

Sensor de Vibração Mecânica Utilizando Plataforma Arduino e Material Piezoelétrico

Vincentte Weber B. de Freitas¹, Jusciane da C. e Silva¹

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Caixa Postal 137 - 59625 - 900 – Mossoró – RN – Brasil

Mossoró – RN – Brasil

vincentte.vw@gmail.com, jusciane@ufersa.edu.br

Abstract. *This paper has the purpose of constructing a device capable of performing mechanical vibration readings through a piezoelectric material and the electronic prototyping platform of the arduino. Using factors of conversion and correlation of electric tension and mechanical pressure applied on the material, and glimpsing the possibility of real-time monitoring of vibrational systems.*

Resumo. *Este artigo tem a finalidade de construir um dispositivo capaz de realizar leituras de vibrações mecânicas através de um material piezoelétrico e a plataforma de prototipagem eletrônica do arduino. Usando fatores de conversão e correlação de tensão elétrica e pressão mecânica aplicada no material, e vislumbrando a possibilidade de monitoramento em tempo real de sistemas vibracionais.*

1. Introdução

Estudos relacionados às áreas tecnológicas nasceram a partir do conhecimento sobre as formas de manifestação de grandezas naturais em geral, promovendo funções úteis, ou seja, aplicações a determinadas propriedades e materiais. Com esse intuito, a engenharia une conhecimentos tecnológicos e científicos, a fim de obtenção de avanços tecnológicos por pesquisa e desenvolvimento que visem a otimização de recursos para a suprir as necessidades do cotidiano da sociedade e, além disso, o desenvolvimento sustentável que já vem sendo debatido ao longo de décadas. As grandes revoluções industriais são exemplos desse desenvolvimento, com a atualização de sistemas de fabricação de forma manufaturada para as formas industriais [Crea 2013].

Atrelando conhecimentos oriundos de várias áreas da ciência é possível manipular grandezas presentes em determinados materiais com determinadas propriedades afim de atribuir-lhe funções práticas. Materiais piezoelétricos são, portanto, um ótimo objeto desse tipo de pensamento, por apresentar características de conversão de energia mecânica em energia elétrica, ou vice-versa. Na natureza, alguns materiais com essas propriedades são os cristais de quartzo, titânio de bário e sal de rochele, porém essa propriedade encontra-se com maior eficiência em materiais sintéticos, como o zirconato de chumbo e o titanato de chumbo [Perlingeiro, Pimenta & Silva 2016].

2. Objetivo

Trabalhos anteriores mostram que é possível estabelecer uma relação linear entre uma tensão mecânica aplicada em um material piezoelétrico, e sua resposta em termos da tensão elétrica e corrente produzidas [Freitas 2016]. Simplificando as relações de conversão e armazenamento de energia, é possível atrelar um coeficiente global de acoplamento eletromecânico. Unindo a isso, o conhecimento sobre a plataforma do arduino, tem-se como objetivo desse trabalho realizar leituras analógicas dos sinais enviados por um material piezoelétrico a partir do arduino, para que se tenha a visualização em tempo real dos estímulos mecânicos a quais o material está submetido, sendo possível assim, aplicar esses materiais em sistemas de leituras de vibrações mecânicas.

3. Fundamentação teórica

Os materiais piezoelétricos são materiais dielétricos, portanto, a descrição matemática do acoplamento eletromecânico nestes materiais exige uma análise que relacione suas propriedades dielétricas e mecânicas. A equação que descreve o acoplamento eletromecânico para materiais piezoelétricos pode apresentar duas formas, dependendo do sentido da conversão, a obtenção de uma polarização do material a partir de um esforço externo é determinada como conversão direta, já a segunda forma, o qual se obtém deformações no material quando aplica um campo externo é chamada de conversão indireta.

A descrição matemática dessa relação envolve duas partes, a primeira que relaciona uma conversão eletromecânica de energia, e a segunda que relaciona a resposta do próprio material ao

estímulo externo, apresentado da mesma forma de energia do estímulo, por exemplo, ao aplicar-se uma tensão mecânica a um material piezoelétrico, parte dessa energia será convertida em energia elétrica segundo uma relação linear, e a outra parte será armazenada em energia potencial elástica, segundo a lei de Hooke [Freitas 2016].

