

# ESTUDO DA CAPACIDADE DE MICROGERAÇÃO E APLICAÇÃO DE ENERGIA PIEZOELÉTRICA

## STUDY OF THE MICROGENERATION CAPABILITY AND APPLICATION OF PIEZOELECTRIC ENERGY

Jean Victor Brion Motta e Silva<sup>1</sup>  
João Victor Inocêncio Mota<sup>2</sup>  
Rochester Freitas de Carvalho<sup>3</sup>

### RESUMO

Este estudo aborda o estudo da capacidade da microgeração de energia utilizando placas piezoelétricas através de ensaios em laboratório. As placas piezoelétricas possuem a característica de transformar energia mecânica em energia elétrica de acordo com a pressão exercida sobre elas, o que faz com que essa energia seja limpa e sustentável. A tecnologia para a geração de energia limpa por piezoeletricidade já é realidade em outros países como Japão, França, Inglaterra e Israel. Através de fontes científicas juntamente com testes em laboratórios, analisa-se o melhor tipo de base para as placas piezoelétricas para termos uma maior geração de energia. Utilizando a melhor base de acordo com os resultados obtidos, é construído um protótipo de piso com placas piezoelétricas, realizando testes com diferentes tipos de associação das placas para, utilizando um controlador de carga, poder carregar uma bateria de chumbo ácido. O estudo mostra que não é viável utilizar sistema com as placas e o controlador de carga para carregar uma bateria, mas é possível identificar, de acordo com os resultados obtidos, pontos de melhorias para futuras pesquisas.

**Palavras-Chave:** Geração de energia; energia sustentável; piezoeletricidade; piezoelétrico.

### ABSTRACT

This study addresses the improvement of the capability of micro-generation of energy using piezoelectric plates through laboratory tests. Piezoelectric plates have the characteristic of transforming mechanical energy into electrical energy according to the pressure exerted on them, which makes this energy clean and sustainable. The technology for generating clean energy by piezoelectricity is already a reality in other

---

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – Centro Universitário de Barra Mansa. E-mail: [jean.silva@graduacao.ubm.br](mailto:jean.silva@graduacao.ubm.br).

<sup>2</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – Centro Universitário de Barra Mansa. E-mail: [joao.mota@graduacao.ubm.br](mailto:joao.mota@graduacao.ubm.br).

<sup>3</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – Centro Universitário de Barra Mansa. E-mail: [rochester.carvalho@graduacao.ubm.br](mailto:rochester.carvalho@graduacao.ubm.br).

countries such as Japan, France, England and Israel. Through scientific sources together with laboratory tests, the best type of base for piezoelectric plates is analyzed in order to have a greater energy generation. Using the best base according to the results obtained, a floor prototype is built with piezoelectric plates, carrying out tests with different types of association of the plates to, using a charge controller, be able to charge a lead acid battery. The study shows that it is not feasible to use a system with the plates and the charge controller to charge a battery, but it is possible to identify, according to the results obtained, points of improvement for future researches.

**Keywords:** Power generation; sustainable Energy; piezoelectricity; piezoelectric.

Data de Submissão: 04/07/2022

Data de Aprovação: 04/07/2022

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a maior parte da matriz elétrica brasileira é composta por energia proveniente de usinas hidrelétricas, assim sendo majoritariamente renovável. Entretanto, este cenário vem passando por transformações, como a redução da participação das usinas hidrelétricas. (BRASIL, 2021)

“As fontes renováveis representam 84,8% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável.”. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021, p.17).

A evolução da geração de energia, conciliada a preservação do meio ambiente, tem sido um tema cada vez mais abordado e um grande desafio da atualidade, pois deve-se gerar energia de modo sustentável, isso é, de forma limpa e renovável, e assim garantir um planeta melhor para as futuras gerações. Devido a tal necessidade, surge a necessidade da busca por fontes alternativas de energia elétrica. Dentre estas fontes desponta a piezoelectricidade, pois tem como principais vantagens os mais variados modos de aplicação e, principalmente, a matéria prima utilizada é o movimento (MATOS *et al.*, 2016).

