão para corrente contínua se faz necessária para que o sistema gerador de energia elétrica proposto nesse trabalho possa alimentar os equipamentos de pequeno porte que foram citados anteriormente, visto que os mesmos consomem esse tipo de energia. Atualmente utiliza – se pontes retificadoras e circuitos dobradores de tensão, mas eles têm se mostrado ineficazes devido a grande perda de energia envolvida no processo de conversão AC/DC (RAMADASS, 2010; SOUZA, 2011). Ao término desse trabalho, espera-se construir um sistema que realiza essa tarefa de uma forma mais eficaz.

### 1.1 Justificativa

Sabemos que hoje a procura por geração de energia que possa ser considerada “limpa” está cada vez mais em alta para que possamos substituir as velhas fontes/ plantas de geração de energia, como por exemplo, o carvão usado nas Termoelétricas. Nessa perspectiva, está acontecendo um grande investimento na Pesquisa & Desenvolvimento utilizando fontes de energia como a solar e a eólica.

Esse trabalho propõe o aproveitamento da energia mecânica gerada pela vibração presente em ambientes industriais aplicados em materiais piezelétricos, sendo assim, essa tecnologia também pode ser considerada como uma das opções de geração de energia alternativa, pois faz o aproveitamento de uma energia que seria desperdiçada, nesse caso, a vibração mecânica presente no ambiente convertida em energia elétrica, na tabela abaixo, temos vários exemplos de várias frequências de vibrações em ambientes industriais e também residenciais. Esse tipo de conversão vem sendo chamado no ambiente acadêmico de *energy harvesting*, e pode ser entendida como extração de energia

Tabela 1 - Fontes de Vibração e respectivas frequências de vibração.

Fontes de Vibração	Frequência de Vibração (Hz)
Liquidificador	121
Secadora de roupas	121
Lavadora de roupas	109
Painel de instrumentos do carro	13
Microondas pequeno	121

Fonte: elaborado pelo próprio autor com base em PARK (2010).



A quantidade de energia produzida por essa tecnologia não é suficiente para alimentar grandes equipamentos, mas, ela pode representar uma economia muito grande para empresas e até mesmo para pessoas comuns em suas residências, visto que ela pode substituir o uso de baterias. Além disso, sabemos que o uso de bateria não é uma opção ecologicamente correta, visto que elas possuem metais pesados em sua composição, que precisam de um tratamento específico quando chegam ao fim de sua vida útil. Outro ponto de destaque é que em ambientes industriais, muitas vezes, temos componentes/ equipamentos que podem estar instalados em locais de difícil acesso, e que por hoje usarem baterias, necessitam ser substituídas periodicamente, o que representa um custo de mão-de-obra e material para essas empresas. No entanto, as soluções de captação de energia têm a capacidade de fornecer fontes de energia permanente que não requerem uma substituição periódica. Tais sistemas podem operar de forma autônoma e auto alimentado, reduzindo os custos associados com a substituição das baterias como por exemplo sensores e transdutores industriais. Por último, trata-se de uma opção de geração de energia que pode ser considerada limpa, o que gera simpatia com funcionários, clientes e comunidade em geral por parte da empresa.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo final o desenvolvimento, construção e testes de uma protótipo em ambiente computacional (SolidWorks©) que simulará um equipamento que será construído posteriormente, sendo este capaz de converter energia mecânica em energia elétrica usando materiais piezelétricos anexados na mesma.

A estrutura se faz presente em multi-piezovigas que serão capazes de converter energia mecânica (em forma de vibração) distribuídas em diferentes frequências de operação devido as diferentes frequências naturais que cada uma delas possui, em energia elétrica, tendo assim a possibilidade de uma maior produção de energia elétrica no final do processo devido a esta característica de “varrer” uma quantidade maior de frequências que estarão presentes no ambiente.