Deve-se lembrar, portanto, da seguinte relação: ao se introduzir uma certa quantidade de energia em um material piezoelétrico, parte dessa energia será convertida, e outra parte será armazenada na mesma forma de energia que foi introduzida. Seguem-se as relações de conversão direta e indireta, respectivamente, para materiais piezoelétricos de forma unidimensional, e desconsiderando a simetria do material:

$$D = d\sigma + \varepsilon \vec{E} \text{ (Direto)}, \quad (1)$$

$$\epsilon = S\sigma + d\vec{E} \text{ (Inverso)}. \quad (2)$$

Onde d representa a constante piezoelétrica, ou seja, o fator que quantifica o aspecto geral da relação linear formada entre as duas grandezas, e sua unidade é Coulomb/Newton (C/N). S é o inverso da constante elástica do material, D é o vetor deslocamento elétrico relacionado com a polarização do material, ε é sua permissividade, e ϵ representa a deformação do material. σ é a tensão mecânica que pode ser aplicada (Na forma direta), ou induzida (Na forma inversa), e \vec{E} é o vetor campo elétrico que pode ser aplicado (Na forma inversa), ou induzido (Na forma direta).

Em geral, o efeito piezoelétrico apresenta respostas diferentes de acordo com a linha de aplicação da fonte externa, ou seja, materiais piezoelétricos são anisotrópicos, portanto as equações 1 e 2 são apresentadas a partir de índices matriciais, para representar as direções de aplicação e de resposta do material [Freitas 2016].

Na interação piezoelétrica, os coeficientes elétricos e os coeficientes elásticos são medidos a partir de determinadas condições, por exemplo: ε^σ representa a permissividade do material determinada a tensão mecânica constante, uma vez que esses parâmetros são mutuamente dependentes para esses materiais. Para descrever as interações de todos os materiais anisotrópicos existem 18 coeficientes piezoelétricos, 21 coeficientes elástico e 6 coeficientes dielétricos independentes [Eiras 200?]. Essas anisotropias dos materiais piezoelétricos são importantes de serem analisadas e consideradas no processo de fabricação do material, onde o objetivo é fazer o

eixo de polarização positiva sendo orientado no sentido perpendicular a área do material. A partir desse momento as equações unidimensionais são satisfatórias para a análise. É sabido que a relação de acoplamento eletromecânico é linear, portanto, é possível associar a essa relação um parâmetro global, que resuma os fatores de conversão e de armazenamento, com a finalidade de relacionar a pressão aplicada e tensão desenvolvida de forma linear, obtendo a equação do 1º grau:

$$V = \alpha \sigma \quad (3)$$

Sendo V a tensão desenvolvida, σ a pressão aplicada, α a constante de proporcionalidade linear. A partir da equação (2), tem-se uma relação linear entre campo elétrico e deformação, então é possível desenvolver essa relação de modo a encontrar a relação de tensão elétrica e pressão, nessa análise será desconsiderado a segunda parcela da equação, que se refere justamente a parcela da energia mecânica que não foi convertida em energia elétrica, pois não são importantes nessa análise que busca a linearidade principal do processo. Considerando, portanto, somente a fase de estímulo eletromecânico, temos que $P = d\sigma$. A lei de Gauss também informa que $P = \frac{V}{L} \varepsilon$, sendo L a espessura do material. Portanto, a equação (3) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$V = \frac{dL}{\varepsilon} \sigma \quad (4)$$

A parcela $\frac{dL}{\varepsilon}$ pode ser considerada uma constante, visto que trabalha com propriedades facilmente quantificadas para o material. Chamando essa parcela de α , então, esse termo irá relacionar com os outros parâmetros partir da seguinte relação:

$$\alpha = \frac{dL}{\varepsilon} \quad (5)$$

A unidade da constante α é, portanto, Volts/Pascal (V/Pa) que representa justamente a quantidade de Volts produzidos com a aplicação de determinada pressão. A relação entre a corrente produzida e a força aplicada também é linear, segundo a lei de Ohm:

$$V = Ri \quad (6)$$

Assumindo R como a resistência do material. Então tem-se a seguinte relação:

$$i = \gamma\sigma \quad (7)$$

Sendo $\gamma = \frac{\alpha}{R}$, e sua unidade é, portanto Ampère/Pascal (A/Pa). Dessa forma, é possível abordar as equações relacionadas com a conversão eletromecânica de forma mais direta [Freitas 2016].