Os materiais que possuem características piezoelétricas são capazes de transformar essa energia mecânica em energia elétrica, logo, quando aplicados em locais estratégicos, podemos obter energia elétrica de modo sustentável. O andar das pessoas, o tráfego de automóveis, o movimento de um amortecedor de um veículo, todos esses movimentos possuem uma característica em comum, eles geram energia

mecânica, que resultam de um peso e velocidade sobre uma determinada área. Em muitos países a geração por piezoelectricidade já é testada e aperfeiçoada a alguns anos, no Japão, especificamente em sua capital Tóquio, em 2008 a empresa JR East alimenta letreiros e catracas de uma estação de metrô por meio de um piso com tecnologia piezoelétrica, a empresa Innowattech, de Israel, também faz experimentos com placas geradoras em estações de metrô, trilhos do trem, pistas de aeroporto e estradas, na Inglaterra na cidade de Gloucester, foi instalado estas placas em um estacionamento de supermercado a alguns anos, na França na cidade de Toulouse, pioneira na utilização de piezoelectricidade nas calçadas, conseguiram produzir 480W de electricidade em sua região central da cidade (JULIÃO, 2016).

O objetivo do trabalho é analisar o comportamento da geração de energia das placas/pastilhas de piezo (quartzo) instaladas em três bases diferentes, buscando métodos para melhorar sua produção de energia, assim, selecionar o melhor resultado de geração e para a aplicação numa área externa. A piezelectricidade é uma forma de geração limpa e de reaproveitamento de energia mecânica desperdiçada logo, vem ganhando espaço em artigos científicos, teses, livros, dentre outras mídias. Como a sociedade está em busca de métodos de geração energia limpa, buscamos expor neste trabalho como ocorre a geração energia, uma de suas aplicações e seu custo de implementação.

## 2 DESENVOLVIMENTO

De acordo com Luciano (2016), o pensamento com relação a recuperação de energia que seria desperdiçada não é recente, ela foi descoberta por Thomas Seebeck em 1826. No âmbito da eficiência energética tal ideia recebeu o termo colheita de energia traduzido da expressão inglesa, *energy harvesting*. A colheita corresponde ao processo de conversão de uma fonte de energia livre em electricidade destinada para uma utilização final. Na atualidade, há diversos métodos de recuperação de energia e cada vez mais sendo utilizados em diversos sistemas fotovoltaicos; eólicos; transdutores eletromecânicos e balanças que utilizam o efeito piezoelétrico, dentre outros.

Nos últimos anos diversos países continuam na busca por fontes de energia renováveis e limpas, a piezoelectricidade pode ser um grande manancial de energia limpa (JULIÃO, 2016).

## 2.1 MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS

De acordo com Rezende (2004, p. 473), a piezoelectricidade foi descoberta no final do século XIX por Pierre Curie, ele constatou a presença de cargas de polarização produzidas por uma tensão mecânica aplicada à um material dielétrico, assim, gerando um campo elétrico e constatou também o oposto desse efeito, através da aplicação de um campo elétrico nesse material dielétrico observou-se a deformação mecânica no mesmo.

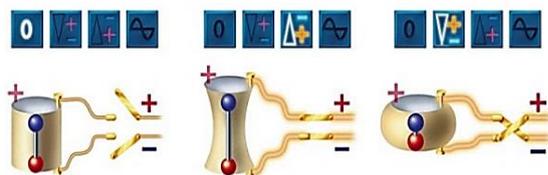
Certos dielétricos possuem a característica de desenvolver uma polarização quando submetidos a uma tensão mecânica e essa polarização cria cargas de polarização e, conseqüentemente, um campo elétrico o que caracteriza o efeito piezoelétrico direto. Do mesmo modo, a aplicação de um campo elétrico em um material dielétrico com as mesmas características mencionadas, cria-se uma deformação mecânica, ou seja, um efeito reverso (REZENDE, 2004). Os efeitos piezoelétricos direto e reverso estão sendo ilustrados nas figuras 1 e 2, respectivamente. O termo piezoelectricidade é proveniente do grego *piezein* no qual tem o significado de apertar/pressionar.

Figura 1 - Efeito piezoelétrico direto



Fonte: Disponível em: <https://www.ceramtec.com.br/materiais-ceramicos/piezoceramicos/basicos/>  
Acesso em: 21 maio 2022

Figura 2 - Efeito piezoelétrico reverso



Fonte: Disponível em: <https://www.ceramtec.com.br/materiais-ceramicos/piezoceramicos/basicos/>  
Acesso em: 21 maio 2022

Segundo Rezende (2004), a polarização em materiais genuinamente piezoelétricos é nula quando não existe tensão mecânica ou campo elétrico externo. As propriedades piezoelétricas não são observadas apenas em materiais dielétricos, também se apresentam em materiais como o sulfeto de cádmio (CdS), óxido de zinco

(ZnO) e outros semicondutores. Apenas alguns cristais com propriedades piezoelétricas são inseridos em aplicações práticas, embora haja aproximadamente mil materiais conhecidos. Os materiais piezoelétricos são muitas das vezes inseridos na construção de transdutores eletromecânicos. Um dos cristais mais utilizados e significativo para certos casos na eletrônica, é o quartzo ( $SiO_2$ ) com uma constante piezoelétrica de  $d_{11} = 2 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ . Comumente utilizado para finalidade de gerar ondas de alta frequência por exemplo. Alguns materiais são genuinamente piezoelétricos, mas há outros tipos de materiais, os Ferroelétricos, que também possuem características piezoelétricas. Niobato de Lítio ( $LiNbO_3$ ), Titanato de Bário ( $BaTiO_3$ ) e o Titanato de Chumbo e Zircônio ( $Pb_{0,5}Zr_{0,5}TiO_3$ ), este último conhecido como PZT, são os materiais piezoelétricos e ferroelétricos com maior destaque. O elemento cerâmico PZT tem uma constante dezenas de vezes maior que o quartzo, por volta de  $d_{33} = 3,7 \times 10^{-10} \text{ m/V}$ , e devido a este valor é atualmente a cerâmica mais empregada e em transduções eletromecânicas em baixas frequências de ondas elásticas. Diferentemente dos elementos genuinamente piezoelétricos os ferroelétricos possuem na inexistência de campos externos uma polarização espontânea, tal característica tem sua origem no momento de dipolo elétrico devido ao movimento das cargas.

## 2.2 DIODO

De acordo com Boylestad (2012), os diodos são componentes eletrônicos semicondutores que somente deixam fluir corrente elétrica em um único sentido, determinado pelo seu tipo de construção. Empregado para converter sinais de corrente alternada para sinais de corrente contínua, assim, mantendo apenas um semiciclo da forma de onda senoidal, daí o seu amplo uso como retificador.

## 2.3 RETIFICADORES

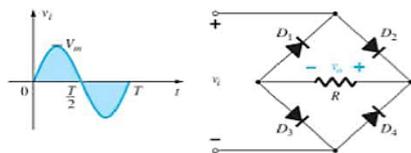
Como a rede elétrica entrega tensão alternada faz-se necessária, a conversão para tensão contínua para que a grande maioria de equipamentos eletrônicos funcionem como desejado. Para tal conversão utiliza-se o circuito retificador (MALVINO; BATES, 2016, p.86).

Existem três tipos de retificadores, meia onda, onda completa em ponte e com tomada central. Neste trabalho, será detalhado o retificador em ponte.

### 2.3.1 Retificador de onda completa em ponte

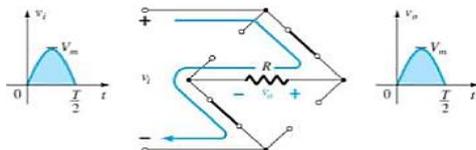
A disposição dos diodos neste outro tipo de retificação encontra-se na figura 3. Este retificador é normalmente utilizado para melhorar o sinal CC. Os diodos ideais D2 e D3 estão em condução no semiciclo positivo (figura 4), e os diodos D1 e D4 estão em condução no semiciclo negativo (figura 5), assim, realizam pulsos positivos na saída do retificador ao decorrer do ciclo completo (BOYLESTAD; NASHELKY, 2013, p. 66).

Figura 3 - Circuito retificador em ponte



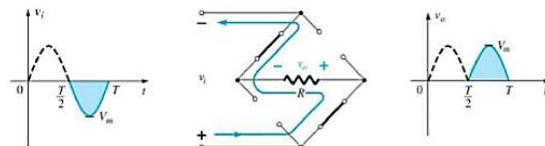
Fonte: Boylestad e Nashelsky (2013)

Figura 4 - Condução dos diodos no semiciclo positivo



Fonte: Boylestad e Nashelsky (2013)

Figura 5 - Condução dos diodos no semiciclo negativo



Fonte: Boylestad e Nashelsky (2013)

Segundo Malvino e Bates (2016), vale ressaltar que a tensão na carga possui a mesma polaridade e a corrente possui o mesmo sentido ao decorrer dos dois semiciclos. Logo, o circuito retifica a entrada CA em uma tensão CC pulsante em sua saída com a mesma amplitude da entrada.

