



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 10, Issue, 05, pp. 36144-36149, May, 2020

<https://doi.org/10.37118/ijdr.18893.05.2020>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

ENERGY PRODUCTION THROUGH THE CONTACT OF PIEZOELECTRIC CRYSTALS, IN A TEACHING INSTITUTION IN THE CITY OF MANAUS- AMAZONAS

¹Elizeu Moraes da Silva, ¹Yasmin Carvalho de Souza, ¹Fabiana Rocha Pinto and ^{2,*}David Barbosa de Alencar

¹Academic department, University Center FAMETRO, Amazon-Brazil

²Institute of Technology and Education Galileo of Amazon (ITEGAM), Brazil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 20th February, 2020

Received in revised form

17th March, 2020

Accepted 03rd April, 2020

Published online 30th May, 2020

Key Words:

Piezoelectricity; Energy generation; Sustainable Energy.

*Corresponding author:

David Barbosa de Alencar

ABSTRACT

Electric energy is responsible for several factors that keep us active and in communication with the rest of the world, where they present various ways of producing electric energy, including renewable energies. The most used type of energy is linked to non-renewable sources, causing numerous environmental impacts, other types can be described for power generation considering less consumption, greater stability, lower cost as in the case of piezoelectricity, which is still little used. However, it proves to be a highly efficient alternative, given the generation of energy by means of piezoelectric crystals, mechanically stimulated by pressure (scalar magnitude of mechanical condition, presented in physics), which proves to be an advantage given the types of production power.

Copyright © 2020, Elizeu Moraes da Silva et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Elizeu Moraes da Silva, Yasmin Carvalho de Souza, Fabiana Rocha Pinto, David Barbosa de Alencar. "Energy production through the contact of piezoelectric crystals, in a teaching institution in the city of manaus- amazonas", *International Journal of Development Research*, 10, (05), 36144-36149.

INTRODUCTION

A piezoelectricidade está baseada na capacidade que alguns tipos de cristais têm de gerar carga elétrica quando carregadas mecanicamente por pressão ou tensão, esse tipo comportamento é chamado de efeito piezo direto. Esses materiais piezoelétricos geram uma diferença de potencial quando deformados, tendo assim ambas aplicações para seu uso (Mitcheson, 2008). Atualmente, a piezoelectricidade está mais presente do que podemos imaginar. Alguns sensores de câmeras fotográficas, por exemplo, utilizam cristais piezoelétricos, que também é encontrado em microscópios, porém, além disso, uma das aplicações dos cristais é gerar energia elétrica. A busca por uma energia limpa e renovável vem sendo discutida com mais frequência nos últimos anos, já que com o aumento da população torna-se necessário a procura por novas fontes de energia (Jesus, Fábio de, 2014). A eficiência Energética vem sendo discutida desde 1970, quando aconteceu a crise do petróleo relatado (Armedani, 2016) A partir desse momento vem crescendo e tomando diferentes formas a visão sobre energias renováveis.

Como se trata de tipos de energias limpas e que não agridem o meio ambiente à procura por essas alternativas aumentam a cada dia, destacando-se a piezoelectricidade, como uma das fontes alternativas promissoras para a geração de energia. Dessa forma, o objetivo do estudo será mostrar a geração de uma energia limpa e renovável por meio da energia piezoelétrica, utilizando a pressão do peso como base para geração.

REFERENCIAL TEÓRICO

História da Piezoelectricidade: Vivemos em um mundo onde novas tecnologias são desenvolvidas a todo o momento. Alguns objetos que usamos no nosso cotidiano como microfones, telefone fixo, relógio de quartzo e impressoras dependem de um fenômeno não tão comum chamado efeito piezoelétrico. Segundo (Armendani, 2016), os irmãos Pierre e Jacques Curie descobriram em 1980 o efeito piezoelétrico, com características diferenciadas das demais fontes, nos possibilitando usufruir de inúmeras tecnologias.

