

## **Piezoelasticidade como fonte de energia renovável: uma revisão bibliográfica**

MARTINS, Robson Pereira (rob81\_martins@yahoo.com.br)

FILHO, Geraldo Lúcio Tiago (gliagofilho@gmail.com)

### **RESUMO**

A energia elétrica resultante da pressão exercida sobre materiais conhecidos como piezoelétricos, é chamada Piezoelasticidade. Desde sua descoberta em 1880, a piezoelasticidade vem sendo objeto de estudos científicos, industriais e energéticos. Sua aplicação vai desde implantes e dispositivos médicos a calçados que acendem LEDs e pistas em locais de grande movimentação para geração de energia. No Brasil, sua utilização é recente e, por enquanto, não representa uma fonte de energia renovável implantada em larga escala, apesar de ser considerada um fonte de energia limpa, de baixo impacto ao meio ambiente e biocompatível (adaptável ao corpo humano). Através de uma pesquisa bibliográfica, serão apresentadas as contribuições dos diversos estudos desenvolvidos sobre piezoelasticidade, com foco para sua aplicação na área de energias renováveis. Ao final deste artigo, serão apresentadas as considerações a respeito da trajetória da piezoelasticidade até os dias atuais, observações quanto ao uso da piezoelasticidade como fonte de energia renovável e sugestões para trabalhos futuros.

**Palavras-chaves:** Piezoelasticidade; Energias renováveis; Pesquisa Bibliográfica.

## **Piezoelectricity as a source of renewable energy: a literature review**

### **ABSTRACT**

*The electric energy resulting from the pressure exerted on materials known as piezoelectric, is called Piezoelectricity. Since its discovery in 1880, piezoelectricity has been the subject of scientific, industrial and energy studies. Its application ranges from implants and medical devices to shoes that light up LEDs and tracks in busy locations for power generation. In Brazil, its use is recent and, for the time being, it does not represent a large scale renewable energy source, despite being considered a source of clean energy, low impact to the environment and biocompatible (adaptable to the human body). Through a bibliographical research, the contributions of the several studies developed on piezoelectricity, focusing on its application in the area of renewable energies will be presented. At the end of this article, we will present the considerations regarding the trajectory of the piezoelectricity to the present day, observations regarding the use of piezoelectricity as a source of renewable energy and suggestions for future work.*

**Keywords:** *Piezoelectricity; Renewable energy; Bibliographic research.*

## 1. INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

Diversos países têm recorrido a fontes de energias renováveis sustentáveis devido à preocupação com as consequências ambientais do efeito estufa e a queima de combustíveis fósseis, bem como o risco de acidentes ambientais da energia nuclear (CHOI, *et al.*, 2011, *apud* GOMES, *et al.*, 2019).

Além da preservação ambiental e climática, uma maior demanda por energia decorrente do aumento da população e do desenvolvimento tecnológico/industrial também têm conduzido à crescente procura por fontes energéticas alternativas renováveis (TORRES, 2012).

Bermann (2003) aponta para o atual desafio enfrentado pelo Brasil de atender à crescente demanda de sua população por energia, com responsabilidade ambiental, eficiência e igualdade.

A seguir veremos a trajetória percorrida pela área de estudos relacionados à piezoelectricidade, desde a descoberta dos materiais piezoelétricos, até sua atual utilização como fonte de energia renovável e sustentável, em pequena, média e larga escalas, nos mais diversos campos de aplicação.

De acordo com Klein e Dutrow (2012), os minerais conhecidos como **piezoelétricos** (como a turmalina e o quartzo), sob pressão direcionada, geram carga elétrica positiva em um dos lados, e carga elétrica negativa no outro lado.

Segundo os mesmos autores:

“A propriedade da piezoelectricidade foi primeiramente detectada no quartzo, em 1881, por Pierre e Jacques Curie, mas aproximadamente 40 anos se passaram antes que ela fosse usada de um modo prático. Durante o final da I Guerra Mundial, foi descoberto que as ondas de som produzidas por um submarino podiam ser detectadas pela corrente piezoelétrica gerada quando elas colidiam com uma placa de quartzo submersa (KLEIN E DUTROW, 2012, p. 61).”

Após a publicação do estudo dos irmãos Curie, o termo **Piezoelectricidade** foi proposto por Hankel (1881), e significa '*eletricidade por pressão*' (MORAES, 2018).

A descoberta do *efeito piezoelétrico direto* pelos irmãos Curie permitiu também que Gabriel

Lippmann evidenciou, um ano depois, o *efeito piezoelétrico reverso*, que é a capacidade dos materiais piezoelétricos sofrerem deformação mecânica quando aplicado campo elétrico em extremidades opostas (LIPPMANN, 1881, *apud* MORAES, 2018).

Já no século XX, durante a Primeira Guerra Mundial (1914 – 1918), surgiu a necessidade de serem detectados sons submarinos, o que levou Paul Langevin em 1917 a desenvolver um dispositivo de cristais de quartzo envolvidos por placas de metal, para gerar pulsos de ultrassom e receber ecos. A invenção (Figura 1) ficou conhecida como *transdutor tipo Langevin*, e foi patenteada em 1921 (SHERMAN, BUTLER, 2016).

Segundo Fawwaz (2005), considerando sua aplicação tecnológica, um transdutor piezoelétrico é um sensor de força eletromotriz, pois responde a um estímulo externo gerando tensão induzida.

Um transdutor é um dispositivo de medida e controle, no qual o campo elétrico ou magnético servirá para a conversão eletromecânica de energia, e cujas características físicas dependerão de sua aplicação. Microfones, cápsulas fonográficas, sensores e alto-falantes são exemplos de transdutores (UMANS, 2014).

Transdutores piezoelétricos de baixo custo, elaborados para a microgeração de energia são chamados de *buzzers* (BELTRAN, 2016).

Itaboray *et al* (2014) afirmam que, devido ao uso dos transdutores de cristais de quartzo dependerem de geradores de alta-tensão, passaram a ser desenvolvidos nas décadas de 40 e 50 do século XX os materiais piezoelétricos sintéticos: cerâmicas piezoelétricas de Titanato de Bário pelo Japão e antiga URSS (União das Repúblicas Socialistas Soviéticas); e cerâmicas piezoelétricas de Titanato Zirconato de Chumbo (PZT's) pelos EUA.

As piezocerâmicas também podem compor geradores piezoelétricos. Para Cardoso (2006), um conjunto gerador piezoelétrico é composto de um gerador piezoelétrico (ex: cerâmica PZT), um controlador de carga (que harmoniza a tensão gerada com o tipo de tensão exigida pela bateria) e uma bateria, conforme Figura 2.

A Figura 3 demonstra a tensão elétrica  $E$  que é gerada com a compressão e expansão de uma peça piezocerâmica (gerador piezoelétrico).

Na Figura 4 estão esquematizados os dois principais modos de aproveitamento de energia (ou efeitos piezelétricos): longitudinal e transversal.

Sensores e atuadores, por poderem configurar dispositivos leves, compactos e em formatos variados, têm sido constituídos por materiais piezoelétricos, em especial piezocerâmicas. Já as pastilhas cerâmicas finas, devido ao seu baixo custo, têm sido utilizadas em larga escala no âmbito industrial (JÚNIOR, 2009).

Para Júnior (2009), equações constitutivas permitem o desenvolvimento de modelagem e simulação de estruturas piezelétricas, a partir das propriedades elásticas, elétricas e piezelétricas dos materiais envolvidos.

Ainda mediante equações constitutivas e da Termodinâmica, é possível calcular a energia interna acumulada por um material piezoelétrico, pela fórmula a seguir, na qual  $dU$  representa uma variação infinitesimal na energia interna, devido ao trabalho  $dW$  e à troca de calor  $dQ$ , ambos definidos pela interação do material com o meio externo (JÚNIOR, 2009):

$$dU = dW + dQ$$

Com relação às pesquisas envolvendo piezoeletricidade, as duas principais frentes de estudos visam: a) a indústria, através de pesquisas envolvendo a criação de materiais sintéticos e/ou piezoelétricos; b) simulação de suas operacionalidades, através de modelos matemáticos (JÚNIOR, 2009).

Na geração de energia de pequeno porte, visando pequenas demandas do cotidiano, os *gadgets* são dispositivos portáteis diversificados, conectados por cabo USB, tais como smartphones, MP3 ou MP4 players (BELTRAN, 2016).

Ainda de acordo com o mesmo autor, para a geração de energia de médio e grande portes (lojas, residências, colégios, faculdades, estacionamentos, ruas, rodovias), é necessário que placas com *buzzers* piezelétricos sejam instaladas no chão, para utilização no momento da geração da energia piezoelétrica, ou para armazenamento em baterias recarregáveis (BELTRAN, 2016).

