

# **PISO FORMADO POR RESÍDUOS DO MÁRMORE BEGE BAHIA E RESINA COM CIRCUITO BASEADO EM SENSOR PIEZZO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**

## **FLOOR MADE FROM BEIGE BAHIA MARBLE RESIDUES AND RESIN WITH CIRCUIT BASED ON PIEZOELECTRIC SENSOR FOR ENERGY GENERATION**

**Lucas Marques Palermo de Aguiar**

Aluno de engenharia elétrica, 6º período, UFRJ  
Período PIBIC/CETEM  
lucasma2000@poli.ufrj.br

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.  
rcarlos@cetem.gov.br

**Marceli do Nascimento da Conceição**

Orientadora, Química, D.Sc.  
mconceicao@cetem.gov.br

### **RESUMO**

Um dos grandes papéis do estudo de engenharia elétrica é buscar fontes renováveis que se mostrem suficientemente eficientes para conseguir abastecer a demanda energética atual. Para alcançar esse objetivo, diversas formas de geração de energia como a eólica, solar, hidrelétrica, são constantemente aprimoradas e estudadas, visando aumentar cada vez mais sua eficiência. Nesse cenário, a procura por novas formas de geração de energia também se mostra crucial para se resolver a questão energética global. Tendo em vista isso, materiais piezoelétricos têm sido estudados como uma possível forma de geração de energia em média e pequena escala. O uso de cristais piezos não são recentes no mundo da eletrônica, já fazendo parte de diversos circuitos para sensoriamento, sendo importantes sobretudo para detecção de vibrações, variação de pressão e deformação sobre o material. Todavia, explorar sua capacidade para geração de energia a ser consumida por diversos tipos de cargas é um estudo que teve como objetivo esse trabalho. Para isso, foi montado um circuito contendo pastilhas piezoelétricas em conjunto com o microcontrolador Arduino Uno, aderido à base da rocha artificial formada com resíduos do Mármore Bege Bahia. Desse modo, o sinal gerado pelo piezo era enviado para o Arduino, visando processá-lo e posteriormente alimentar os LEDs por meio da sua própria alimentação interna. Assim, mantendo-se uma taxa constante de energia pôde-se realizar o acendimento das luzes à medida que se exercia uma força normal ao piso.

**Palavras-chave:** piezoeletricidade, resíduos de mármore bege bahia, geração de energia.

### **ABSTRACT**

One of the major roles of the study of electrical engineering is to search for renewable sources that prove to be efficient enough to be able to meet current energy demand. To achieve this objective, various forms of energy generation, such as wind, solar and hydroelectric, are constantly improved and studied, aiming to increasingly increase their efficiency. In this scenario, the search for new forms of energy generation is also crucial to solving the global energy issue. With this in mind, piezoelectric materials have been studied as a possible way of generating energy on a medium and small scale. The use of piezo crystals is not new in the world of electronics, they are already part of several sensing circuits, being important above all for detecting vibrations, pressure variations and deformation on the material. However, exploring its capacity to generate energy to be consumed by different types of loads is a study

whose objective in this work was to assemble a piezo circuit using the Arduino Uno microcontroller adhered to the base of artificial rock formed with residues of Bahia Beige Marble. In this way, the signal generated by the piezo was only for the Arduino to process and subsequently power the LEDs through its own internal power supply. Thus, maintaining a constant energy rate, it was possible to turn on the lights as the force of stepping on the floor was exerted.