Contudo, Paul Langevin foi o pesquisador que descreveu a primeira utilização prática, por meio de sonares, na primeira guerra mundial. Ademais esse pesquisador acoplou cristais de quartzo à placas metálicas para gerar ultrassom na faixa de kHz's, e assim deu-se o nome do que hoje é conhecido como transdutor tipo Langevin. Após a segunda guerra mundial iniciou-se a procura para desenvolver cristais piezoelétricos sintéticos. Durante a década de 40 e 50, o Japão e a URSS (União das Repúblicas Socialistas Soviéticas) desenvolveram cerâmicas piezoelétricas de Titanato de Bário (BaTiO_3), já os EUA desenvolveram as cerâmicas piezoelétricas de TitanatoZirconato de Chumbo, (PZT's), que consistem em cristais mistos de zirconato de chumbo (PbZrO_3) e titanato de chumbo (PbTiO_3), com diversas variações nos dias de hoje (Armendani, 2016).

Definições e equações de Piezoeletricidade

Piezoeletricidade são materiais que apresentam propriedades com características particulares possuindo capacidade de geração em sua superfície, cargas estimuladas de forma mecânica, assim como deformações mecânicas, que quando sobre ela, recai uma tensão elétrica gerando uma diferença de potencial (Soares, 2015). De um modo geral, o efeito piezoelétrico pode ser definido pela conversão de energia mecânica em Energia elétrica no seu modo direto ou na conversão de energia elétrica em energia mecânica, em seu modo inverso. Assim efeito piezoelétrico pode ser descrito de uma forma simplificada (desconsiderando a simetria do material) pelas equações:

No modo direto, a equação apresenta uma relação entre o campo elétrico (E) e o coeficiente piezoelétrico (D), por:

$$D = dT + \varepsilon (Eq. 1) \quad (1)$$

No modo inverso, a equação apresenta uma relação entre a deformação (S) e a tensão mecânica (T), em que a equação é representada por:

$$S = sT + dE (Eq. 2) \quad (2)$$

Em que:

D - Vetor de deslocamento elétrico

T - Tensão mecânica

E - Campo elétrico

S - Deformação

ε - Permissividade dielétrica

s - Coeficiente Elástico

d - Coeficiente piezoelétrico

Na figura 01 (a) podemos visualizar o efeito piezoelétrico direto onde produziu-se uma diferença de potencial elétrico da tensão que lhe foi aplicada por meio do efeito piezoelétrico. Já na figura 01 (b) no efeito piezoelétrico inverso, sua espessura muda conseqüentemente pela diferença de potencial influenciando a magnitude da polarização. De acordo (Marinho, 2013), a cristalografia prevê uma definição simétrica de um ponto, eixo ou plano de um cristal iônico. Os cristais são divididos em 32 grupos diferentes, a partir desses elementos de simetria, porém desses 32, somente 11, possuem um centro de simetria (condição necessária para existir piezoeletricidade) sendo 20 deles considerados piezoelétricos (Quadro 1).

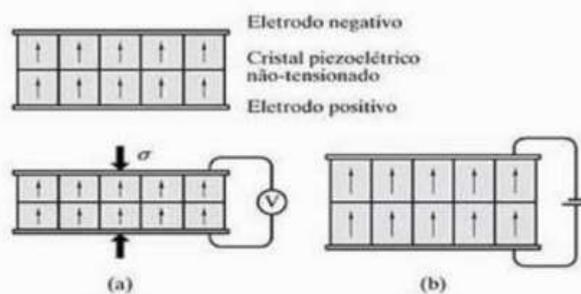


Fig. 1. Modelo do efeito piezoelétrico: (a) direto; (b) inverso. Fonte: (6)

Quadro 1. Tipos de cristais que apresentam efeito piezoelétrico.

Tipos de Cristais	Fórmula Química
Sulfureto de zinco	ZnS
Clorato de sódio	NaClO_3
Cloroborato de magnésio	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$
Boracita.	$\text{Mg}_3\text{B}_3\text{O}_{10}\text{Cl}$
Turmalina	$\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Li}, \text{Mn}, \text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH}, \text{F})_4$
Quartzo	SiO_2
Carbonato de Zinco	ZnCO_3
Topázio	$\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2\text{SiO}_4$
Sal de Seignette	$\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Titanato de Bário	(BaTiO_3)
TitanatoZirconato de chumbo	PZT, PbZrO_3
Polivinilo de Flúor	PVDF $-(\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2)_n-$

Fonte: Adaptado pelos autores

Atualmente é possível também produzir outros materiais que terão o mesmo, ou melhor, comportamento dos que já utilizamos atualmente. Esses cristais que poderão ser produzidos são chamados de cerâmicas piezoelétricas, dentre as várias vantagens que essa cerâmica pode trazer, está dentro da possibilidade de fabricação, em diferentes tamanhos. Com o avanço na fabricação dessas cerâmicas, as suas aplicações em diferentes áreas vêm aumentando, tendo em vista que esse tipo de material possibilita uma melhor escolha do cristal, que será usado como cita. Outro ponto positivo que esse material nos possibilita pode ser descrito pelo envelhecimento natural e acelerado pelas condições de uso; instabilidade das propriedades em função de variações de temperatura; limites de excitações elétricos e mecânicos, sendo a temperatura e suas variações as principais protagonistas destas limitações.

Aplicação dos Cristais

Geração de Energia Piezoelétrica em Pneus Automotivos:

As cargas positivas e negativas de um cristal piezoelétrico estão separadas, entretanto, estão simetricamente distribuídos, o que os torna neutro eletricamente. Quando uma força é aplicada sobre o corpo, o cristal sofre um stress mecânico, onde essa simetria é afetada e uma carga elétrica é causada, gerando uma tensão. Um exemplo prático para demonstrar essa ação seria aplicar uma força de 2kN em um cubo de 1cm^3 de quartzo, no qual esse cristal pode gerar aproximadamente 12500V (Marinho, 2013). Em uma pesquisa (Makki, 2011), vinculados a universidade de Ontário/Canadá, observaram que quando o pneu de um automóvel não está sob pressão de uma carga, o mesmo se mantém na sua forma circular. Contudo quando está sob pressão da carga do veículo cria-se uma secção na sua superfície inferior achatando-se, apresentando uma área descrita como patch de contato (Figura 2).

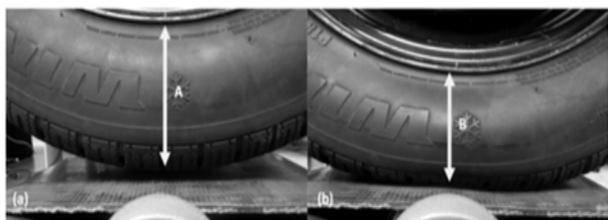


Fig. 2. Demonstração da geração de energia em pneus automotivos. (a) Pneu sem pressão; (b) Pneu com o patch de contato.

No trabalho de (Makki, 2011) constaram que para maior geração de energia seria necessário preencher o máximo de espaço possível dentro do pneu, para isso foi utilizado monogeradores interligados a uma malha de 4 x 40 fios, colados no interior do pneu, considerando um pneu de aro 14. Considerando que o carro iria a 100 km/h, seria o equivalente a 14 giros por segundo. Ainda de acordo com os responsáveis pelo projeto o teste produziu 2,3 watts por pneu. Em um segundo teste foi utilizado uma câmara de nanogeradores em que se obteve a geração de 4,6 watts.