O diferencial deste projeto está na forma como a energia gerada através dos filmes piezelétricos - produzida em tensão alternada – é combinada para servir como fonte de tensão para dispositivos autônomos. A proposta apresentada engloba o uso de LEDs e células solares como alternativa a ponte retificadora de onda completa e ao circuito dobrador de tensão, processos que envolvem perdas consideráveis de energia.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Metodologia

A metodologia utilizada nesse trabalho foi a pesquisa bibliográfica e a pesquisa experimental, segundo Gil (2010): “a pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado. Tradicionalmente, esta modalidade de pesquisa inclui material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos. Todavia, em virtude da disseminação de novos formatos de informação, estas pesquisas passaram a incluir outros tipos de fontes, como discos, fitas magnéticas, CDs, bem como o material disponibilizado pela Internet”. A tecnologia abordada nesse trabalho é relativamente nova, porém, é possível encontrar uma grande quantidade de material publicado na área, principalmente na língua inglesa. Ao se consultar o termo “*energy harvesting by piezoelectric material*” no site Google.com, são encontrados mais de 477.000 resultados, logo, para a elaboração desse trabalho, a internet foi uma importante fonte de informação. Além disso, foi feita uma busca nos principais jornais e revistas por meio eletrônico (internet) do Brasil e do exterior para que as alternativas atuais sejam expostas nessa pesquisa, além disso, o referencial teórico que trata



do princípio da piezeletricidade, dos componentes mecânicos e eletrônicos foi de grande importância no desenvolvimento da pesquisa.

Ainda de acordo com Gil (2010): “a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”, e ela apresenta as seguintes propriedades: “a) manipulação: o pesquisador precisa fazer alguma coisa para manipular pelo menos uma das características dos elementos estudados; b) controle: o pesquisador precisa introduzir um ou mais controles na situação experimental, sobretudo criando um grupo de controle; c) distribuição aleatória: a designação dos elementos para participar dos grupos experimentais e de controle deve ser feita aleatoriamente”. O presente trabalho fez uso da pesquisa experimental, pois o objetivo final do mesmo converge para a construção de uma estrutura composta de múltiplas piezo-vigas em ambiente computacional, com o intuito da conversão de energia mecânica em energia elétrica. Ainda dentro do campo da pesquisa experimental, foi proposta uma nova alternativa para somar a energia elétrica oriunda das diferentes vigas da estrutura proposta, esse último item representa uma inovação tecnológica desse trabalho.

## 2.2 Piezeletricidade

A piezeletricidade foi descoberta em 1880 por Pierre e Jacques Curie, quando eles concluíram que certos cristais, principalmente o quartzo, produziam uma carga elétrica na superfície quando estavam submetidos a uma carga compressiva. Essa geração de carga elétrica ficou conhecida como efeito piezelétrico direto. Um ano depois, o efeito inverso (ou oposto) foi descoberto, quando uma voltagem induzida que causaria deformação mecânica nesses materiais foi provada matematicamente por Gabriel Lippman, e mais tarde experimentalmente observada pelos irmãos Curie (ANTON, 2011).

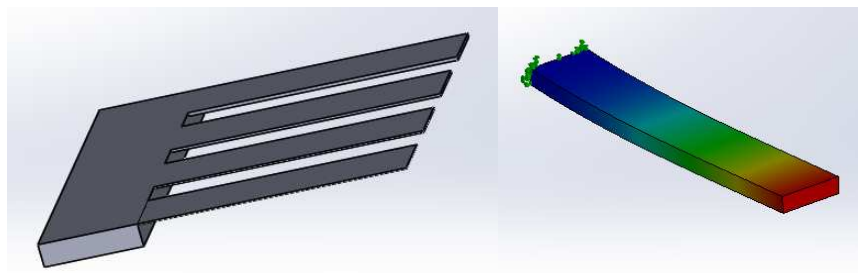
## 2.2 Piezoestrutura Multifrequência

Um dos objetivos principais deste trabalho é o projeto e construção da estrutura composta por múltiplas vigas do tipo cantilever (engastada-livre) com dimensões diferentes que por consequência possuem diferentes frequências naturais como será visto adiante, buscando dessa forma aproveitar o fato de que cada uma entrará em ressonância com uma frequência diferente de vibração oriunda de um vibrador eletromagnético (para os casos de testes) e de fontes de vibração provenientes de um ambiente industrial, esse conjunto vem sendo chamado de *cantilever array* na literatura especializada. Esse formato de sistema gerador de energia (figura 1) que tem os elementos piezelétricos acoplados ao mesmo vem sendo utilizado em trabalhos na mesma área de estudo pois ela tem como objetivo potencializar a geração de energia elétrica no final do processo, principalmente nos casos em que a frequência de vibração do ambiente não é uniforme e pode variar durante o dia de acordo com as máquinas e/ou equipamentos que estão ligados e desligados. Porém, em alguns trabalhos, especialmente naqueles em que a frequência de vibração é uniforme e definida, a concepção do sistema com múltiplas vigas com dimensões idênticas também é usado, visto que nessas condições, as mesmas teriam a mesma frequência natural ou com valores muito próximos, logo, a situação de ressonância aconteceria com todas ao mesmo tempo.