3.1. Arduino

O arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica, criada em 2005 na Itália, tem o objetivo de facilitar a interação do mundo físico com o mundo virtual, a partir de estímulos digitais e analógicos em suas portas [McRoberts 2011]. Nesse projeto, terá a finalidade de receber os estímulos enviados pelo material piezoelétrico e convertê-lo em um sinal que indique o valor da pressão que esse material está submetido, a partir das relações lineares desenvolvidas no tópico anterior.

4. Metodologia

O trabalho consistirá na captação dos dados fornecidos pelos materiais piezoelétricos através do arduino, aplicando fatores de conversão previamente determinados, a fim de obter os valores de pressão mecânica as quais o material está submetido. O esquema da ligação do piezo no arduino é mostrado na Figura 1.

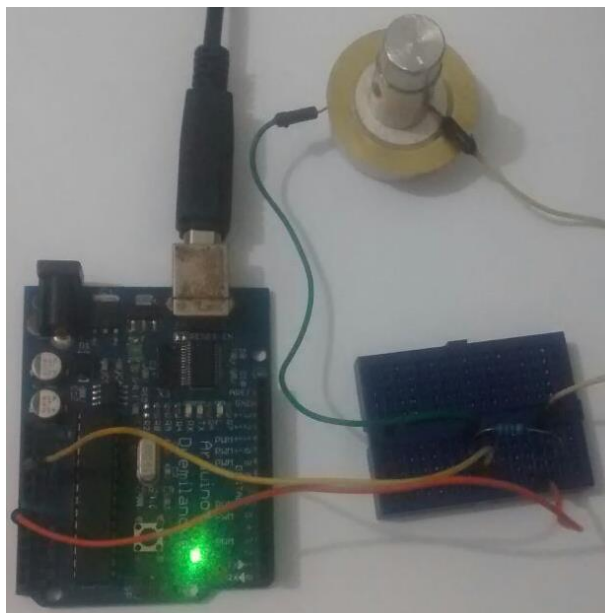


Figura 1: Ligação entre o arduino e o piezoelétrico

O resistor em paralelo tem a finalidade de amortecer os picos de tensão gerados pelo piezoelétrico quando pressionado, para que os valores permaneçam dentro da faixa segura para as entradas analógicas do arduino [Sparkfun s.d]. A partir dessa ligação, os valores de tensão obtidos são multiplicados por um fator de conversão de aproximadamente 0,69 (V/MPa). Esse fator foi obtido experimentalmente, utilizando cargas controladas com uma área de contato de 113 mm², que também é visível na Figura 1, e sabendo que o piezo utilizado possui uma área de 452,16 mm². Esse experimento constatou que os melhores coeficientes de correlação são obtidos em áreas mais próximas da área do material, pois isso promove uma uniformidade na distorção do material, o que aumenta o número de dipolos estimulados. A partir do procedimento experimental realizado para a obtenção desse coeficiente de conversão foi obtida a curva a seguir na Figura 2.

