

Piezoelétrico como fonte alternativa de energia para Cidades Inteligentes: uma pesquisa exploratória

Piezoelectric as an alternative source of energy for Smart Cities: an exploratory research

RESUMO

O debate sobre meio ambiente, novas tecnologias e desenvolvimento sustentável, expõem o quão necessário é a busca por soluções inteligentes para problemas da sociedade. A energia elétrica se apresenta como um dos maiores custos para uma cidade, além de ser fundamental no uso de dispositivos eletro/eletrônicos. Nesse cenário, pode-se empregar o piezoelétrico como alternativa para geração de energia e criação de sistemas autoalimentados em rodovias, calçadas, parques e demais espaços públicos, viabilizando a implementação das diretrizes de uma cidade inteligente.

PALAVRAS-CHAVE: Piezoelétrico. Cidades Inteligentes. Geração de Energia. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The debate about the environment, new technologies and sustainable development exposes how necessary is the search for smart solutions to society's issues. Electricity presents as one of the biggest costs for a city, besides being fundamental in the use of electronic devices. In this scenario, can be use piezoelectric as an alternative for power generation and self-powered system in roadways, sidewalks, parks and other public spaces, enabling the implementation of smart city policies.

KEYWORDS: Piezoelectric. Smart Cities. Energy Generation. Sustainability.

Isaque Daniel Chaves

isaque@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Regina Negri Pagani

reginapagani@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



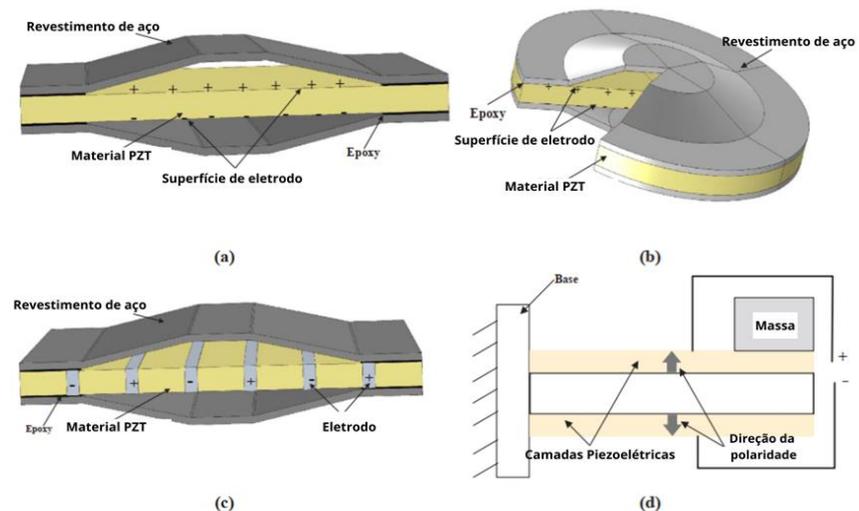
INTRODUÇÃO

O planejamento na construção de cidades não é algo novo. Há centenas de anos já se tem registros de cidades construídas de modo a propiciar o conforto e mobilidade da população. À medida que o tempo passa e a tecnologia avança, novos pontos passam a ser levados em consideração nesse planejamento. Assim, passou-se a dar mais ênfase ao conceito de *Smart City* que surgiu em meados de 1991 e pode ser definido como uma localização geográfica gerenciada por pessoas de forma centralizada, abastecida com recursos naturais e tecnológicos de modo a proporcionar qualidade de vida aos seus moradores e reduzindo gradativamente os impactos negativos aos arredores, garantindo a eficiência e sustentabilidade (PAGANI et al., 2019).

Uma cidade inteligente carece que os recursos sejam alocados de forma otimizada, seja em questão de espaço público, mobilidade urbana, serviços públicos e geração de energia. É nesse quadro que se encaixa o piezoelétrico, Anton e Sodano (2007) relatam que o instrumento que até então tinha seu uso limitado à sensores, microfones e semicondutores, passou a receber mais atenção no início dos anos 2000, quando começaram a realizar mais estudos para converter a energia de vibrações em energia elétrica. Zhu et al. (2017) contam que a partir de 2007 o piezoelétrico ganhou mais força com os estudos de Zhong Lin Wang.

Segundo Wang, Jasin e Chen (2018) um piezoelétrico é um material que é capaz de converter a tensão mecânica aplicado sobre ele em energia elétrica. Os piezoelétricos podem ter diferentes arranjos, formas e até serem feitos de materiais diferentes, dependendo de sua finalidade e também podendo apresentar diferentes níveis de geração de energia (ANTON; SODANO, 2007). Eles podem se apresentar em forma de cerâmica como o Titanato Zirconato de Chumbo (PZT), de polímeros como o fluoreto de polivinilideno (PVDF) ou até mesmo como compósitos que seriam mais complexos (WANG; JASIN; CHEN, 2018). A Figura 1 mostra alguns exemplos de piezoelétricos.