Além disso, alguns autores fazem estudos em estruturas considerando apenas uma viga, geralmente elas não produzem energia elétrica para abastecer sensores wireless ou até mesmo transmissores como os sistemas compostos por mais de uma viga, no entanto, podem ser importantes para o estudo de influências que podem sofrer e podem auxiliar na estimativa futura de produção caso a mesma seja multiplicada.



Figura 1 - Piezoestrutura Multifrequência: sistema composto por 4 vigas do tipo engastada-livre à esquerda e composto por apenas uma viga à direita.

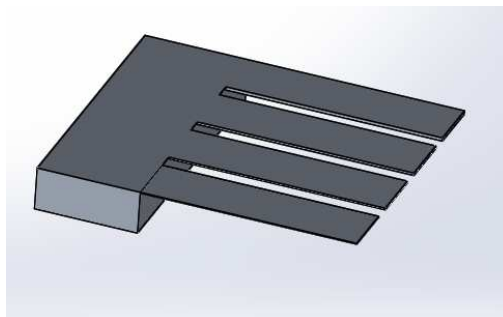


Fonte: elaborada pelo próprio autor.

### 2.3 Construção do protótipo em ambiente computacional

A elaboração do protótipo utilizando o software SolidWorks© foi dividido em partes distintas. O primeira parte do projeto construída foi a estrutura multi frequência composta por quatro vigas, o material utilizado no sistema foi a liga de alumínio 6061 (figura 2). O material foi escolhido por apresentar um baixo coeficiente de atrito, logo, ele pode se deformar mais fácil, provocando um maior deslocamento nas extremidades livre das vigas. Isso fará com que no final do processo, tenhamos uma maior produção de energia elétrica, pois esse deslocamento irá provocar uma deformação maior no material piezelétrico que estará anexado nas vigas. Além disso, quando o sistema for construído no mundo real, o alumínio é um material que apresenta boa usinabilidade.

Figura 2 - Estrutura composta por quatro vigas de alumínio em ambiente computacional Solidworks©.



Fonte: elaborada pelo próprio autor.

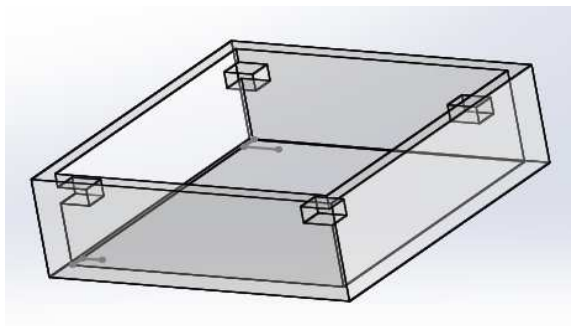
O comprimento de todas as vigas foi igual idêntico (7,3cm), esse valor foi escolhido para poder atender ao comprimento do elemento piezelétrico que vai ser anexado em cada uma das vigas. A largura das vigas também foi a mesma (1,7cm) e também foi escolhido pelo mesmo motivo. No entanto, a espessura das vigas variou sendo respectivamente: 0,25mm ; 0,5mm ; 0,75mm e 1mm. Esses valores foram escolhidos para poder variar as frequências naturais das vigas, para que cada uma delas possa entrar em ressonância com diferentes frequências de vibrações do ambiente e provenientes do ambiente industrial, aumentando assim a possibilidade de geração de eletricidade. Essa é uma importante característica desse sistema, visto que, pensando na etapa de construção do equipamento, é possível variá-lo para atender a especificidades de cada cliente que possui diferentes equipamentos e ruídos de vibração em sua indústria.