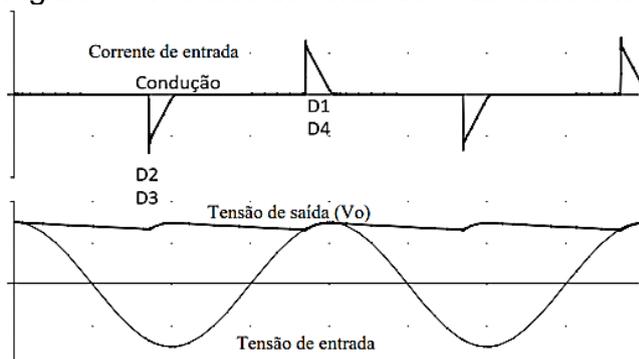
## 2.4 FILTRO

Ao passar pelo processo de retificação da ponte de diodos a tensão na saída apresenta sinal pulsante fazendo-se necessária a filtragem deste sinal, é comumente utilizada o filtro capacitivo (MALVINO; BATES, 2016, p. 103).

De acordo com Boylestad (2012), o capacitor é um dispositivo de dois terminais constituído por duas placas condutoras paralelas separadas por um material isolante que, apenas quando ocorre uma variação na tensão ou na corrente de um circuito, ele exhibe suas verdadeiras características. Existe uma força de atração ou repulsão entre dois corpos carregados. Se as placas estiverem inicialmente descarregadas em um circuito aberto, nenhuma carga será encontrada nelas. Entretanto, quando o circuito é fechado, ocorre um surto de corrente, inicialmente, devido ao valor da resistência presente. Essa corrente diminuirá quando a diferença de potencial entre as placas for igual a tensão da fonte.

O filtro capacitivo suaviza a tensão CC deixando-a com valor médio próximo a tensão de pico da entrada. O capacitor utiliza a valor de tensão de pico da entrada para se carregar a cada ciclo, há um novo recarregamento do capacitor e um pulso de corrente nestes instantes (POMILIO, 2015). Como é ilustrado na figura 6.

Figura 6 - Formas de onda de retificador em ponte com filtro capacitivo



Fonte: Pomilio (2015)

## 2.5 CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga, ilustrado na figura 7, tem por sua função receber uma tensão flutuante e manter sempre constante a tensão em sua saída. Muito útil no sistema de armazenamento por baterias evitando sobrecargas e descargas excessivas. Existem dois tipos de controladores de carga: o PWM que significa

modulação por largura de pulso, conseguindo manter uma bateria em carga máxima pela aplicação de pulso de tensão com alta frequência. Com isso, ele analisa os dados da carga da bateria e ajusta os pulsos enviados e o MPPT que significa ponto rastreador de potência máxima, analisa o pico de potência do módulo fazendo com que ele aproveite a maior potência gerada, também monitora a geração de energia e reduz as perdas do sistema (FELIPE; HENRIQUE; LIMA, 2018).

Figura 7 - Controlador de carga



Fonte: Autores

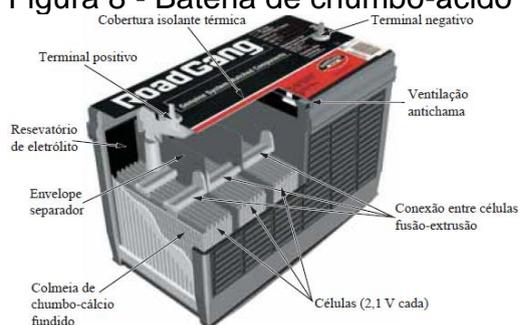
## 2.6 BATERIA

De acordo com Dias (2022), são dispositivos de armazenamento de energia constituídas por conjunto de pilhas (células) conectadas em série, ou seja, dispositivos eletroquímicos onde ocorrem reações de oxidorredução que resulta uma corrente elétrica.

As células podem ser primárias ou secundárias. A do tipo primária não é recarregável, já a bateria com célula secundária pode ser recarregada, assim, ocorrendo a restauração de sua carga por meio de uma reação química reversível. Todas as células possuem eletrodos positivo e negativo e o eletrólito, que é a substância que completa o circuito e a fonte de íons para a condução entre os terminais no interior da bateria (BOYLESTAD, 2012, p. 31).

As baterias podem ser dos modelos de níquel-cádmio (Ni-Cd), hidreto metálico de níquel (Ni-MH), íons de lítio (Li-Ion), polímeros de lítio (Li-Po) e chumbo-ácido. Este último tem por sua vez a função de oferecer uma quantidade de corrente constante durante um determinado tempo para o consumo futuro. Essas baterias são projetadas para descargas profundas por sua composição de placas de chumbo espessas assim suportando quantidades maiores de ciclos de descarga e carga não prejudicando sua vida útil (MOURA, 2019). Utilizaremos em nosso protótipo a bateria de chumbo-ácido estacionária ilustrada pela figura 8.

Figura 8 - Bateria de chumbo-ácido VRLA



Fonte: Boylestad (2012)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o caminho para a criação do protótipo necessita-se de uma base no tamanho de 30cm x 50cm para isso deve-se executar testes em 3 bases diferentes, assim, será analisado o comportamento da deformação das placas/pastilhas piezoelétrica e sua geração. Com isso, serão executados testes no Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), Laboratório Maker no prédio 4. Todos os testes serão feitos com apenas a utilização de 1 (uma) placa/pastilha para que facilite quaisquer mudanças necessárias e que diminua o risco de perdas por danificação. Serão realizados 6 testes em cada base sendo 3 testes em CA (corrente alternada) e 3 testes em CC (corrente contínua) utilizando ponte retificador com diodos 1N4007. Aplicando uma força de 0,93kN calculada a partir da equação 1, referente ao peso de uma pessoa com 95kg como mostra a figura 9 e com o auxílio do instrumento de medição osciloscópio da marca Minipa, ilustrado na figura 10, para obter os valores de tensão e sua forma de onda. Em seguida seleciona-se a base com melhor aproveitamento para a aplicação desejada.

$$P = m \cdot g \quad (1)$$

Onde:

P – Peso (N)

m – Massa (kg)

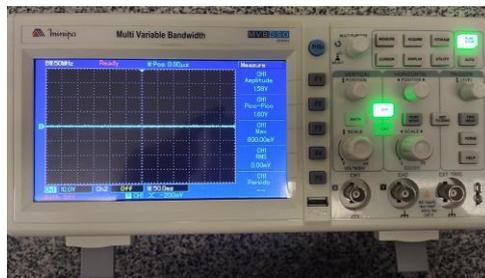
g – Gravidade ( $m/s^2$ )  $\approx 9,81$

Figura 9 - Aplicação da Força



Fonte: Autores

Figura 10 - Osciloscópio

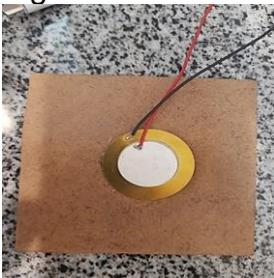


Fonte: Autores

### 3.1 BASE SÓLIDA

Numa base de madeira MDF com 3mm de espessura, 9cm de largura e 9cm comprimento instala-se a placa utilizando cola termoplástica, como mostra a figura 11. Será executado testes aplicando a força de 0,93kN a partir da passada de uma pessoa, como mostra a figura 9.

Figura 11 - Placa instalada na base de madeira



Fonte: Autores

### 3.2 BASE SÓLIDA COM FURO

Numa base de madeira MDF com 3mm de espessura, 9 cm de largura e 9 cm comprimento fez-se um corte circular com 28mm de diâmetro e instala-se a placa utilizando cola termoplástica, como mostra a figura 12. Será executado testes aplicando a força de 0,93kN a partir da passada de uma pessoa, como mostra a figura 9.

Figura 12 - Instalação da placa na base de madeira com furo



Fonte: Autores

### 3.3 BASE MALEÁVEL

Numa base de borracha (pneus reciclados) com 10mm de espessura, 9 cm de largura e 9 cm de comprimento instala-se a placa utilizando cola termoplástica, como mostra a figura 13. Será executado testes aplicando a força de 0,93kN a partir da passada de uma pessoa, como mostra a figura 9.

Figura 13 - Placa instalada na base maleável



Fonte: Autores

### 3.4 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Com todos os testes executados, analisa-se que a geração com um furo aumenta a deformação elástica que ocorre durante a aplicação de uma força mecânica na placa, isso foi um dos pontos que mais colaborou para a geração. Assim, opta-se por fazer o piso utilizando a base maleável de borracha com um rebaixo de 25mm de diâmetro (mesmo diâmetro do cristal instalado no centro de cada pastilha) e 1,5mm de profundidade para que assim as placas não sofram deformações suficientes para ocorrer a ruptura do cristal ou uma deformação plástica.

Na base de borracha de espessura 10mm e com medidas de 30cm x 50cm, foram feitos 45 rebaixos com 25mm de diâmetro e 1,5mm de profundidade, como mostra a figura 14.

Instala-se as 45 pastilhas de piezo na base de borracha com cola termoplástica, sendo dívidas em 9 colunas x 5 linhas, como mostra a figura 15.

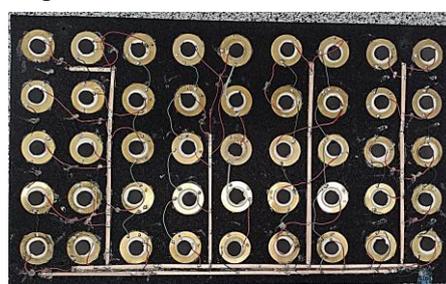
Esses canalizadores foram adicionados ao centro de cada placa como mostra a figura 15, pois uma placa de madeira (compensado de 10mm de espessura) será adicionada à superfície do protótipo, assim, ao aplicar uma força a mesma será direcionada diretamente ao centro das pastilhas aumentando a quantidade de pastilhas acionadas. A manta de borracha, foi instalada por cima da placa de madeira com cola termoplástica com o intuito de proteger a madeira contra a chuva e evitar que possíveis escorregões acidentais aconteçam.

Figura 14 - Base do protótipo



Fonte: Autores

Figura 15 - Circuito Misto



Fonte: Autores

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os testes feitos, analisou-se os dados obtidos através dos equipamentos de medição, o comportamento das placas em cada circunstância, aplicação de soluções para os problemas encontrados e com esses resultados fazer a aplicação para a montagem do protótipo

### 4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES PARCIAIS

No laboratório Maker, prédio 4 no UBM foi analisado a partir do equipamento de medição osciloscópio. em cada base verificamos sua geração, seus pontos positivos e negativos, afim de encontrar a melhor base para o protótipo. Nesses testes aplica-se uma força de aproximadamente 0,93kN a partir de uma passada como mostra a figura 9 e com o auxílio do equipamento osciloscópio como mostra a figura 10, obteve-se os dados de tensão pico a pico e rms em CA e CC.

#### **4.1.1 Base sólida**

- I. Pontos positivos: Geração de tensão em CA entre 1,92 e 2,74V e em CC entre 2,74 e 3,88V, custo-benefício e fácil instalação.
- II. Pontos negativos: Como a o local de aplicação para os testes finais serão num local externo, a madeira não é o material ideal para a aplicação desejada, pois com a ação de intempéries faz com que sua vida útil diminua, além de que, com o tempo a umidade faria a madeira de ser uma base isolante.

#### **4.1.2 Base sólida com furo**

- I. Pontos positivos: Geração de tensão em CA entre 3,22 e 4,9V e em CC entre 4,47 e 6,39V, logo, melhor desempenho que a base sem furo, custo-benefício e fácil instalação
- II. Pontos negativos: Como a o local de aplicação para os testes finais seria num local externo, a madeira não é o material ideal para a aplicação desejada, pois com a ação de intempéries faz com que sua vida útil diminua, junto com a umidade deixando não isolante e com o furo de 3mm de profundidade a placa piezoelétrica sofreu deformações plásticas diminuindo a geração nos outros testes, pois fragmentou partes do cristal. Teve-se que substituir as placas para novos testes.

#### **4.1.3 Base maleável**

- I. Pontos positivos: Geração de tensão em CA entre 10,85 e 11,55V e em CC entre 11,16 e 14,38V, assim, está base obteve melhores condições de implementação. Visto que o material possui boa resistência a deformação mecânica, boa rigidez dielétrica e apto para instalação em áreas internas e externas e alta vida útil.
- II. Pontos negativos: O preço da placa de borracha é muito maior do que as placas de madeira.

### **4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES FINAIS**

Com o protótipo montado executou-se apenas testes em CC (corrente contínua), pois o próximo objetivo é conectá-lo ao controlador de carga para carregar a bateria devendo estar em corrente contínua. Nesses testes também foi aplicado uma força de aproximadamente 0,93kN a partir de uma passada, com o auxílio do mesmo equipamento ilustrada na figura 10 (osciloscópio), obtivemos os dados de tensão pico a pico e rms em CC como mostra a tabela 1, sendo o último teste feito sem a aplicação

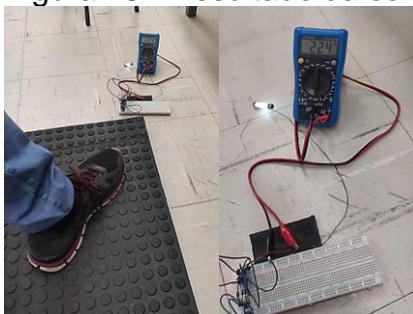
da força de uma passada. E de um multímetro da marca Minipa para medir a corrente em CC por passada e corrente máxima em CC, como mostra respectivamente as figuras 16 e 17.

Tabela 1 - Resultados do protótipo em CC

Vpp em CC	Vrms em CC
44,80	34,65
45,60	25,31
47,20	39,06
28,80	14,45

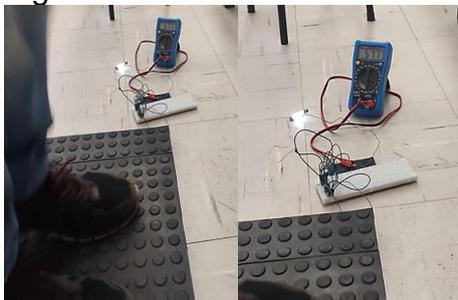
Fonte: Autores

Figura 16 - Resultado da corrente por passada



Fonte: Autores

Figura 17 - Resultado da corrente máxima



Fonte: Autores

De acordo com o manual do controlador de carga, tensão deve estar entre 12 e 24V, como a tensão gerada foi maior do que o controlador suporta, inseriu-se após a ponte retificadora e um capacitor de 16V e 47 $\mu$ F.

Com uma corrente média por passada de 200 $\mu$ A (0,0002A) como consta na figura 50, analisando hipoteticamente que a faculdade tem um fluxo constante de pessoas de 6 horas por dia, tem-se que a bateria atingirá sua plena com carga em 5834 dias ou 16 anos, calculado a partir da equação 2.

$$T = C \times I \quad (2)$$

Onde:

T = tempo de carga (h)

C = capacidade (Ah)

I = corrente (A)

Para que a bateria consiga se carregar em aproximadamente 7 horas precisaríamos de uma corrente de 1A, para isso será necessárias cerca de 5.000 placas de 30cm x 50cm, cerca de 750m<sup>2</sup> e com um total de 225.000 pastilhas piezoelétricas. Com isso, a quantidade do material aproximada e valor gasto para essa aplicação teórica está sendo mostrado na tabela 2.

Tabela 2 – Orçamento para aplicação teórica

Produtos	Quantidade por unid. ou metro	Valor	Total de cada produto
Pastilhas piezoelétricas	225.000	R\$ 0,60	R\$ 135.000,00
Placas de borracha	5.000	R\$ 35,00	R\$ 175.000,00
Madeira (1,61 x 1,80m)	30	R\$ 121,00	R\$ 3.630,00
EVA (Centralizador)	5625	R\$ 5,00	R\$ 28.125,00
Bateria	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Manta tipo moeda	5000	R\$ 15,00	R\$ 75.000,00
Parafusos	20000	R\$ 0,80	R\$ 16.000,00
Porcas	20000	R\$ 0,50	R\$ 10.000,00
Controlador de carga	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
Diodos	112	R\$ 0,50	R\$ 56,00
Capacitores	30	R\$ 0,80	R\$ 24,00
Cabos (0,5mm <sup>2</sup> )	700	R\$ 1,40	R\$ 980,00
<b>Total</b>			<b>R\$ 443.945,00</b>

Fonte: Autores

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo citou um pouco da história dos materiais piezoelétricos, suas características, onde já existem exemplos de aplicações ao redor do globo e sendo assim, mostrou como ele pode se encaixar na matriz de energia elétrica brasileira, por ser uma fonte de energia limpa e sustentável.

Foram realizados diversos testes para analisar a capacidade de geração de energia das pastilhas quando instaladas em três tipos diferentes de base e com isso concluímos que a base mais eficiente foi a base maleável, pois, além de proporcionar

o maior valor de tensão obtido, também possui maior resistência à água para ser aplicado em áreas externas por ser feito de borracha.

A base maleável, que apresentou os melhores resultados nos testes, foi utilizada na montagem do protótipo de um piso com as medidas 30cm x 50 cm. Durante a montagem, foi utilizado um canalizador e uma placa de madeira única sobre todo o piso, para direcionar a força aplicada sobre o protótipo diretamente para as pastilhas, garantindo assim que todas as placas fossem acionadas. Também foi adicionado uma manta de borracha, com a finalidade de proteger a placa de madeira e evitar possíveis acidentes.

Durante a montagem do protótipo, foram realizados testes onde obtivemos picos de tensão superior à esperada. Assim, após algumas mudanças na associação das placas piezoelétricas, foi colocado um capacitor para atenuar a oscilação de tensão na entrada do controlador de carga.

Após a montagem do protótipo, foram realizados testes para avaliar a sua capacidade de geração de energia e a se a energia gerada seria capaz de carregar uma bateria de 12V e 7Ah. Após analisar os valores da energia gerada e realizados os cálculos, utilizando como referência o fluxo de pessoas na portaria do UBM nos horários de pico. Logo, concluímos que a energia gerada pelo protótipo não foi capaz de carregar uma bateria dentro de um tempo normal de carga.

## REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, Robert L. **Análise de Circuitos**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2013. p. 64–67.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Energia, Minerais e Combustíveis: entenda como a matriz elétrica brasileira está mudando**, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/entenda-como-a-matriz-eletrica-brasileira-esta-mudando>. Acesso em: 28 maio 2022.

DIAS, Diogo Lopes. **Baterias**. c2022. Manual da química. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/baterias.htm>. Acesso em: 17 maio 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Rio de Janeiro: EPE. **Balanco Energético Nacional 2021: Ano base 2020**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. p. 17. Acesso em: 28 maio 2022.

FELIPE, Luís; HENRIQUE, Flávio; LIMA, Júlio. Controladores de carga: Diferenças entre as tecnologias MPPT e PWM. *In: Minha Casa Solar Blog*. Contagem, 30 de out. 2018. Disponível em: <http://blog.minhacasasolar.com.br/controladores-de-carga/>. Acesso em: 20 maio 2022.

JULIÃO, André. Energia limpa sob nossos pés. **REVISTA ISTOÉ**, 21 jan. 2016. Disponível em: [https://istoe.com.br/73214\\_ENERGIA+LIMPA+SOB+NOSSOS+PES/](https://istoe.com.br/73214_ENERGIA+LIMPA+SOB+NOSSOS+PES/). Acesso em: 17 maio 2022.

LUCIANO, Benedito Antonio (org.). Colheita de energia. **UFCG**, Campina Grande, 18 out. 2016. Disponível em: [http://www.ufcg.edu.br/prt\\_ufcg/assessoria\\_imprensa/mostra\\_noticia.php?codigo=18992](http://www.ufcg.edu.br/prt_ufcg/assessoria_imprensa/mostra_noticia.php?codigo=18992). Acesso em: 31 maio 2022.

MALVINO, Albert; BATES, David. **Eletrônica: v. I**. 8. ed. São Paulo: AMGH, 2016.

MATOS *et al.* Piezoelectricidade: o futuro da energia renovável. *In: FÓRUM FEPEG*, 10. 2016. Minas Gerais. **Anais eletrônico [...]**. Disponível em: <http://www.fepeg2016.unimontes.br/index.php/anais/ver/1532>. Acesso em: 21 maio 2022.

MOURA. **Bateria estacionária**. Moura. **[S.I.]**, 2 jul. 2019. Disponível em: <https://www.moura.com.br/blog/o-que-e-bateria-estacionaria/#:~:text=Esse%20tipo%20de%20bateria%20foi,para%20ciclos%20de%20descarga%20profundos>. Acesso em: 17 maio 2022.

POMILIO, José Antenor (org.). Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica: Retificadores. **UNICAMP**. 23 maio 2015. Disponível em: <https://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/it744/cap4.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2022.

REZENDE, Sergio M. **Materiais e Dispositivos Eletrônicos**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004. p. 473-476.