Pista de dança sustentável: Em seu trabalho (Inhabitat, 2008) cita que, a primeira discoteca sustentável foi lançada pelo Sustainable Dance Club, criada e analisada por um grupo de pesquisadores, engenheiros e investidores. O Clube de Dança Sustentável (traduzido para o português) trata-se de uma pista de dança onde a energia é gerada a partir do movimento e das pessoas dançando. Estima-se que uma pessoa dançando sozinho pode gerar até 20 W e uma lâmpada pode ser acesa por duas pessoas dançando na pista. A geração de energia acontece por meio de uma pressão, que os módulos recebem ao serem flexionados, conforme o movimento das pessoas na pista de dança, acionando assim um gerador. Segundo (CNCB, 2015), cada módulo mede 75x75x20 cm e pode gerar até 35 W de potência. Em 2012, foi gerado mais de um milhão de joules ou “mega joule” em uma única noite (Inhabitat, 2008). Portanto nota-se que quando, da instalação de um modelo desse sistema, o público acaba fazendo parte da solução do problema, auxiliando o meio ambiente. De acordo com (SWU, 2011), o clube Vegas em São Paulo, instalou um sistema grande de geração própria, porém os donos indicam ainda não ser tão viável, visto que para a elaboração e montagem do projeto é necessário um custo, ainda elevado.

O fluxo de carros para geração de energia: Uma equipe de 12 pessoas de uma empresa israelense chamada Innowattech encontrou uma maneira de produzir energia por meio da pressão dos veículos sobre a via de tráfego. A equipe percebeu que poderiam instalar materiais piezoelétricos embaixo de calçadas, malhas viárias e ferroviárias, entendendo que esses materiais ao se manter sob pressão dos automóveis ou de algum corpo, iriam estimular os materiais piezoelétricos, podendo assim gerar e armazenar a energia obtida nesse processo.

É possível gerar energia suficiente para abastecer 600 residências, para isso um modelo mais favorável seria a implantação de cristais piezoelétricos em uma via de no mínimo 1,6 km (ELOI, 2019). (Correio Brasiliense, 2019) indica que, o PZT chega a ser 100 vezes mais eficiente do que o quartzo, porém dentre os cristais observados, o PZT é considerado o mais eficiente do grupo de cristais piezoelétricos, esse tipo de material é capaz de converter até 80% de energia mecânica em energia elétrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os meios de energias sustentáveis vêm se desenvolvendo nos últimos anos, e com eles o aumento de demanda por energia. Atualmente, tecnologias vêm surgindo ao redor do mundo, visando sanar deficiências das energias já utilizadas a nosso favor, com foco em energia limpa e sustentável. Tendo em vista que o fluxo diário de pessoas, que entram e saem de instituição de ensino (ies) é de 12.000 pessoas, o conceito dessa ideia é vislumbra a geração alternativa de energia, para o estabelecimento. Deve-se ainda, levar em consideração o funcionamento dessa instituição de ensino, em três turnos diários, de segunda à sexta, onde se constitui o fluxo por alunos, professores e demais funcionários que tem acesso as dependências da instituição. Assim podemos utilizar esse movimento, objetivando a geração de energia, com os cristais e o sistema piezoelétrico, de modo que esse processo seja imperceptível para as pessoas que transitam no local.

A ideia consiste em um sistema que atenda a necessidade de geração de energia para manter as catracas de acesso da instituição de ensino em pleno funcionamento por 16h, durante 5 dias por semana. Pensando no fato de ser imperceptível, a ideia está em torno do desenvolvimento de um tapete piezoelétrico, em que as pessoas pisarão no tapete, sem perceber que estão gerando energia. Para que isso aconteça, sensores piezoelétricos devem ser instalados debaixo de tapetes emborrachados no caminho da catraca sendo um acesso da instituição. Conforme as pessoas forem passando pela catraca de acesso, os sensores piezoelétricos irão gerar um atrito, fazendo com que uma tensão elétrica seja gerada alimentando a catraca de acesso. A base desse projeto deve utilizar um controlador de carga de modelo LS3024EU para controlar a energia gerada, armazenada em uma bateria estacionária DF700-PP de 50 Ah com uma tensão nominal de 12 V com capacidade de 65 minutos. Este controlador possui um sistema PWM que reduz a quantidade de perdas de tensão para o sistema e deverá já controlar os níveis de cargas e descarga das baterias, compensando a temperatura de operação e preservando a vida útil dessa bateria, podendo assim manter o sistema por até 16h.

Caso o sistema não produza energia suficiente, a capacidade da bateria é expressa da seguinte forma:

$$t(h) = \frac{C(Ah)}{\text{Consumo}(A)} \quad (\text{Eq. 3}) \quad (3)$$

Onde:

t é o tempo de autonomia em horas que o sistema deverá ter;
C é a capacidade em ampere-hora;

Consumo é a corrente que deverá ser disposta pela bateria para que o sistema funcione.

Dentre os vários tipos de matérias piezoelétricos, e utilizada a cerâmica APC 850, no qual é um material piezo ideal devido às suas propriedades mecânicas e elétricas exclusivas como: constante dielétrica alta; alto fator de acoplamento; alta sensibilidade de carga; alta densidade com estrutura de grão fino; ponto alto da Curie; limpo, sem ruído e resposta em frequência. A mesma cerâmica tem em sua matéria-prima titanatozirconato de chumbo (PZT), sendo que a escolha desse material é dada por sua alta sensibilidade a deformação em sua

estrutura. Esse material é comercializado pela empresa APC International (14), que disponibiliza peças customizadas com diferentes características (Tabela 1).

Tab 1. Características da cerâmica Piezoelétrica

E (Gpa)	ν	ρ (Kg/m ³)	Constantes Piezoelétricas (10 ⁻¹² m/V)			ε ₃₃	G (10 ⁻³ Vm/N)	
			d ₃₁	d ₃₂	d ₃₃		g ₃₁	g ₃₃
63	0,3	7600	-175	400	590	1950	-10,2	24,8

d: constante piezoelétrica; g: constante de tensão piezoelétrica; ε: constante dielétrica relativa; ρ: densidade; E: módulo de Young; ν: coeficiente de Poisson

Fonte: APC International (14).

A (14), disponibiliza um sistema no qual é possível analisar qual seria a melhor opção de cerâmica a ser adquirida. Foram consideradas quatro dimensões distintas de peças de cerâmicas (Tabela 2).

Tabela 2 – Dimensões das Peças de Cerâmicas Piezoelétricas.

Dimensões (mm)	Altura	Comprimento	Espessura
Cerâmica 1	10	10	0,5
Cerâmica 2	30,1	30,1	1
Cerâmica 3	32	32	0,9
Cerâmica 4	32,1	32,1	1,5

Fonte: (14).

Grande parte dos sensores feitos de cerâmicas piezoelétricas é operada de diversas formas, porém nessa simulação se aplica somente o modo de compressão, no qual o sensor é submetido a uma tensão mecânica aplicada de forma paralela à sua polarização e com isso criando uma deformação na sua estrutura gerando um potencial elétrico (Lima, 2013).

Em uma calculadora disponibilizada pela (APC, 2013), é possível calcular as propriedades físicas e elétricas dos materiais piezoelétricos fabricados pela APC, assim podemos visualizar a tensão a ser gerada em função da força (N) aplicada sobre o sensor (APC, 2019).

$$V = \frac{(g_{33} \times F \times h)}{(l \times w)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

V é a tensão gerada;

g₃₃ é a constante piezoelétrica;

F é a força aplicada em Newton;

h é a espessura do sensor;

l é o comprimento do sensor; w é a largura do sensor.

Os sensores devem ser ligados nas extremidades de uma chapa de alumínio sobrepostas de modo que a força aplicada seja distribuída, fazendo que possa ocorrer a deformação do material piezoelétrico para assim ser criado um campo elétrico. O isolamento da chapa de alumínio ocorre com uma camada de fibra de vidro revestido com um tapete emborrachado por cima, a fibra de vidro além de ser um ótimo isolante elétrico, possui um material com proporções finas que podem ser flexíveis (Carvalho, 2019). Para o funcionamento da catraca é necessário alimentar a fonte (Figura 3), a mesma é capaz de se adaptar a tensões que variam de 100~240 V, onde na saída da fonte de alimentação é possível encontrar um controlador de

carga que permite que a tensão passe para 12 V em corrente contínua, com uma variação de ± 5%.