Beltran (2016) afirma também que no Brasil a geração de energia piezoelétrica é pouco utilizada e conhecida, mas na Europa seu uso já é amplo, como na iluminação de estradas, estádios de futebol e danceterias.

## **2. CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÃO**

Para o desenvolvimento deste artigo foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito da piezoelectricidade, desde sua descoberta, até sua atual utilização como fonte de energia.

Segundo Ferrer (2010), na revisão bibliográfica, devem ser apresentados os marcos teóricos e conjunto de referenciais teóricos que embasam o enfoque fundamental do tema tratado.

Vimos que os primeiros estudos da propriedade piezoelétrica advém dos irmãos Curie em 1881 e que, em seguida, Lippmann descobriu o efeito piezoelétrico reverso. Já Langevin, no período da Primeira Guerra Mundial, inventou o transdutor de cristais de quartzo, o qual permitia a identificação de sons submarinos.

Passamos para o surgimento das materiais piezoelétricos sintéticos (como as piezocerâmicas) e seguimos com a contribuição da piezoelectricidade em geradores elétricos, sensores, bem como seu uso na geração de energia de pequeno, médio e grande portes.

Discutimos também como equações constitucionais e a Termodinâmica podem contribuir para o cálculo da energia interna de um material piezoelétrico e que as principais linhas de pesquisa na área destinam-se ao desenvolvimento de materiais piezoelétricos para fins industriais ou à simulação de propriedades funcionais por modelos matemáticos.

Concluimos que, desde sua descoberta, a piezoelectricidade vem evoluindo de forma estrutural, alcançando amplitude de utilização e conhecimentos para novas aplicabilidades.

Como objeto de estudos, podemos dizer que a piezoelectricidade é um campo promissor que vai além da geração de energia, pois haverá grande demanda em diversas áreas como medicina, eletrônicos, construção civil e naval, aviação, aeroespacial.

## FIGURAS

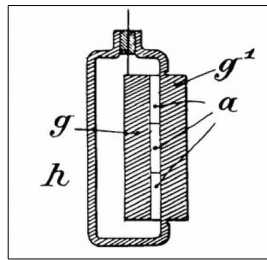


Figura 1 – Invenção patenteada por P. Langevin em 1921. Dispositivo ultrassônico de placas de aço ( $g$ ;  $g^1$ ) e cristais de quartzo ( $a$ ). Fonte: SHERMAN, BUTLER, 2016

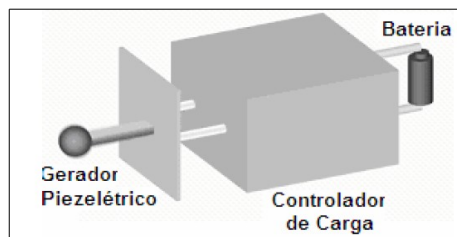


Figura 2 – Conjunto gerador piezelétrico. Fonte: Cardoso (2006)

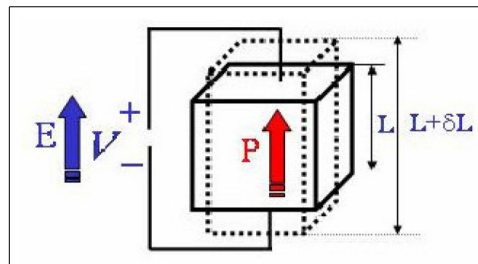


Figura 3 – Geração de Energia Elétrica em função da pressão P. Fonte: Cardoso (2006)

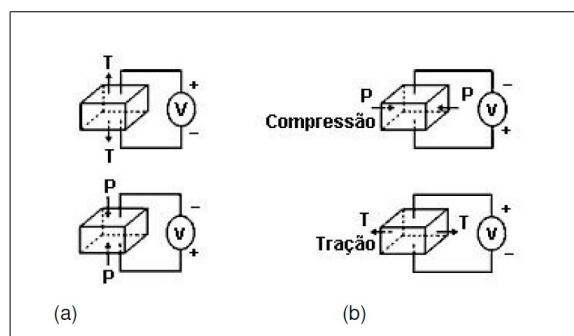


Figura 4 – Principais efeitos piezelétricos. Efeito longitudinal (a) e transversal (b). Cardoso (2006)

## REFERÊNCIAS

BELTRAN, P. R. D. **Microgerador piezelétrico transversal acoplado a uma palmilha**. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2016. Disponível em <http://dspace.unipampa.edu.br/handle/rii/1882>. Acesso em 24 abr. 2019.

BERMANN, C. **Energia no Brasil: para quê? Pra quem? Crise e alternativas para um país sustentável**. São Paulo. Editora Livraria da Física: FASE, 2001. Disponível em <https://books.google.com.br/books?isbn=8588325063>. Acesso em 24 abr. 2019.

CARDOSO, A. J. **Sistema para aproveitamento de energia vibracional baseado em transdutores acústico piezelétricos de baixo custo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2006. Disponível em <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/8599>. Acesso em 24 abr. 2019.

CHOI, Y.; RAYL, J.; TAMMINEEDI, C.; BROWNSON, J. **PV Analyst: Coupling ArcGIS with TRNSYS to assess distributed photovoltaic potential in urban areas**. Solar Energy. 2011; 85:2924–39. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X11003070>. Acesso em 14 mai. 2019.

FAWWAZ, T.U. **Eletromagnetismo para Engenheiros**. Bookman, 2007.

FERRER, W. M. H. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Orientações quanto à elaboração e apresentação gráfica do Projeto de Pesquisa e do Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Marília. Marília, 2010. Disponível em [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35174245/MANUAL\\_DE\\_METODOLOGIA\\_TCC\\_UNIMAR.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1556475227&Signature=56JE%2F%2FvyHVzQ%2FbpBzGEhvpI%2FNg%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DMANUAL\\_DE\\_METODOLOGIA.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35174245/MANUAL_DE_METODOLOGIA_TCC_UNIMAR.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1556475227&Signature=56JE%2F%2FvyHVzQ%2FbpBzGEhvpI%2FNg%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DMANUAL_DE_METODOLOGIA.pdf). Acesso em 24 abr. 2019.

GOMES, R.L.; CERQUEIRA, A.H.; STRENZEL, G.M.R.; PEREIRA, Y.C. **Mapeamento do**



**potencial solar para microgeração de energia elétrica: O caso da cidade de Ilhéus.** Sociedade & Natureza. 2019. Vol. 31. Disponível em <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/42302>. Acesso em 14 mai. 2019

HANKEL, W. G. Über die aktinound piezoelektrischen eigenschaften des bergkrystalles und ihre beziehung zu den thermoelektrischen. Leipzig Abhandlungen 12, p. 459–547, 1881.

ITABORAY, L.M.; DE OLIVEIRA SANTOS, A.P.; DOS SANTOS, M.A.P.; DE MELO, J.M.; DOS SANTOS, M.C.C.; CABRAL, R.F. **Avaliação das propriedades físicas de cerâmicas piezoelétricas tipos PZT I e III utilizadas em transdutores eletroacústicos.** Cadernos UniFOA (Centro Universitário de Volta Redonda). Edição Especial do Curso de Mestrado Profissional em Materiais. Dezembro/2014. Disponível em <http://revistas.unifoa.edu.br/index.php/cadernos/article/view/1175>. Acesso em: 19 abr. 2019.

JÚNIOR, C.C.P. **Projeto e Otimização de filtros modais usando redes de sensores piezelétricos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18149/tde-20102009-101624/en.php>. Acesso em: 24 abr. 2019.

KLEIN, C. DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais.** 23ª Edição. Porto Alegre: Editora Bookman. 2012. Disponível em <https://books.google.com.br/books?isbn=8540700859>. Acesso em: 15 abr. 2019.

LIPPMAN, G. **Principe de la conservation de l'électricité, ou second principe de la théorie des phènomènes électriques.** J. Phys. Theor. Appl., v. 10, p. 381–394, 1881.

MORAES, Rafael de Matos. **Desenvolvimento de sistema para coleta de energia vibracional utilizando dispositivos piezoelétricos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2018. Disponível em <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/333053>. Acesso em: 16 abr. 2019.

SHERMAN, C.H.; BUTLER, J.L. **Transducer and arrays for underwater sound.** New York: Springer, 2016. Disponível em <https://books.google.com.br/books?isbn=3319390449>.

Acesso em: 19 abr. 2019.

TORRES, Regina Célia. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/en.php>. Acesso em 14 mai. 2019.

UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. New York: AMGH Editora, 2014. 7ª Edição. Disponível em <https://books.google.com.br/books?isbn=8580553741>. Acesso em: 24 abr. 2019.