**Keywords:** piezoelectricity, dimension stones waste, power generation.

## **1. INTRODUÇÃO**

A produção e o consumo de rochas ornamentais no Brasil apresentou crescimento notável nas últimas décadas, devido sua utilização em revestimentos externos de prédios, pisos, paredes, mesas, pias, etc. O processo de extração de rochas ornamentais começa nas pedreiras, onde essa rocha é encontrada na sua forma natural. O bloco rochoso é extraído através de cortes realizados com fios diamantados, onde é então levado às serrarias para realização do beneficiamento e geração das chapas finais. Nesse contexto, o Estado da Bahia posiciona-se como o terceiro maior produtor de rochas ornamentais do Brasil, possuindo a mais completa diversidade de cores de rochas do país, que vão desde as suas mais famosas rochas azuis, passando para uma variedade de cores incluindo-se mármore, granitos, arenitos e conglomerados. Destaca-se o calcário conhecido comercialmente como Bege Bahia que é um material abundante na região do rio Salitre.. É identificado como mármore quando, além do padrão estético tão apreciado no Brasil, evidenciam-se as propriedades físicas e tecnológicas do material utilizado como rocha ornamental conhecido como Mármore Bege Bahia. No entanto, desde a lavra ao beneficiamento gera-se uma quantidade significativa de resíduos que ultrapassa 80% sendo um grave problema ambiental que precisa ser mitigado (VIDAL, et al., 2019; RIBEIRO 2022).

## **2. OBJETIVO**

O objetivo do trabalho foi utilizar cristais piezoelétricos aderidos em rochas formadas por resíduo do Mármore Bege Bahia, utilizando o microcontrolador Arduino Uno, para geração de energia elétrica devido à pressão exercida pela pisada na rocha.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 Material Utilizado**

O material utilizado consiste em pastilhas piezoelétricas de diâmetros de 25 e 35mm, um microcontrolador Arduino, periféricos eletrônicos para elaboração dos circuitos - como resistores e fios de cobre, além de uma pedra artificial de Bege Bahia, onde o sistema é acoplado.

### **3.2 Ensaio da Tensão Produzida por Pastilhas de 25mm e 35mm**

O primeiro passo, anterior à montagem dos circuitos, foi avaliar se a diferença em diâmetro das pastilhas piezoelétricas afetava a eficiência para conversão eletromecânica de energia. Para isso, foi montado um esquema de conexão com um osciloscópio e cada pastilha (Figura 1), visando identificar se havia uma relação entre o tamanho da pastilha piezoelétrica e a tensão de pico produzida.

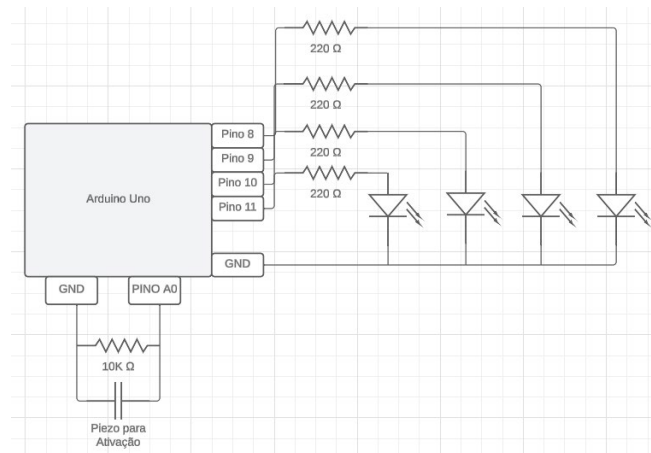
Na ausência de prensa para controlar a pressão aplicada com precisão, foram realizadas 100 medições de tensão para o pisar de um mesmo indivíduo. O número grande de medições teve como objetivo principal reduzir o erro presente na variação de pressão aplicada e tentar obter um resultado médio mais fidedigno para ser feita a comparação.



**Figura 1:** Circuito para medição da tensão produzida por cada pastilha.

### 3.3 Montagem do Circuito

Para fazer a montagem de um circuito que se baseava na emissão de sinal de um piezo para acionar o sistema de iluminação, utilizou-se o microcontrolador Arduino Uno e outros componentes eletrônicos, tais como resistores e fios de cobre. Desse modo, o sinal gerado pelo piezo era enviado ao microcontrolador, que por sua vez foi responsável por analisar esse sinal e posteriormente realizar a alimentação dos LEDs, resultando uma taxa constante de energia capaz de manter as luzes acesas (Figura 2).



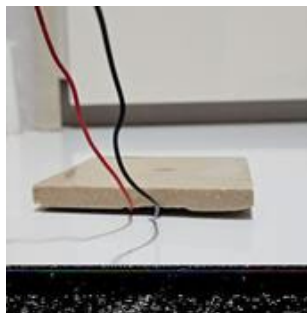
**Figura 2:** Esquemático do circuito.

### 3.4 Software Utilizado

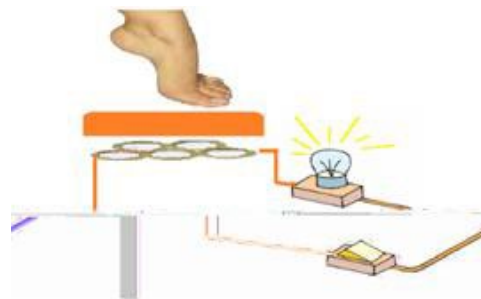
Para podermos controlar os diversos pinos digitais e analógicos do Arduino, foi usado o software *Vscode* para ser escrito um código em C++. Dessa forma, o objetivo do código era ser capaz de interpretar um determinado valor de tensão da pastilha fazendo uso de um limiar de sinal recebido. Assim, pôde-se ter certeza de que a energia recebida não era proveniente de ruídos que poderiam impactar o piezo, mas de uma pisada para de fato ser ativado o circuito de iluminação. Após essa verificação do sinal recebido, os pinos digitais do Arduino iriam energizar os LEDs conectados no terminal do controlador acendendo um de cada vez em um intervalo de 500ms, simulando a utilização do circuito para acendimento das luzes de uma escadaria.

### 3.5 Protótipo

Montou-se um protótipo do piso contendo o circuito com a quantidade de pastilhas adequadas na parte inferior (Figura 3A) e à medida que as pessoas exercerem uma força normal ao piso o sistema gera o sinal elétrico (Figura 3B). Tal circuito foi interligado a uma maquete que representa um sistema de casas onde as lâmpadas se acendem com o estresse mecânico aplicado ao piso material.



**Figura 3A:** Piso com a pastilha.



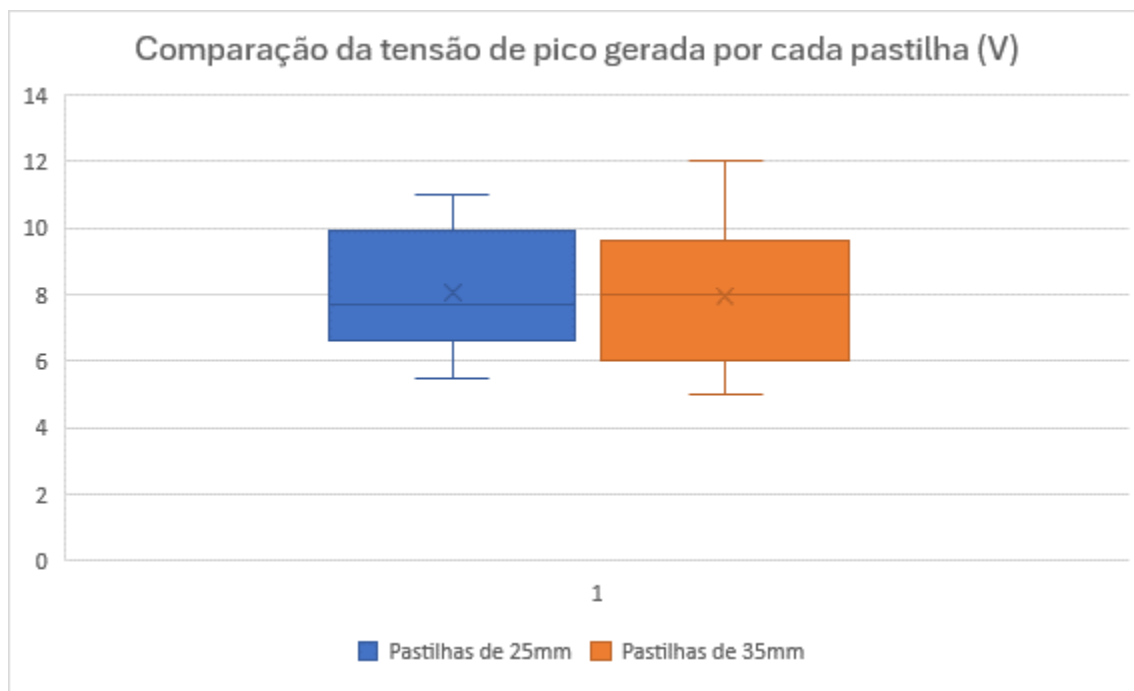
**Figura 3B:** Geração de energia pela força da pisada.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pela análise dos dados obtidos, não houve uma variação notória ao utilizarmos pastilhas de 25mm ou 35mm. A mediana da tensão gerada – linha preta dentro dos blocos – e o terceiro quartil – face superior dos blocos, se mostram suficientemente próximos, não havendo justificativa para ser optado um piezo em detrimento do outro.

Os box-plots (Figura 4) apresentam os resultados comparativos de tensão gerada por cada pastilha em osciloscópio, os quais verificam que piezos geram energia na forma de corrente alternada, sendo as de diâmetro de 25mm mais eficazes, sendo escolhidas para montagem do sistema.

Uma grande vantagem de o microcontrolador ser acoplado ao circuito é a versatilidade que isso traz ao protótipo. Uma vez que o Arduino permite que seja escrito um código capaz de controlar seus diversos pinos digitais e analógicos, poderíamos associar outros periféricos ao circuito, tais como motores, displays de LCD, sensores diversos e quaisquer outros componentes eletrônicos que possam ser controlados via o microcontrolador.



**Figura 4:** Box-Plot de cada pastilha após medição no osciloscópio.

Baseado nos resultados obtidos, pôde-se montar um piso constituído com os piezos de 25 mm que foram afixados na parte inferior do piso de Mármore Bege Bahia. Desse piso saiu um conjunto de fios que se associavam aos LEDs de uma maquete que simula uma residência, e ao pressionar a plataforma de rocha ornamental, um sinal é enviado para uma entrada do Arduino que acionou todo o sistema de iluminação, como verificado na Figura 5.



**Figura 5:** Protótipo da rocha com as pastilhas interligadas na maquete.

## **5. CONCLUSÃO**

Pôde-se concluir a possibilidade de geração de um piso constituído de resíduos de rochas constituído em sua base de pastilhas de 25mm formando um circuito constituído de um microcontrolador e um piezo para enviar um sinal de controle para o LED. Ademais, o sistema eletrônico juntamente com o piso artificial se mostrou funcional para geração de energia, sendo corretamente ativado ao se aplicar pressão normal à pastilha.

## **6. AGRADECIMENTOS**

Ao CETEM e UFRJ pela infraestrutura e ao CNPq pela bolsa.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Ribeiro, R.C.C. (2022) Geração de Pisos geradores de energia contendo resíduos do Mármore Bege Bahia, Chamada CNPq/CT- Mineral Nº 28/2022 - PD&I, Gestão e Extensão Tecnológica, Infraestrutura Laboratorial, Capacitação e Formação de RH para Mineração e Transformação Mineral em Micro, Pequena e Média Escala.

Sodano, H.A.; Park, G.; Leo, D.L.; INMAN, D.J. (2003) Use of piezoelectric energy harvesting devices for charging batteries, in Smart Structures and Materials: Smart Sensor Technology and Measurement Systems, pp. 101-108, San Diego, California, USA.

KIM, Y.G. (2022) Piezoelectric strain sensor with high sensitivity and high stretchability based on kirigami design cutting. npj Flexible Electronics, vol. 6, n. 1.

SAFAEI, M.; SODANO, H.A.; ANTON, S.R. (2019). A review of energy harvesting using piezoelectric materials: State-of-the-art a decade later (2008-2018). Smart Materials and Structures, vol. 28, n. 11.

VIDAL, F.W.H.; GUERRA, E.A.; ARRAES, T.M.; SILVA, C.F.C.E.; COSTA, J.A.V.; BEZERRA, F.D.; SILVA FILHO, R.T.; BRAGA, T.E.N.; CASTRO, N.F. (2019). Apoio do governo federal ao desenvolvimento tecnológico e à extensão tecnológica para arranjos produtivos locais (APL) de base mineral caso APL de rochas ornamentais.