A segunda parte do projeto foi a elaboração da caixa (figura 3) que servirá de suporte para receber a estrutura com as vigas, a caixa foi elaborada em material de acrílico, pois o material é rígido e não iria se deformar com as vibrações do ambiente, além disso, o mesmo



terá pouca influência nas frequências de ressonância de cada uma das vigas. O objetivo dessa caixa também é facilitar o transporte do equipamento e permitir a fixação do mesmo em diferentes locais.

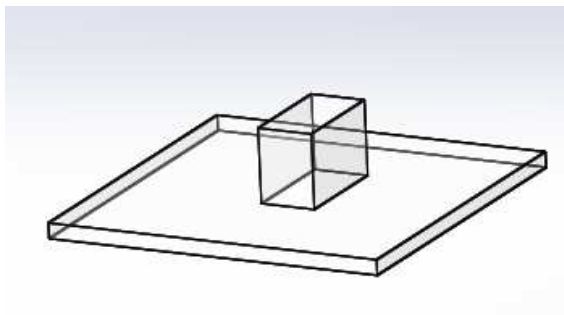
Figura 3 - Caixa que servirá de suporte para a estrutura construída em ambiente computacional Solidworks©.



Fonte: elaborada pelo próprio autor.

A terceira parte do projeto foi a elaboração da parte superior da caixa (figura 4), ela também foi feita em acrílico e serve para proteger os elementos piezelétricos que estão anexados nas vigas de alumínio, ela apresenta ainda um bloco na parte de cima para facilitar a abertura da estrutura.

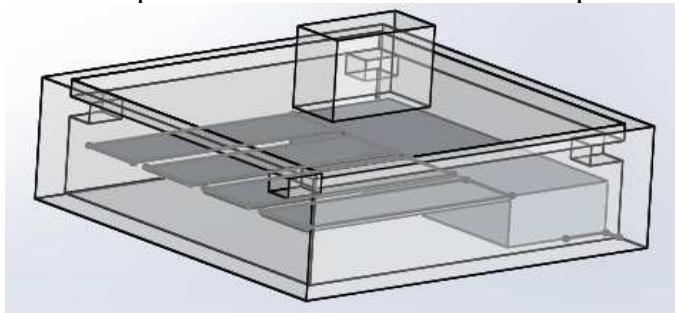
Figura 4 - Parte superior da caixa construída em ambiente computacional Solidworks©



Fonte: elaborada pelo próprio autor.

Na imagem abaixo, podemos ver o resultado final da construção do protótipo em ambiente computacional, nas superfícies das vigas, temos os detalhes dos materiais piezelétricos anexados ao mesmo.

Figura 5 - Estrutura completa construída em ambiente computacional Solidworks©.



Fonte: elaborada pelo próprio autor.





### 3 Resultados

Com base em equações estudadas ao longo do desenvolvimento do trabalho, as frequências naturais das vigas foram encontradas, sendo elas respectivamente: 56,8Hz (viga de 0,25mm de espessura); 113,6Hz (viga de 0,5mm de espessura); 227,2Hz (viga de 0,75mm de espessura); 454,4Hz (viga de 1mm espessura), quando esses valores foram comparados com a simulação feita no software SolidWorks®, os resultados encontrados foram bem parecidos (62,3Hz ; 107,88 Hz ; 158,83Hz ; 209,55Hz respectivamente) nas duas primeiras vigas, porém, nas duas últimas os valores foram bem divergentes, isso deve ter ocorrido devido as interações mecânicas que o Solidworks® calcula ao se fazer a modelagem, interações essas que não são levadas em consideração no cálculo matemático.

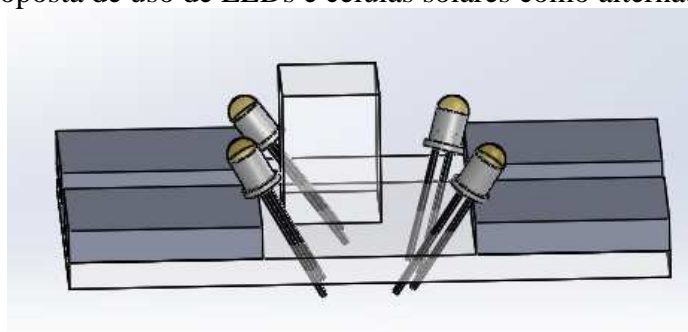
Com base na equação piezelétrica, e nas características do elemento piezelétrico escolhido (PVDF), e com a modelagem de deslocamento  $\delta$  das vigas obtidas através do software Solidworks®, foi feito o cálculo da quantidade de tensão elétrica produzida pelo protótipo apresentado na seção anterior.