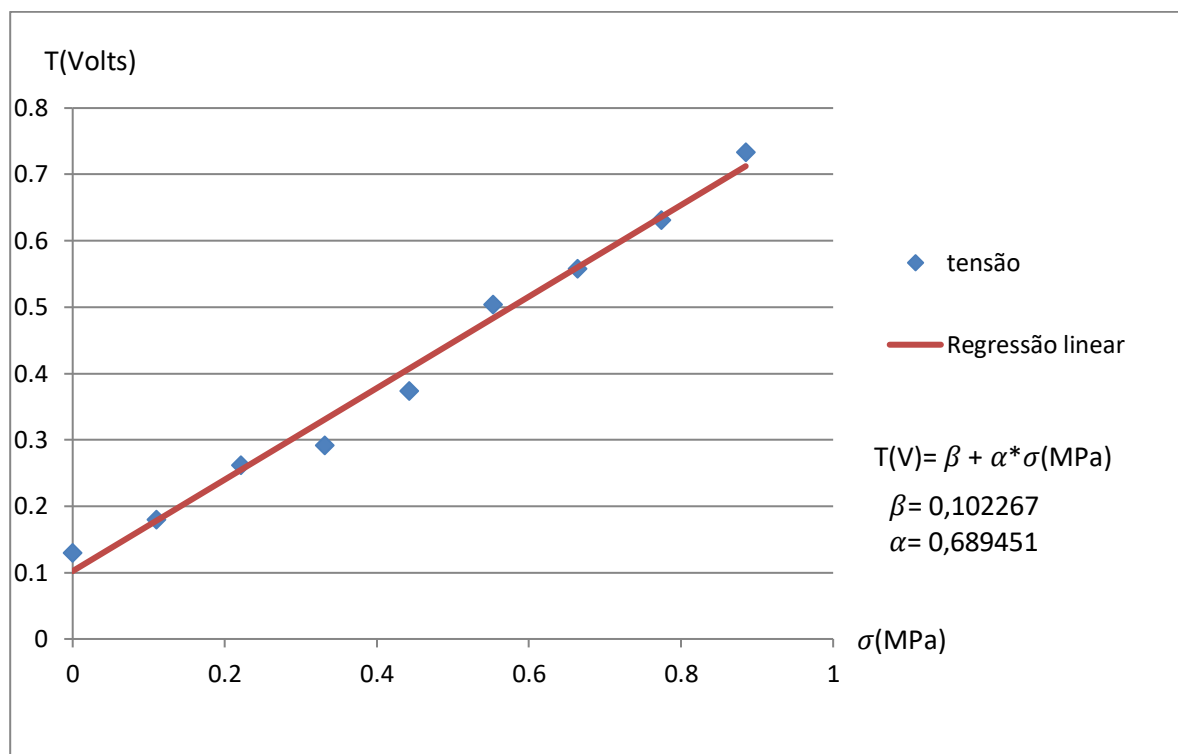


Figura 2: Curva Tensão mecânica X tensão elétrica

Nesse caso, o valor do coeficiente linear β está presente devido uma pré-carga imposta ao dispositivo durante os testes realizados, que no caso foi o recipiente utilizado para a aplicação das cargas, e pode ser desconsiderado na relação linear que se busca estabelecer entre a tensão mecânica e tensão elétrica no piezoelétrico.

Conhecido o valor do coeficiente angular, foi feito o código que recebe os valores na entrada A_0 , e converte em um valor de tensão elétrica equivalente, com base na resolução da entrada analógica do arduino, no caso 5/1023 [Sparkfun s.d]. Em seguida, irá converter o valor de tensão elétrica em um valor de tensão mecânica devido à relação linear estabelecida, e então o programa deverá imprimir os valores registrados nessa entrada analógica a cada 100 milissegundos, e imprimir através da porta serial do arduino.

5. Resultados

Através do circuito e código desenvolvidos, foi possível realizar um monitoramento em tempo real da pressão mecânica aplicada no material piezoelétrico a partir de tensões elétricas produzidas por este. Os resultados registrados pelo programa foram plotados a partir do comando Plotter Serial durante um determinado período de execução do código, e estão apresentados

Figura 3, onde os resultados estão em Pa. A partir dessas informações é possível detectar anomalias em sistemas vibracionais de acordo com picos apresentados, pois a partir dos valores de tensão a que o material piezoelétrico está submetido, é possível encontrar os níveis de deformação do sistema que está transmitindo essa vibração para o material.