Figura 1 – Modelos de piezoelétricos



Fonte: (WANG, JASIM e CHEN, 2018, Adaptado).

A Figura 1 mostra os modelos mais comum de piezoelétricos utilizados, retangulares, em forma de prato e haste flexível.

METODOLOGIA

Existem diversas metodologias de revisão sistemática de literatura. Desde a década de 1970, autores vem publicando suas metodologias, cada um atendendo a determinadas demandas (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2017). O presente trabalho foi feito seguindo a *Methodi Ordinatio*, uma metodologia multicritério para escolha dos artigos a serem utilizados na pesquisa, que tem por finalidade auxiliar na qualificação de artigos acadêmicos, essa metodologia leva em conta três fatores: ano de publicação, fator de impacto e número de citações. A pesquisa foi feita com base nas quatro etapas seguintes:

- a) Definiu-se o tema e palavras-chave. Os operadores booleanos utilizados e a quantidade de resultados obtidos com cada combinação estão especificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Combinações de Palavras-chave

Combinações	Resultados
"piezoelectric*" AND "smart cities"	113
"piezoelectric*" AND "park*"	88
"piezoelectric*" AND sustainability	254
"piezoelectric*" AND "solar energy"	308
"piezoelectric*" AND "green energy"	112

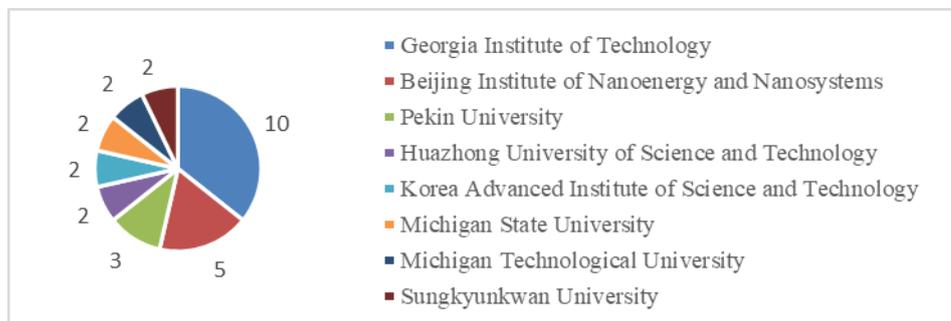
Fonte: Autoria Própria (2020).

- b) Realizou-se a coleta de artigos nas bases de dados, a filtragem e foi aplicada a equação *In Ordinatio* para ordenação dos trabalhos por relevância científica. O portfólio dos artigos está no Apêndice 1.
- c) Realizou-se a análise bibliométrica dos artigos do portfólio e a análise de conteúdo.
- d) Elaborou-se os gráficos e os resultados foram discutidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira informação importante retirada do conteúdo dos artigos é sobre as instituições presentes nesses estudos. As instituições que estiveram presentes em pelo menos 2 artigos dentre os 50 primeiros do *ranking* adotado pelo atual estudo são mostradas na Figura 2.

Figura 2 – Publicações por instituições

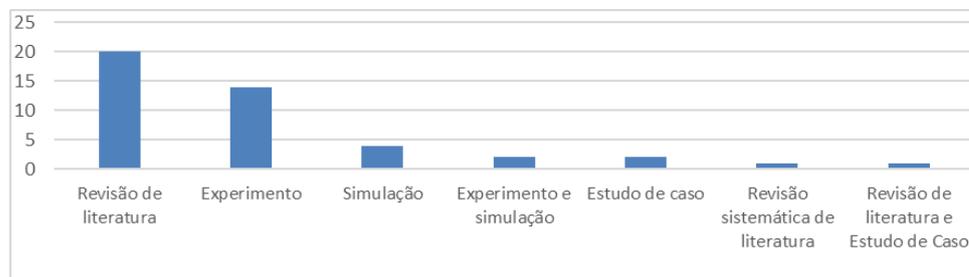


Fonte: Autoria própria (2020).

O Instituto de Tecnologia da Georgia lidera entre as instituições com publicações acerca de piezoelétricos, estando presente em 10 dos 50 artigos levados em consideração. As demais instituições, que não tiveram recorrência em mais de um artigo, somam juntas 22 publicações.

Outro aspecto importante retirado dos artigos é a metodologia empregada, se são revisões de literatura (simples ou sistemática), experimentos, simulações, estudos de casos ou combinações entre esses métodos. Essa informação é melhor ilustrada através da Figura 3.