A tensão de circuito aberta ( $V_{oc}$ ) produzida pelas quatro vigas foram respectivamente: 2,26Volts (para a viga de 0,25mm de espessura); 5,57Volts(viga de 0,5mm de espessura); 10.09Volts(viga de 0.75mm de espessura) ; 15.54Volts(viga de 1mm de espessura). Todos esses valores são referentes aos valores de pico.

A tensão produzida está em sinal alternado, logo, elas precisariam passar por um processo de retificação para que pudessem ser aplicadas em dispositivos que foram citados como exemplo no início desse trabalho. No entanto, a ideia desse projeto é justamente apresentar uma alternativa para essa etapa, visto que muitos pesquisados já relataram que a retificação tem se mostrado uma opção ineficiente.

Portanto, na imagem a seguir podemos ver a concepção da alternativa proposta nesse projeto, que é o uso de LEDs e pequenas células solares que serão acoplados na parte de cima da tampa de acrílico que protege a estrutura interna. Os fios oriundos dos elementos piezelétricos mostrados serão ligados nos LEDs, que por consequência, iluminarão as células solares.

Figura 6 - Proposta de uso de LEDs e células solares como alternativa para retificação.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Conforme o diagrama mostrado abaixo, a energia elétrica gerada na etapa 1, ainda em corrente alternada vai passar por alguns processos até ser transformada em tensão elétrica em sinal de corrente contínua. Esse processo acontece com o uso dos LEDs , visto que os mesmos são operados em tensão que gira em torno de 0,5Volts em corrente alternada (etapa 2), e os mesmos LEDs irão fornecer luminosidade para as células solares (etapa 3), que pelo efeito fotoelétrico irá produzir tensão elétrica em sinal de corrente contínua(etapa 4).



Figura 7 - Diagrama da conversão de energia em todo processo.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

No que diz respeito a viabilidade financeira, este projeto se mostra bastante atrativo, visto que o custo com materiais usados no projeto é de aproximadamente R\$150,00 (de acordo com pesquisa de mercado). O custo com a produção também não é elevado, pois o único equipamento utilizado seria a máquina de comando numérico para o corte do alumínio. O valor pode ser rapidamente recuperado, pois a economia do uso de baterias e até mesmo de mão-de-obra especializada para substituição das mesmas em equipamentos de difícil acesso vai ser experimentado nos ambientes industriais aonde eles seriam aplicadas.

A eficiência dessa alternativa proposta só será provada com a construção do protótipo com os materiais que foram simulados no mundo real, que será feita em breve. Porém, pode-se afirmar que a geração de energia elétrica em corrente alternada oriundas dos materiais piezoeletricos é suficiente para abastecer os LEDs. No entanto, não é possível modelar a última etapa do processo, visto que as características das células solares podem variar, além do fato de que a própria iluminação do ambiente irá afetar a quantidade de energia produzida.

Portanto, esse trabalho apresenta uma inovação tecnológica em forma de protótipo construído em ambiente computacional para resolver uma problemática levantada em outros trabalhos propostos no que diz respeito a construção de equipamentos que utilizam a vibração para geração de energia elétrica, que é a ineficiência da retificação feita com circuitos comuns como por exemplo a ponte de *Wheatstone* formada por diodos, quando a potência gerada após retificação é relativamente baixa comparada com as demandas reais (NECHIBVUTE, 2011). Espera-se ainda que esse sistema possa ser implementado em diversos ambientes industriais graças a sua adaptabilidade e versatilidade, podendo ser no futuro uma importante fonte de geração de energia elétrica em pequenas quantidades para aplicações industriais.

## Referências

- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, p. 29-33, 2010.
- NECHIBVUTE, A., AKANDE, A.R. and LUHANGA, P.V.C. **Modelling of a PZT Beam for Voltage Generation**. 2011. Disponível em <<http://pertanika.upm.edu.my/Pertanika>>. Acesso em 10/06/2013.
- PARK, J. **Development of MEMS Piezoelectric Energy Harvesters**. Dissertação submetida à Faculdade de Pós- Graduação da Universidade de Auburn, Alabama-EUA: 2010.