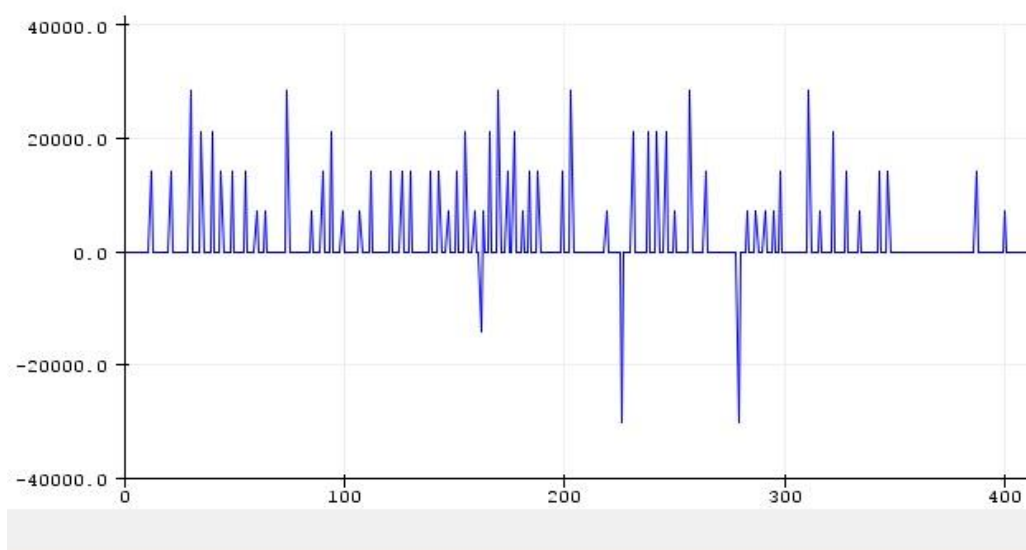


Figura 3: Saída de dados

O circuito utilizado nesse projeto foi bastante simples, uma vez conhecidas as limitações do material utilizado com relação às tensões elétricas desenvolvidas, mas para sistemas e materiais mais sofisticados é necessário adicionar alguns componentes de segurança e de estabilização do sinal, como o diodo Zener e um capacitor em série com o material, pois as tensões geradas podem ser muito altas e danificar os componentes da placa [Patsko 2006]. Além disso, o material utilizado nesse projeto apresenta limitações mecânicas consideráveis, uma vez que durante os testes, cargas inferiores a 10 Newtons foram suficientes para trincar o material, e após isso os sinais enviados foram drasticamente reduzidos, o que mostra sua fragilidade e limitação de aplicação.

6. Considerações Finais

Através do trabalho desenvolvido, foi possível verificar a aplicabilidade de materiais piezoelétricos como sensores de vibração mecânica, através da união de suas propriedades e das grandes possibilidades promovidas pela plataforma do arduino, além de apresentar uma relação linear mais prática que a convencional, uma vez que só considera a parcela de energia convertida,

o que foi demonstrado de forma satisfatória através da relação linear estabelecida experimentalmente e introduzida ao código.

Referências

Crea-rn. (25 de 10 de 2013). Disponível em < <http://www.crea-rn.org.br/artigos/ver/120>>
Acesso em 8 de 11 de 2016.

Eiras, J. A. (200?). "Materiais Piezoelétricos",
http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/ceramicas/artigos/Sensores_Teoria_e_Aplicacoes.pdf, Março.

Freitas, V. W. (2016). " Utilização de Materiais Piezoelétricos Como Fonte Alternativa Para a Geração de Energia Elétrica", Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal Rural Do Semi-Árido. Mossoró.

McRoberts, M. (2011). *Arduíno básico*. São Paulo: Novatec.

Perlingeiro, A. R., Pimenta, G. M., & Silva, S. E. (2016). "Geração de Energia Através de Materiais Piezoelétricos". Rio de Janeiro.

Sparkfun. (s.d). Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/piezo-vibration-sensor-hookup-guide>>. Acesso em 15 de Março de 2017.

Patsko, Luís Fernando (2006). "Tutorial, aplicação, funcionamento e utilização de sensores", http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf