

# **CENTRO PAULA SOUZA**

**COMPETÊNCIA EM EDUCAÇÃO PÚBLICA PROFISSIONAL**

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
**Étec “JORGE STREET”**

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO TÉCNICO DE ELETROTÉCNICA**

**Cuissance**

**Edinaldo de Jesus  
Jeferson Diego  
Lucas Borba  
Vinicius Mota**

**Professores Orientadores:  
André Triack  
Tera Miho  
Sérgio Tahiro**

**São Caetano do Sul/SP  
2016**

**Edinaldo de Jesus  
Jeferson Diego  
Lucas Borba  
Vinicius Mota**

**Cuissance**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como pré-requisito  
para obtenção do Diploma de  
Técnico em Eletrotécnica.**

**São Caetano do Sul/SP  
2016**

## **Dedicatória**

Dedicamos esta monografia aos nossos pais, esposas, namoradas, irmãos, familiares e amigos que de muitas formas nos incentivaram e ajudaram para que se fosse possível a concretização deste trabalho.

## **Agradecimentos**

Agradecemos primeiramente a Deus, por ter nos dado muita força para a realização deste trabalho, aos nossos amigos que tanto colaboraram nos momentos de estudo. Aos nossos professores pelas orientações, apoio e incentivo. Aos nossos colegas de disciplina e do curso, pela rica convivência. A todos que direto ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

## AVALIAÇÃO DOS PROFESSORES

Data de aprovação \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nota \_\_\_\_\_

Prof. (a) Dr. (a).

---

---

(Assinatura)

Prof. (a) Dr. (a).

---

---

(Assinatura)

Prof. (a) Dr. (a).

---

---

(Assinatura)

Prof. (a) Dr. (a).

---

---

(Assinatura)

Prof. (a) Dr. (a).

---

---

(Assinatura)

## RESUMO

Cuissance, é uma base de geração elétrica, que através do movimento em sua superfície, submete as suas pastilhas a um esforço mecânico. Pode ser utilizado sob quaisquer condições climáticas, sendo capaz de resistir à chuva, sol e a cargas excessivas, como ônibus e outros veículos de grande porte.

O cuissance baseia-se no conceito de energia regenerativa, onde podemos transformar a energia desperdiçada do nosso movimento em eletricidade para uso próprio. Em lugares de grande movimentação de pessoas muita energia é desperdiçada, aproveitar esses pequenos impulsos de energia é um grande passo para descentralizar a demanda de energia elétrica.

**Palavras chave:** Geração, Elétrica, Cuissance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo molecular simples para explicar o efeito piezoelétrico.....	19
Figura 2 – Pastilha Piezo.....	20
Figura 3 – Exemplos de aplicação para gerar altas tensões.....	24
Figura 4 – Cargas elétricas .....	25
Figura 5 – Deformação mecânica .....	25
Figura 6 – Cristais .....	26
Figura 7 – Transdutores de cerâmica.....	26
Figura 8 – Conversão de vibrações sonoras em sinais elétricos.....	27
Figura 9 – Exemplo de aplicação para gerar altas tensões.....	28

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. TEMA E DELIMITAÇÃO .....	2
3. OBJETIVOS .....	3
3.1 Objetivo de estudo .....	3
3.2 Objetivo geral .....	3
3.3 Objetivo .....	3
4. JUSTIFICATIVA.....	4
5. METODOLOGIA .....	4
6. PROJETO.....	5
7. DESENVOLVIMENTO.....	6
8. DISCUSSÃO.....	6
9. PROBLEMÁTICA.....	7
10.ESCOPO DO PROJETO .....	8
11.CRONOGRAMA .....	9
12.ORÇAMENTOS.....	10
13.FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	11
13.1 Princípio da piezoelectricidade .....	11
13.2 Cristais (piezoelectricidade) .....	13
14.APLICAÇÕES GERAIS DO PIEZOELÉTRICO .....	16
14.1 Piezoelectricidade.....	17
14.2 Sinal piezoelectrico .....	21
15.APÊNDICE .....	23
16.CONCLUSÃO .....	24
17.REFERÊNCIAS.....	25



## **1. INTRODUÇÃO**

A ideia do nosso projeto, surgiu através de um vídeo em que os jogadores de futebol de uma comunidade corriam pelo campo e isso contribuía para a geração de energia utilizada para iluminar o campo durante a noite.

Esse trabalho surgiu graças a um dos projetos da Shell onde ela aposta e acredita nas ideias de novos cientistas.

A energia cinética da Pavegen, usada no campo de futebol, foi desenvolvida por Laurence Kemball-Cook, vencedor do prêmio Shell Iniciativa Jovem.

A partir daí pensamos “e se...” Fizéssemos algo parecido ou semelhante!!?

## **2. TEMA E DELIMITAÇÃO**

Com o crescimento populacional, avanço da tecnologia e aumento da produção industrial, torna-se necessário uma maior demanda de fontes de energia, mas o grande problema é obter uma energia limpa e renovável. Atualmente discute-se muito a respeito de sustentabilidade.

Em 1880 Pierre e o seu irmão mais velho Jacques Curie, demonstraram que se gerava um potencial elétrico quando se comprimiam cristais, a piezoelétricidade, e esse comportamento foi utilizado mais tarde em aparelhos eletrônicos como toca discos e alto falantes. Pouco depois em 1881, eles demonstraram a existência de efeito inverso: cristais podiam ser deformados quando submetidos a um campo elétrico. Quase todos os atuais circuitos eletrônicos digitais recorrem a este fenômeno.

A descoberta da propriedade de alguns cristais produzirem energia elétrica através de impulsos mecânicos é uma nova opção para a conservação ambiental e produção inesgotável de energia.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo de estudo**

Estudamos e analisamos o projeto a ser executado, encontramos possíveis dificuldades que podem ocorrer, tais como, armazenamento de energia, durabilidade das pastilhas submetidas ao esforço mecânico, com isso pré-determinamos o período em que devem ser realizadas as manutenções preventivas e corretivas do equipamento.

#### **3.2 Objetivo geral**

Demonstrar novos meios de geração de energia elétrica, contribuindo com as empresas na geração de energia sustentável e renovável visando a economia de energia e evitando gastos nos setores que necessitam de uma economia elétrica.

#### **3.3 Objetivo**

O objetivo do projeto é converter energia mecânica em elétrica através de um piso gerador em ambientes públicos de grande movimentação, tais como: Estações de trem, metros, ônibus, shoppings etc.

#### **4. JUSTIFICATIVA**

Com o crescimento populacional, avanço da tecnologia e aumento da produção industrial, torna-se necessário uma maior demanda de fontes de energia, mas o grande problema é obter uma energia limpa e renovável. Atualmente discute-se muito a respeito de sustentabilidade.

#### **5. METODOLOGIA**

Através de pesquisa, vídeos (internet), e estudos da piezoelectricidade.

## 6. PROJETO

Com o princípio de obtenção de energia elétrica sustentável e alternativa, resolvemos desenvolver um projeto que atendesse essa grande necessidade. No qual pudemos observar o quanto de energia é desperdiçada nos dias de hoje, em diferentes formas, na forma mecânica, de calor, da dança, de caminhadas, corridas e etc.

Em um mundo de constantes transformações, estudos de novas tecnologias e projetos, a demanda de energia cresce.

Com base nisso iniciamos nosso projeto com ideias e o intuito de implantar um sistema de geração de energia elétrica, onde as pessoas ao se movimentarem, possam transformar essa energia mecânica de seus movimentos em energia elétrica.

Através dessa ideia, passamos a desenvolver um piso onde as pessoas poderão passar sobre ou até mesmo dançar em cima do mesmo, tão logo que o contato de cada pessoa possa captar essa energia empregada através dos esforços físicos (energia mecânica) em energia elétrica. Tal sistema que seria desenvolvido com a utilização de pastilhas Piezoelétricas.

Há diversas formas de geração de energia atualmente, (hidroelétrica, nuclear, termoelétrica, eólica, geotérmica, solar e etc.). O piso piezoelétrico foi assim denominado pois partiu da ideia de usar os princípios e sistemas piezoelétrico como base para o projeto, através de sua funcionalidade.

Agregando diferentes materiais, desenvolvendo-se o piso (cuissance) piezoelétrico que será capaz de captar energia necessária até a realização do acionamento de cargas, podendo assim ser utilizado inicialmente em locais com grande fluxo de pessoas e carros, pois através do impacto gerado no contato com a superfície piezoelétrica, a carga será acionada, sendo assim uma excelente alternativa para casas noturnas e também pode-se utilizar em ruas, avenidas, rodovias e estradas para iluminação da mesma.

Em nossas pesquisas chegamos ao ponto de armazenar essa energia gerada para que se possa ser usada em qualquer momento.

Este sistema de conversão de energia é muito promissor, apresentando muitas possibilidades de aplicações, atualmente e no futuro.

Para o desenvolvimento deste projeto, foi pesquisado matérias capazes de transformar energia mecânica em outro tipo de energia. Optou-se por pastilhas piezelétricas que são totalmente habilitadas para esse tipo de processo transformador, pois são capazes de gerar tensão e corrente elétrica.

## **7. DESENVOLVIMENTO**

Testes preliminares demonstraram que com uma pastilha piezoelétrica soldada a cabos flexíveis de 0,32mm é possível conectar ao led de auto brilho, pois as pastilhas são capazes de gerar energia suficiente para acionar o led.

Com base neste teste a segunda etapa será ampliar o projeto, para atingir o objetivo de compor um piso piezoelétrico funcional.

A ideia será usar o contato que ocorrerá em cima do piso para posicionar as pastilhas, onde elas possam captar melhor a força mecânica para obtenção de uma melhor energia elétrica.

Definindo onde as pastilhas serão acomodadas em um molde do piso em E.V.A e será transferido para a base do madeirite. Com o molde finalizado as pastilhas serão posicionadas no madeirite e ao centro das pastilhas piezoelétricas de modo que o relevo do tapete de E.V.A e das bolinhas de ténis estarão em contato com o centro das pastilhas piezoelétricas e assim, passe a gerar energia elétrica necessária para o acionamento das cargas a qual forem conectadas o nosso piso, isto é, após sofrerem o esforço mecânico sobre a superfície do piso (cuissance).

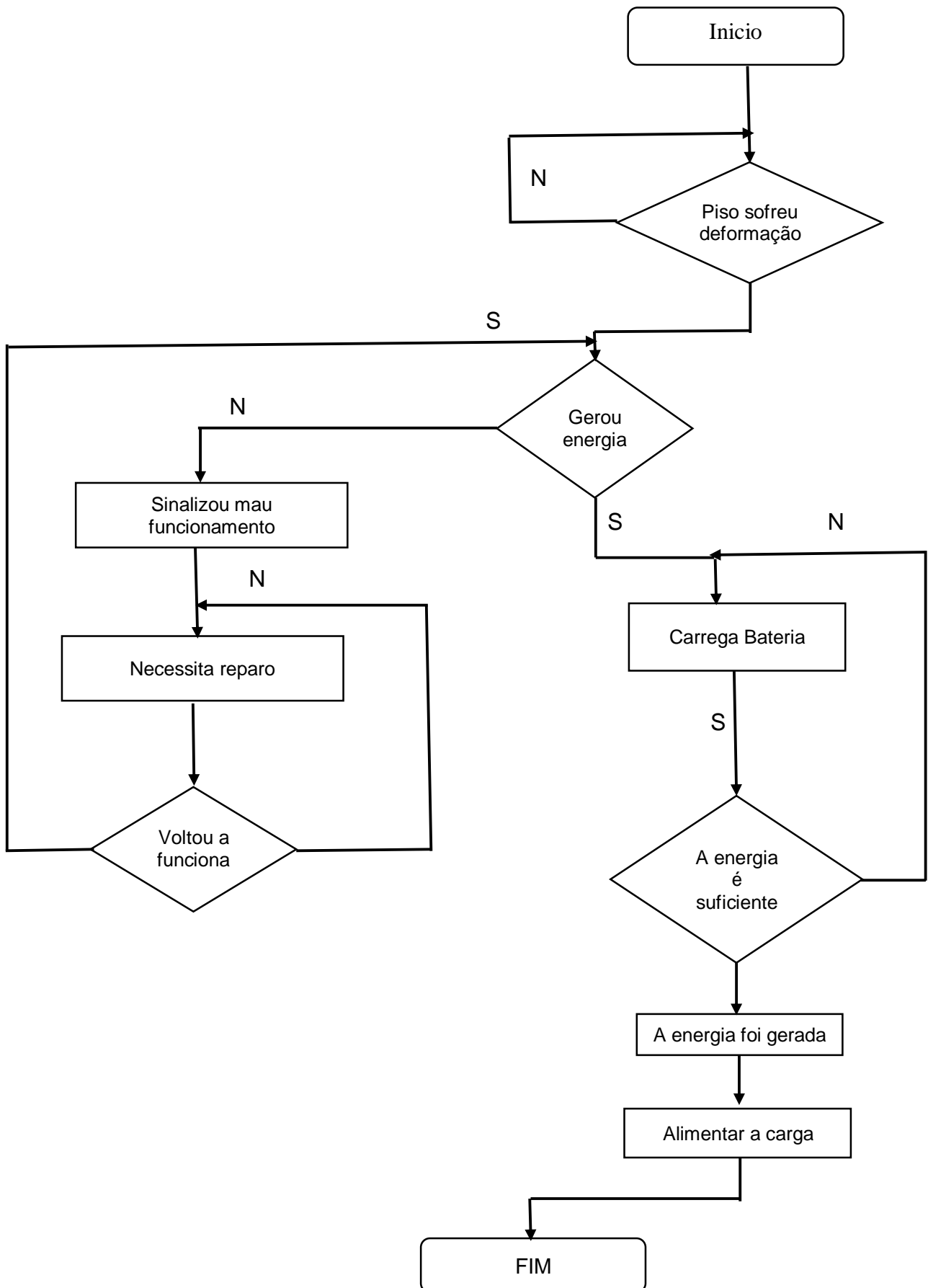
## **8. DISCUSSÃO**

Os resultados do presente estudo indicam que ações e estudos que combinam informações e motivações visando à promoção do consumo de uma energia cada vez mais limpa foram bem-sucedidos no ponto de vista econômicos e ambientais. As ações avaliadas buscaram, essencialmente, propiciar conhecimentos sobre vantagens do consumo de uma energia mais saudável e incrementar habilidades para sua introdução na utilização cotidiana. O caráter indicativo dos resultados decorre das possíveis limitações inerentes ao caráter piloto do estudo, com destaque para reduzir os números de investimentos em pesquisas estudadas, a não avaliação dos benefícios a serem obtidos com tais investimentos em longo prazo.

## **9. PROBLEMÁTICA**

Nossa maior dificuldade foi em como gerar uma energia forte o suficiente para poder ser armazenada e reutilizada e com a durabilidade das pastilhas piezo elétricas.

## 10.ESCOPO DO PROJETO





11. CRONOGRAMA

ATIVIDADES	2015												2016																																
	Jun			Ago			Set			Out			Nov			Dez			Fev			Março			Abri			Maio			Junho														
	2	3	4	1	2	3	4	2	3	4	1	3	4	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4													
Organização do grupo	X																																												
Escolha do tema		X																																											
Planejamento da parte técnica			X	X	X																																								
Elaboração do Estado da arte					X	X																																							
Montagem do relatório N1 e N2						X	X	X																																					
Entrega parte teórica N1 e N2							X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X																								
Desenvolvimento da manografia							X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X																								
Orgamento de materiais									X	X				X	X	X																													
Compra dos materiais										X	X		X	X	X	X	X	X																											
Início das Apresentações PTCC											X		X																																
Apresentação PTCC											X		X																																
Apresentações PTCC demais grupos										X	X	X	X	X	X	X	X	X																											
Ensaio para apresentação para Banca																X	X	X	X	X	X																								
Entrega da monografia para revisão																	X																												
Montagem do projeto																X	X	X	X	X	X																								
Verificar possíveis falhas no projeto																	X																												
Conclusão do projeto																																													
Apresentação para a banca																																								X	X	X			

F - Feriado

Fe - Férias

## 12. ORÇAMENTOS

### Protótipo

MATERIAL	VALOR	DATA
Bolinhas de tênis	R\$ 23,96	22/08/2015
Piezzo (8 pçs)	R\$ 8,00	01/08/2015
Imã (2 pçs)	R\$ 22,00	05/09/2015
Piezzo (10 pçs)	R\$ 10,00	05/09/2015
Madeira (4 pçs)	R\$ 20,00	12/09/2015
Imã (4 pçs)	R\$ 25,20	26/09/2015
Componentes eletrônicos	R\$ 67,80	26/09/2015
Componentes eletrônicos	R\$ 4,50	03/10/2015
Bolinhas de tênis	R\$ 48,00	03/10/2015
Vergalhão	R\$ 18,40	10/10/2015
Bolinhas de silicone	R\$ 9,00	10/10/2015
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 256,86</b>

### Produto final

MATERIAL	VALOR
Bolinha de tênis (9 pçs)	R\$ 36,00
Componentes eletrônicos	R\$ 80,00
Banco de baterias	R\$ 72,00
Piezzo (18 pçs)	R\$ 18,00
Estrutura do piso	R\$ 65,00
Acabamento	R\$ 32,00
Maquete	R\$ 82,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 385,00</b>

## 13.FUNDAMENTOS TEÓRICOS

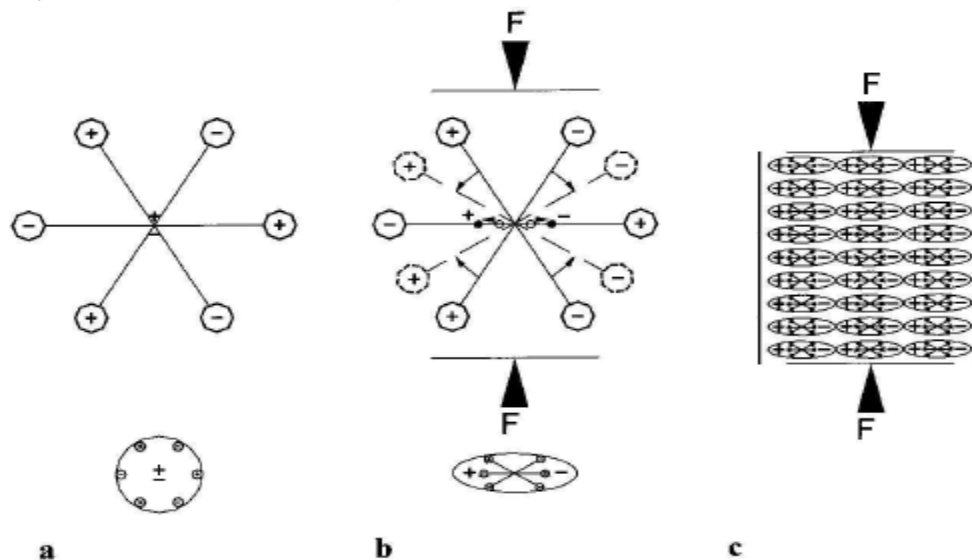
### 13.1Princípio da piezoelectricidade

Uma das condições básicas para que um cristal seja piezoelectrico é que ele não possua centro de simetria, uma vez que essa propriedade física tem sua origem justamente na anisotropia do cristal, ou seja, no fato da resposta do material a um estímulo externo não ser a mesma em todas as direções.

Ao ser tensionado, um material piezoelectrico passará a apresentar uma polarização espontânea não nula.

Vamos analisar este efeito em uma molécula neutra: antes de submeter o material a uma força externa, centros gravitacionais de cargas positivas e negativas coincidem (representando pela figura 1a). Então os efeitos externos das cargas positivas e negativas são cancelados, resultando em moléculas neutras.

Ao exercer uma pressão no material sua estrutura reticular pode ser deformada, levando a uma separação dos centros gravitacionais de cargas positivas e negativas das moléculas gerando pequenos dipolos (figura). As cargas internas do polo são mutuamente canceladas e as distribuições das cargas ligadas aparecem na superfície do material elétrico e pode ser usada para transformar a energia mecânica (deformação do Material) em energia elétrica.



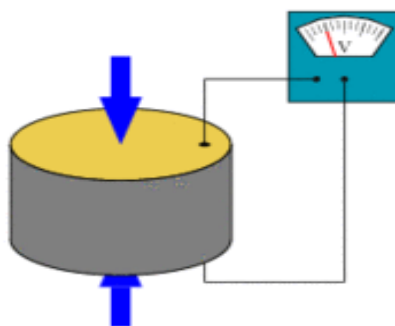
<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/4571-art632>  
**Figura 1 - Modelo molecular simples para explicar o efeito piezoelectrico**

- a) molécula sem deformação;
- b) molécula sujeita a deformação;
- c) efeito de polarização na superfície do material.

Podemos esperar que quando um cristal está sob a influência de um estímulo externo, como uma tensão ou uma tração uniforme, ou um campo elétrico estático de baixa frequência, o cristal se deforma. Essa deformação depende da simetria do cristal e da direção na qual o estímulo é aplicado, enquanto que a magnitude dessas deformações depende do material (do valor da constante piezoelétrica correspondente).

Piezoelétricidade é a capacidade de alguns cristais gerarem tensão elétrica por resposta a uma pressão mecânica, O termo piezoelétrico provém do grego (piezein), que significa apertar/pressionar.

Referente à geração de corrente elétrica, juntou-se a designação eletricidade, de modo que piezoelétricidade é interpretado como a produção de energia elétrica devido à compressão sobre determinados materiais.



<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/4571-art632>

**Figura 2 - Pastilha Piezo**

Um disco piezoelétrico gera uma diferença de potencial quando deformado. O efeito piezoelétrico é entendido como a interação eletromecânica linear entre a força mecânica e o estado elétrico (forças de Coulomb) em Materiais cristalinos (cerâmicos, polímeros)

O efeito piezoelétrico é um processo reversível em que os materiais em que os materiais exibem o efeito piezoelétrico direto (a geração interna de carga elétrica resultante de uma força mecânica aplicada) também exibem o efeito piezoelétrico reverso (a geração interna de uma tensão mecânica, resultante de um campo elétrico aplicado). Por exemplo, os cristais de titanato zirconato de chumbo irá gerar piezoelétricidade mensurável quando a sua estrutura estática é deformada por cerca de 0,1% da dimensão inicial. Por outro lado, esses mesmos cristais mudam cerca de 0,1% da sua dimensão estática quando um campo elétrico externo é aplicado ao

material. Como exemplo, o efeito piezoelétrico é usado na produção de ondas de ultrassom.

### **13.2 Cristais (Piezoelétricidade)**

No final da década de 1870, o físico francês Paul Jacques Curie (1855 – 1941), sob a direção do químico francês Charles Friedel (1899-1899), realizava pesquisas sobre o efeito piro-elétrico, um fenômeno observado pela primeira vez pelo físico escocês David Brewster (1781-1868), em 1824m no quartzo, e que consiste no aparecimento de cargas elétricas em certos cristais quando eles são esquentados. Apesar de experiências com esse fenômeno serem realizadas em vários laboratórios, sua interpretação era contraditória. Desse modo, para melhor entender esse fenômeno, Jacques juntou-se a seu irmão mais novo, o físico e químico Pierre Curie (1859-1906). Assim, em 1880, usando simples argumentos de simetria, eles observaram que havia uma diferença de potencial na face de um cristal não condutor, toda vez que se colocava um peso sobre ele.

Nessa experiência realizadas em 1880, os irmãos Curie utilizaram vários cristais, tais como: Sulfureto de zinco ( $ZnS$ ), clorato de sódio ( $NaClO_3$ ), cloroborato de magnésio ( $Mg_3 B_3 O_{10} Cl$ ) ou boracita, turmalina, quartzo, carbonato de zinco ( $ZnCO_3$ ) ou calamina, topázio, açúcar e sal de Rochelle ou sal de Seignette ( $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ ), que são cristais hemidrícos com eixos de simetria polares. Como resultado dessas experiências, eles observaram que a polarização elétrica (medida com precisão com um eletrômetro de Thomson) produzida é proporcional à tensão aplicada e que a direção dessa polarização se inverte quando a tensão muda de compressão para tração.

Quando, em 1881, o físico francês Gabriel Jonas Lippmann (1845-1921; PNF 1908) tomou conhecimento dessa descoberta dos Curie, imediatamente previu que, de acordo com a termodinâmica, deveria haver o efeito Piezoelétrico reverso, segundo o qual um cristal se alonga ou se contrai sob o efeito de um campo elétrico.

Ainda em 1881, e em 1882 os irmãos Curie comprovaram essa previsão observando que quartzo e a turmalina se contraíam ou se expandiam, dependendo da direção do campo elétrico aplicado.

Destaca-se que, havendo entendido a piezoelétricidade, os irmãos Curie construíram um aparelho, a balança de quartzo piezoelétrico, que fornece a carga elétrica proporcional aos pesos suspensos nela.

A maioria dos cristais não possui propriedades piezoelétricas. O mais importante cristal natural que possui esta propriedade, porém, é o quartzo. Além deste, pela facilidade de síntese, os cristais utilizados são cerâmicas à base de, por exemplo, titanato de bário ou zirconato de chumbo.

O quartzo é o mineral piezoelétrico (vibra ao receber excitação elétrica, as formas de vibração estão relacionadas com a forma de corte que é feita no cristal) mais importante para a indústria eletrônica moderna.

A placa de quartzo adequadamente orientada é utilizada como o padrão de frequência de oscilação. A ressonância mecânica dessas placas pode ser ajustada em uma frequência desejada, sendo muito estável devido à propriedade elástica quase perfeita do quartzo e, é transformada em oscilações eletrônicas através da piezoelétricidade. O produto mais popular é o relógio de quartzo. Para computadores, este é uma peça fundamental e indispensável como gerador "clock".

Entretanto, o desenvolvimento de novas aplicações para esses materiais tem se intensificado apenas nos últimos 50 anos. Isto se deve só ao conjunto inusitado de propriedades que os cerâmicos podem apresentar como materiais de Engenharia, mas também à sua complexidade de fabricação, isto é, fazer com que seja utilizado pela indústria.

Atualmente, boa parte da dinâmica do desenvolvimento tecnológico tem por base as cerâmicas para uso, por exemplo, em componentes eletrônicos, onde atuam em diversas áreas, indicando a relação entre as cerâmicas com as subclasses eletrônicas para todos os sólidos inorgânicos e não-metálicos.

A piezoelétricidade é uma propriedade que somente um seleto grupo de materiais possui. Foi descoberta em 1880 por Jacques e Pierre Curie durante um estudo sistemático sobre o efeito da pressão na geração de cargas elétricas por cristais, como o quartzo. O prefixo piezo deriva do grego e significa pressionar. Piezoelétricidade é, então, a geração de eletricidade como resultado da pressão mecânica. A piezoelétricidade também é definida como polarização elétrica produzida por esforço mecânico em cristais de modo que muda de sinal com ele.

A simetria de um cristal iônico é refletida em suas propriedades como material. O movimento dos íons negativos e positivos em relação uns aos outros (como resultado de esforço mecânico) produz dipolos elétricos, isto é, polarização. Para

materiais que são piezoelétricos, mas não são ferroelétricos (não possuem polarização espontânea), o esforço é o único gerador de dipolos.

As duas características necessárias para classificar um material como ferroelétrico são: a existência de polarização espontânea e demonstração de reorientação da polarização. Na piezoelectricidade, o efeito é linear e reversível a intensidade da polarização depende da intensidade do esforço e o sinal da carga produzida depende do tipo de esforço (tensão ou compressão).

As cerâmicas piezoelectricas são formuladas de várias composições e soluções sólidas, incluindo titanato de bário, zirconato e titanato de chumbo (PZT), niobato de chumbo, Titanato de bismuto, titanato de potássio e sódio e titanato de chumbo. A seguir, é apresentado um resumo do histórico do desenvolvimento de materiais cerâmicos piezoelectricos:

- **1824** - Descoberta da piroelectricidade no sal de Rochelle.
- **1880** - A piezoelectricidade é descoberta no sal de Rochelle, quartzo e outros mineirais.
- **1952** - PZT são ditos como um sistema ferroelétrico de solução-sólida, sendo estabelecido seu diagrama de fase.
- **1953** -  $\text{PbNb}_2\text{O}_6$  é descoberto como piezotransdutor.
- **1961** - Descoberta do PMN como material relaxor (quando um dielétrico apresenta dispersão da constante dielétrica com a frequência aplicada).
- **1964** - Descobertas aplicações para semicondutor FE
- **1969** - Transparências óticas são obtidas de cerâmicas ferroelétricas prensada a quente.
- **1970** - Diagramas de fase composicional do PLZT são estabelecidos.
- **1977** - Desenvolvimento de filme finos FE.
- **1978** - Desenvolvimento de compósitos FE.
- **1980** - Efeitos eletroestritivo relaxor são relatados no PMN.
- **1981** - Desenvolvimento de técnicas sol-gel para a preparação de filmes FE.
- **1983** - Efeitos fotoestritivos são relatados no PZT e no PLZT.
- **1992** - Desenvolvimento de gerador curvo para piezoatuadores.
- **1993** - Integrações dos filmes FE à tecnologia dño silício.
- **1997** - Desenvolvimento de material relaxor monocristalino para piezotransdutores.

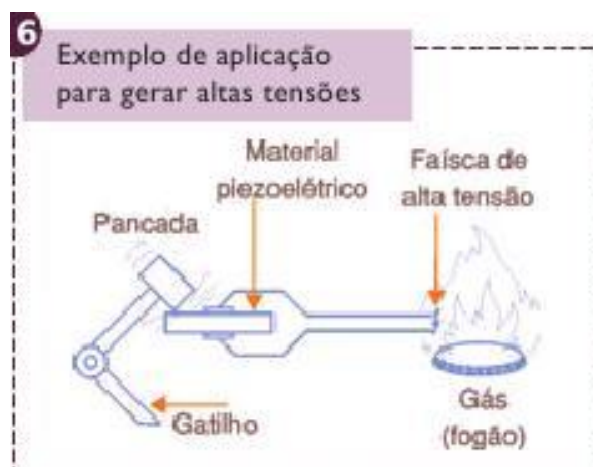
Na evolução dos materiais utilizados por suas características de piezoeletricidades, o titanato de bário, desde 1940 muito usados na indústria de capacitores, foi suplantado pelos PZTs na Indústria de transdutores. As principais vantagens dos PZTs em relação ao titanato de bário são:

- Possuem coeficiente de acoplamento eletromecânico mais alto que o titanato de bário;
- Possui um ponto Curie mais alto, o que possibilita operação ou processamento a temperaturas mais altas;
- Podem ser facilmente polarizados;
- Possuem um espectro maior de constantes dielétricas;
- São relativamente mais fáceis de serem sintetizados;
- Formam soluções sólidas com um maior número de composições químicas, permitindo obter número de propriedades.

De 1997 até o momento, foram desenvolvidos diversos materiais cerâmicos com características piezoeletricas à semelhança do PZT, variando o tipo e concentração dos dopantes, bem como as etapas de processamento.

Entre estes trabalhos foram utilizados o PMN ( $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ,  $\text{PbTiO}_3$ ), o PZT-PFW-PMN, ( $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Fe},\text{W})\text{O}_3$  –  $\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb})\text{O}_3$ ), o PZT-PMN-PZN, ( $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.56}\text{Ti}_{0.44})_{0.80}$  ( $\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}$ ) $\text{O}_3$   $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.56}\text{Ti}_{0.44})\text{O}_3$ , o PFW-FT( $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{W}_{1/3})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Ta}_{1/2})\text{O}_3$ ).

#### 14. APLICAÇÕES GERAIS DO PIEZOELÉTRICO



<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/969-transdutores-piezoeltricos>

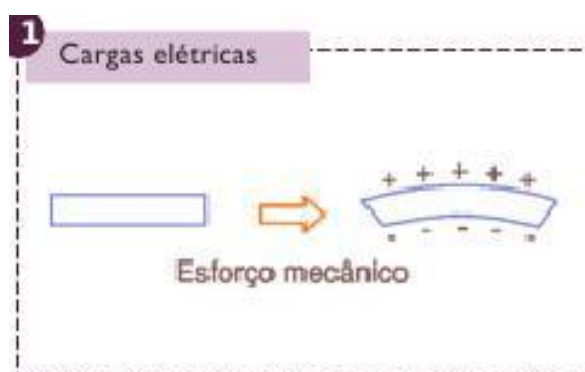
**Figura 3 – Exemplos de aplicação para gerar altas tensões**



Os transdutores piezoelétricos podem ser encontrados em diversos formatos e com muitas aplicações práticas possíveis. Na verdade, os tipos mais comuns são muito baratos e até podem ser aproveitados de equipamentos fora de uso. Veja neste artigo como funcionam esses transdutores e como fazer algumas experiências bastante interessantes, utilizando-os.

#### 14.1 Piezoelétricidade

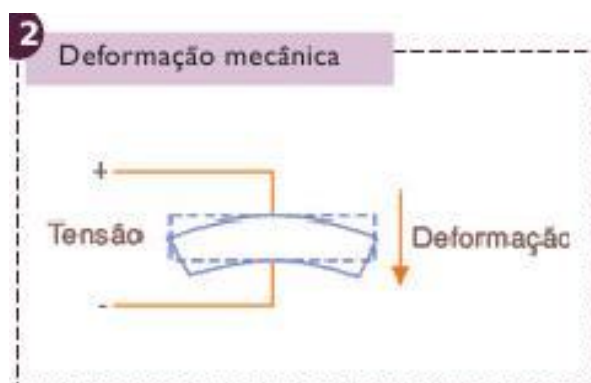
Existem materiais, denominados piezoelétricos, que, quando submetidos a uma deformação mecânica, geram cargas elétricas que aparecem em suas faces, como mostra a **Figura 4**.