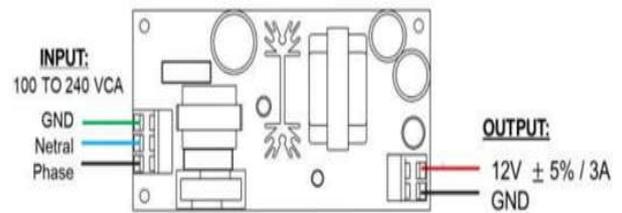


Figura 3. Fonte de Alimentação da Catraca Fonte: (18).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os dados das equações da APC Internacional, observa-se que quanto menor o tamanho da peça de cerâmica piezoelétrica, maior será a energia (tensão) a ser gerada (Tabela 3), explicado pelo fato de que a força aplicada à cerâmica é centralizada, sendo possível definir o tamanho ideal da peça de cerâmica ideal para que gerar energia suficiente para manter o funcionamento da catraca.

Tabela 3. Tensão Gerada em Função da Força Aplicada

Massa (Kg)	Força Aplicada (N)	Tensão Gerada (V)			
		Dimensão Da Cerâmica (mm)			
		10 x 10 x 0,5	30,1 x 30,1 x 1	32 x 32 x 0,9	32,1 x 32,1 x 1,5
50	490	60,7600	13,4127	10,6805	17,6900
55	539	66,8360	14,7539	11,7485	19,4591
58	568,4	70,4816	15,5587	12,3893	20,5205
60	588	72,9120	16,0952	12,8166	21,2281
65	637	78,9880	17,4365	13,8846	22,9971
70	686	85,0640	18,7777	14,9527	24,7661
73	715,4	88,7096	19,5825	15,5935	25,8275
78	764,4	94,7856	20,9237	16,6615	27,5965
80	784	97,2160	21,4602	17,0888	28,3041
85	833	103,2920	22,8015	18,1568	30,0731
88	862,4	106,9376	23,6063	18,7976	31,1345
92	901,6	111,7984	24,6793	19,6521	32,5497

Fonte: CARVALHO, (17).

Várias cidades já realizaram teste para constatar a eficácia da produção de energia a partir da piezoelectricidade. Toulouse foi a primeira cidade na França a realizar os testes, onde foram instaladas oito placas piezoelétricas nas calçadas onde foi possível produzir cerca de 480 W de eletricidade. Em Israel a empresa Innowattech, chegou a uma produção de energia de 200 KWh, isso foi possível pois a empresa instalou placas piezoelétricas em estradas, trilhos de trem, pistas de aeroportos e estações de metrô. Com base nos dados observados na Tabela 2, o resultado mais satisfatório foi encontrado na cerâmica 1, com dimensões de 10 x 10 x 0,5 mm.

(Carvalho, 2019) descreve que a tendência no uso da piezoelectricidade é crescente, pois se considerar um indivíduo com uma massa de 71,16 kg, é possível aplicar uma força de até 697,44 N e a tensão de saída gerada será de 21,266 V, este exemplo seria usando apenas uma peça de cerâmica piezoelétrica. Considerando que a força aplicada será distribuída de forma igualitária sobre 5 peças de cerâmica APC 850, não ocorrerá perdas e energia agravante, no entanto pode-se chegar ao uma geração total de 86,4826 V. Tendo em vista que a catraca CatraxMaste (Digicon, 2019) avaliada, necessita para seu perfeito funcionamento 12 V em corrente contínua, pode-se assumir que a energia total gerada pelo sistema será capaz de manter o funcionamento da catraca por até 7 h, considerando um indivíduo passando pela catraca. Na figura 4 visualiza-se que quanto maior a força aplicada diretamente

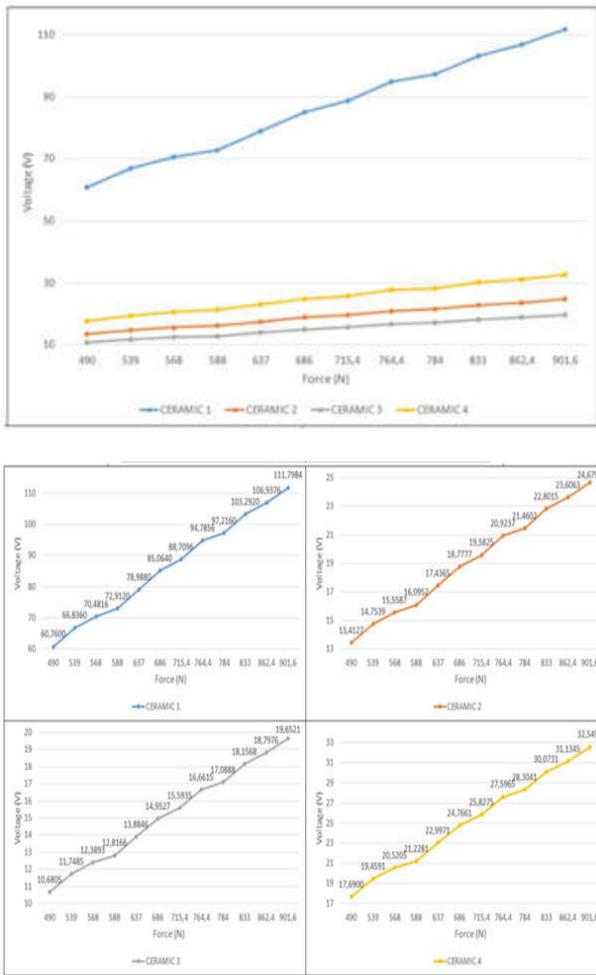


Fig. 4. Tensão Gerada em Função da Força Aplicada Fonte: (17).

Tabela 4. Orçamento para o Protótipo

	Qnt.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Cerâmica Piezoelétrica APC 850	5	15,57	77,85
Bateria Estacionária 48 Ah 12 V	1	259,00	259,00
Chapas de Alumínio 250x250x1 mm	1	11,59	11,59
Malha de Fibra de Vidro	1 m	12,19	12,19
Fio #2,5 mm ²	5 m	0,88	4,40
Cola para Fibra de Vidro	1	24,90	24,90
Piso de Borracha Tátil Direcional 25x25	1	16,90	16,90
Total			406,83

sobre a cerâmica, maior será a energia a ser gerada, dado pela tensão gerada proporcional à força aplicada. A tabela 4 mostra o orçamento para o protótipo, considerando todos os elementos e materiais, não levando em consideração a mão de obra empregada para aplicação e desenvolvimento. O valor de investimento para realização do projeto seria um valor considerado simbólico quanto a economia em gastos futuros com energia elétrica na IES ao funcionamento da catraca em questão.

Conclusão

Com o grande consumo da energia elétrica, a produção de energia a partir da piezoelectricidade, é uma aplicação que pode ser implementado em qualquer lugar, onde haja fluxo, seja de pessoas ou automóveis, utilizando a energia dissipada no solo pelo simples fato das pessoas caminharem ou os automóveis rodarem nas ruas. Em análise com o sistema em operação, em apenas uma catraca, a IES poderá ter uma redução de consumo de energia de até 4.800 kWh/mês, considerando a tarifa fora

ponta aplicada para a instituição, à economia seria de R\$ 2.592,00. Considerando que em apenas uma entrada da IES, existem um total seis catracas do mesmo modelo no qual foi baseado o projeto, o investimento, portanto, para implementar o protótipo nessas catracas seria entorno de R\$ 2.440,98. Assim como o material que foi utilizado como base para o projeto, existem diversos outros tipos de materiais piezoelétricos possíveis, mais acessíveis no mercado, porém sua eficácia não será a mesma do APC 850. Com base em todas as informações demonstradas neste, a piezoelectricidade se faz um método eficaz para uma produção de energia limpa e sustentável.

REFERÊNCIAS

Apc International, Ltda. Choosing an Apc Piezoelectric Material. Disponível em: <<http://www.americanpiezo.com/apc-materials/choosing-an-apc-material.html>>. Acesso em 16 set. 2019, às 20:55 hs.

Apc Piezo Calculator. APC International, Ltda, 2013. Disponível em: <http://www.americanpiezo.com/knowledge-center/apc-piezo-calc.html/>. Acesso em: 12/10/2019.

Armendani, Willian Alves; Vieira, Renato Floretino; Souza, Reinaldo Vieira de; Barros, Karem; Victor, Alan; FÁBIO, Alex Sander, conhecendo a Piezoelectricidade uma forma de geração de energia elétrica, Revista Científica Multidisciplinar: Núcleo do Conhecimento. Ano 1. v. 9. p. 314-320, outubro/novembro de 2016. iss:2448-0959OCHA.

Carvalho, Yasmin Souza de; SILVA, Elizeu Moraes da; PINTO, Fabiana Rocha; ALENCAR, David Barbosa de; BEZERRA, Igor Felipe Oliveira. Piezoelectricity as an Alternative Source of Electric Power Generation in an Education Institution in the Amazon. International Journal for Innovation Education and Research - IJIER. Vol 7 N° 11, 2019. ISSN 2411-3123.

Cnbc. Boogie Nights: How dancing can save the world, 2015 <https://www.cnbc.com/2015/07/30/boogie-nights-how-dancing-can-save-the-world.html>. Acesso em 20/05/2019 às 14:04 hs.

Correio Brasiliense. Pesquisadores americanos conseguem unir cerâmica que produz eletricidade ao silicone. https://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2010/03/02/interna_ciencia_saude,176809/pesquisadores-americanos-conseguem-unir-ceramica-que-produz-eletricidade-ao-silicone.shtml. Acesso em 15/06/2019, às 20:45 hs.

Digicon. Manual do Produto Catrax Master, 2019. Disponível em: <https://www.grupodigicon.com.br/digicon/produtos/catrax-master/>. Acesso em: 16/09/2019.

Eloi, Gustavo. Gerando energia elétrica através do fluxo no trânsito. In: Revista Sustenta. Disponível em: <http://eletrocuriosidades.blogspot.com/2011/09/gerando-energia-eletrica-atravesdo.html>. Acesso em 15/06/2019, às 15:13 hs.

Inhabitat, The World’s First Sustainable Dance Club opens in Rotterdam, 2008. <https://inhabitat.com/sustainable-dance-club-opens-in-rotterdam/> Acesso em 20/05/2019 às 19:56 hs.

Jesus, Fábio de; Alexandrino, Jonathas; Evangelista, João; Carrara, Juliano. Tapete piezoelétrico gerador de energia elétrica. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso - TCC (Técnico em Eletrotécnica) – ETEC Getúlio Vargas, São Paulo, 2014.

- Lima, Washington Batista de. Transdutores de Deformação a Base de Sensores Piezoelétricos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2013.
- Makki, Noaman; POP-ILIEV, Remon. Piezoceramic benders attached to pneumatic tires use the cyclic deformation of the contact patch to generate energy for onboard electronics, 2011.
- Marinho, Adielson Rafael; Assunção, João Henrique; Vilarino Junior, Leonardo; Albuquerque, Priscila; Silva, Torben Ulisses da. Materiais piezoelétricos. Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá-PA, 2013.
- Mitcheson B. P. D.; Yeatman E. M.; Rao G. K.; Holmes A. S.; Green T. C.; Energy Harvesting From Human and Machine Motion for Wireless Electronic Devices. 2008.
- Mma. Guia prático de eficiência energética: reunindo a experiência prática do projeto de etiquetagem: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura/ Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2014. ISBN 978-85-7738-197-5.
- Shackelford, James F. Introdução à ciência dos materiais para engenheiros, 6ª Ed. São Paulo. Person Prentice Hall, 2008.
- Soares, Igor Nazareno. S676a - Automação de um sistema de medição de coeficiente piezoelétrico. São Carlos, 2015.
- Swu, balada sustentável tem pista de dança que produz energia, 2011 <http://www.swu.com.br/blog/2011/12/sustentabilizese/acreditesequiser/balada-sustentavel-tem-pista-de-danca-que-produz-energia/>. Acesso 10/06/2019 às 22:30 hs.