<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/969-transdutores-piezoeltricos>

**Figura 4 – Cargas elétricas**

Da mesma forma, se esses materiais forem submetidos a uma tensão elétrica, eles sofrem uma deformação mecânica, ou seja, podem curvar-se, alongar-se ou mudar sua espessura, conforme ilustra a **Figura 5**.



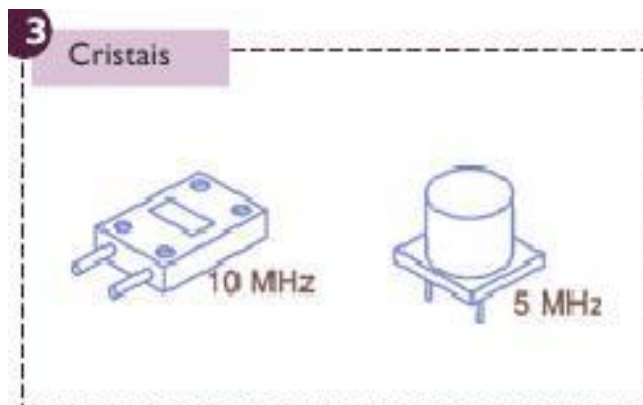
<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/969-transdutores-piezoeltricos>

**Figura 5 – Deformação Mecânica**

O cristal de quartzo é um material que apresenta essas propriedades, podendo ser usado, por esse motivo, para gerar sinais elétricos de frequência fixa. De fato, se um cristal de quartzo for excitado eletricamente, ele tende a vibrar numa única

frequência, de forma precisa, dada pelas suas dimensões e o formato em que ele é cortado.

Cristais como o visto na **Figura 6** são usados para controlar a frequência de osciladores em relógios, transmissores, computadores, instrumentos eletrônicos, de modo a se obter um sinal preciso.



<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/969-transdutores-piezoeltricos>

**Figura 6 - Cristais**

Cristais com frequências que vão de algumas dezenas de quilohertz a centenas de mega-hertz podem ser encontrados nos equipamentos eletrônicos de todos os tipos.

Um outro tipo de material piezoelétrico, com grande gama de aplicações na eletrônica, é a cerâmica de Titanato de Bário.

Além de ser mais barata, ela pode ser fabricada facilmente em diversos formatos e é fisicamente muito resistente. Essa cerâmica é usada principalmente na fabricação de transdutores semelhantes aos da **Figura 7**.



<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/969-transdutores-piezoeltricos>

**Figura 7 – Transdutores de cerâmica**

Quando aplicamos um sinal de áudio nas pastilhas de titanato de bário elas vibram na mesma frequência, transformando esses sinais em sons.

Transdutores sonoros de aviso em computadores, brinquedos, equipamentos de consumo, etc. usam esses transdutores, quer seja na forma direta de pastilhas quer seja na forma de cápsulas.

Se o sinal aplicado vier de um amplificador, por exemplo, o transdutor funcionará como um fone de ouvido.

Mas, esses transdutores também funcionam de forma inversa, captando vibrações ou sons. Assim, se falarmos diante de um transdutor deste tipo, ele vai converter as vibrações sonoras correspondentes ao som em sinais elétricos, conforme exhibe a **Figura 8**. O transdutor operará como um microfone.

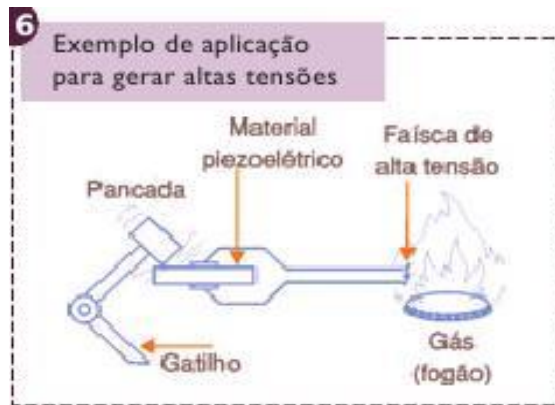


<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/969-transdutores-piezoeltricos>

**Figura 8 – Conversão de vibrações sonoras em sinais elétricos**

Acoplado a um objeto, ele poderá também ser usado para detectar vibrações mecânicas.

Finalmente, existe uma aplicação interessante que é a de gerar altas tensões. Se a uma cerâmica de titanato de bário acoplarmos um sistema que lhe dê uma boa pancada quando acionarmos um gatilho, poderemos gerar faíscas que alcançam os 4000 volts ou mais, conforme mostra a **Figura 9**.



<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/969-transdutores-piezoeltricos>

**Figura 9 – Exemplo de aplicação para gerar altas tensões**

Esse sistema é utilizado em acendedores de fogão bastante eficientes.

O fenômeno piezoelétrico é encontrado em aplicações úteis, como a produção e detecção de som, a geração de tensões elevadas, geração de frequências eletrônicas, micro balanças e concentração ultrafina de conjuntos ópticos. É também a base de uma série de técnicas científicas instrumentais com resolução atômica (microscopia de varredura de sonda), e os usos cotidianos, como atuando como fonte de ignição para isqueiros de faísca elétrica, microfones, e as famosas "pílulas" ou cápsulas de guitarra (embora sejam utilizadas em guitarras acústicas, baixos, violoncelos e outros), que representam uma espécie de microfone. O projeto mais arrojado; porém, refere-se à utilização dos materiais piezoelétricos em ruas e estradas, onde a pressão causada pela movimentação dos carros podem ser usados para gerar eletricidade de forma barata.

As transformações que ocorrem em cada material:

Exemplos de transformações mecânico-elétrica

- Medidor de pressão;
- Microfone;
- Isqueiro elétrico;
- Alarme antifurto;
- Agulha do toca-discos.

Exemplos de transformações elétrico-mecânicas

- Ultrassom;
- Nebulizadores;
- Aparelhos elétricos contra mosquitos;
- Alto-falantes.

## 14.2 Sinal Piezoelétrico

Independente do sinal que seja medido, é importante convertê-lo em um formato fácil de ser entendido pela maioria dos sistemas de aquisição do mercado. Se cada fabricante de transdutor resolvesse adotar um padrão próprio, seria muito difícil fazer a integração entre transdutor e sistema de aquisição, em função da variedade de sinais a serem medidos. Com a popularização dos sistemas de aquisição, alguns formatos foram sendo adotados com mais frequência e se tornaram padrão de mercado.

A forma mais barata e simples de converter um sinal físico em elétrico é transformá-lo em corrente ou em tensão. Desta constante surgiram os padrões mais populares que são a saída 0 a 10V e a saída 4 a 20V mA. Na primeira, a intensidade do sinal físico é convertido linearmente em um sinal de tensão na faixa de 0 a 10V ou em um sinal de corrente na faixa de 4 a 20 A. Como exemplo, digamos que estamos medindo um sinal de pressão com um transdutor com fundo de escala de 20 bar (bar é uma unidade de medida para medição de pressão. 1 bar equivale à pressão atmosférica ao nível do mar).

Se a pressão for 0 bar, a saída em tensão será igual a 0 Volts. Se a pressão for de 5 bar, a tensão de saída será de 2.5 volts e assim por diante. Quando a pressão atingir o valor máximo para o transdutor, a tensão de saída será também máxima, ou seja, para 20 bar na entrada do transdutor, este gerará 10 V na saída.

Se o transdutor for perfeitamente linear podemos definir uma função matemática que calcula a tensão de saída em função da pressão de entrada. Para o nosso transdutor hipotético, esta função seria:

$$V \text{ saída} = P \text{ entrada} \times Fc$$

Onde:

**V saída:** tensão da saída do transdutor

**P entrada:** pressão na entrada do transdutor

Fc: fator de conversão

No nosso exemplo,  $Fc=0,5$  se a pressão de entrada for de 6,42 bar, a tensão de saída poderá ser calculada como:

$$V \text{ saída} = 6,42 \times 0,5 = 3,21 \text{v}$$

No caso da saída 4 a 20mA, a ideia é semelhante. Só que existe um deslocamento do zero no começo da curva. A corrente de saída parte de 4mA quando

o sinal de entrada no transdutor for zero. A vantagem deste tipo de saída é ser possível detectar quando a conexão do transdutor esta rompida ou em curto, já que o sinal de saída estiver em 0 mA, algo está errado, pois estamos assumindo aqui que a pressão de entrada não pode ser negativa (neste nosso exemplo). Para este tipo de transdutor a corrente de saída pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$I \text{ saída} = P \text{ entrada} \times Fc + 4mA$$

Onde:

**I saída:** corrente de saída transdutor

**P entrada:** pressão na entrada do transdutor

**Fc:** fator de conversão

Neste caso,  $Fc=0.8$  já que pressão de entrada for 20 bar o transdutor vai gerar a corrente máxima de 20mA.

Como exemplo, se a pressão de entrada for de 6,42 bar, a corrente de saída poderá ser calculada como:

$$I \text{ saída} = 6,42 \times 0,8 + 4 = 9,136 \text{ mA.}$$

São comuns variações destes padrões como tensão de saída de 0 a 5V ou corrente de 0 a 20 mA. Devido à popularidade destes padrões, alguns fabricantes disponibilizaram os dois sinais no mesmo transdutor.

Outras formas padronizadas de saída também foram desenvolvidas, algumas delas para aplicações específicas. Existem transdutores com saída em frequência, de saída em PWM (Pulse Width Modulation), saída em sinal resistivo, saída em sinal ressonante e saída já digitalizada, entre outras.

## **15. APÊNDICE**

Através de vídeos vistos no YouTube, e em site especializados em tecnologias como Tecmundo, Gizmodo, Mecatrônica atual, Eletrônica fácil, de onde tiramos toda a base para o desenvolvimento do projeto.

## **16. CONCLUSÃO**

Diante do exposto, considera-se fundamental discutir às abordagens teóricas utilizadas nas práticas de geração de energia elétrica, o que não significa um retorno a uma perspectiva instrumental, mas sim uma tentativa de estabelecer novas relações entre o técnico e o político, pois eles se exigem entre si e o momento demanda uma perspectiva de desenvolvimento que coadune as duas dimensões.

É necessário aprofundar a discussão sobre o conceito de novas alternativas de geração de energia cada vez mais limpa a ser desenvolvida no contexto atual, a qual seria uma real contribuição para as novas demandas apontadas na promoção das práticas de geração de energia elétrica.

Devido ao crescimento cada vez mais da demanda de energia no Brasil devido ao seu crescimento nas últimas décadas, e as crises hídricas se faz necessário investimentos em pesquisas cada vez mais aprofundadas sobre novas alternativas de geração de energia elétrica.



## 17.REFERÊNCIAS

Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/969-transdutores-piezoeltricos>

Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/4571-art632>

Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Piezoeltricidade>

Disponível em: <http://eletrocuriosidades.blogspot.com/2011/09/gerando-energia-eletrica-atraves-do.html>