Figura 3 – Metodologias

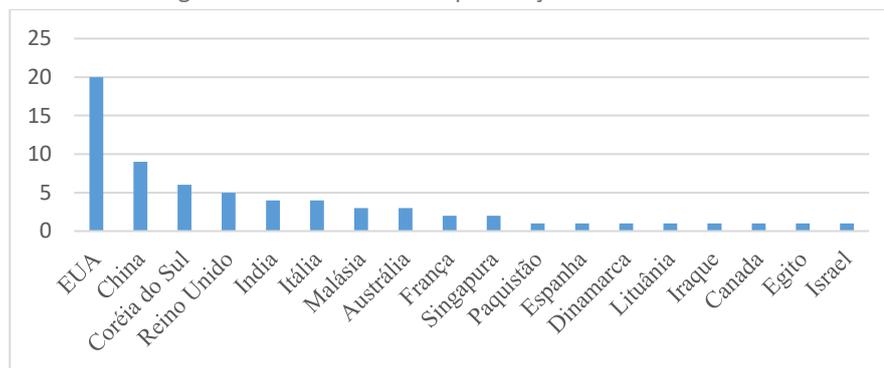


Fonte: Autoria própria (2020).

A Figura 3 mostra que a maioria dos artigos são revisões de literatura simples, e apenas uma revisão sistemática de literatura. Experimentos também estão muito presentes, em duas ocasiões ainda vem acompanhado de simulação, as vezes ocorrendo ambos no mesmo artigo. Isso se deve principalmente pelo fato de que a maioria dos pesquisadores são das áreas das engenharias e ciência dos materiais, nas quais estes tópicos são bastante abordados.

A Figura 4 traz outra informação relevante, quais os países que mais estiveram presente nas publicações utilizadas no estudo.

Figura 4 – Países com mais publicações sobre o tema



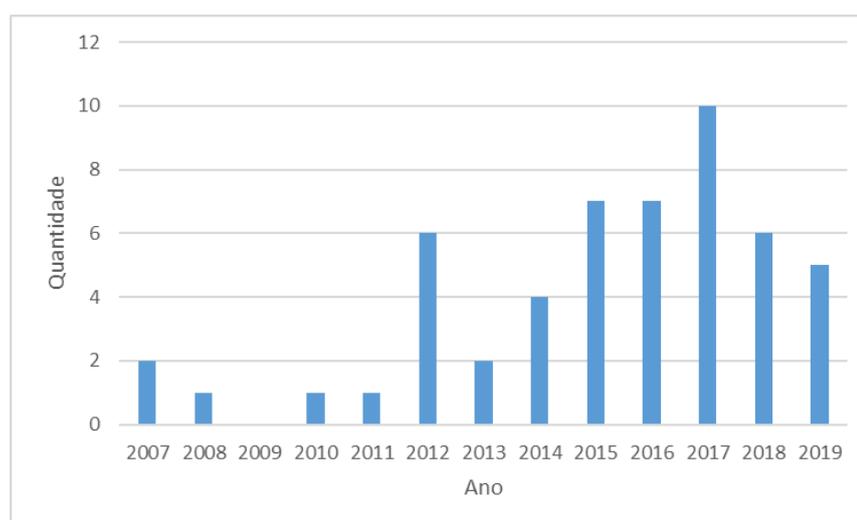
Fonte: Autoria própria (2020).

As maiores e mais significativas publicações ocorrem nos Estados Unidos da América, seguido por China e Coreia do Sul, essa informação é comprovada através da Figura 2, que mostra as instituições com maior recorrência nos artigos e são localizadas nesses mesmos países, alguns trabalhos chegam a mostrar casos e aplicações reais na Coreia do Sul, por exemplo.

Na primeira década do século XXI, as publicações eram mais voltadas à coleta de energia com os materiais piezoelétricos, à medida que os anos vão passando, começa-se a surgir temas envolvendo métodos de coleta de energia utilizando nanotecnologia e métodos híbridos.

A pesquisa com relação a piezoelétricos teve crescimento exponencial nos últimos 20 anos. A Figura 5 mostra a quantidade de publicações por ano, feito com base nos 50 artigos presentes no portfólio mostrado no Apêndice 1

Figura 5 – Publicações por ano



Fonte: Autoria própria (2020).

É possível notar o aumento significativo na quantidade de publicações na segunda década do século XXI, mostrando como essa área ganhou relevância.

A relação direta entre materiais piezoelétricos e cidades inteligentes, proposta pelos próprios autores, é vista em apenas alguns artigos. Mas entendendo a

definição de *smart city* e suas diretrizes e comparando-as com a proposta e utilização dos materiais piezoelétricos, a relação entre estes dois temas se torna clara. Mesmo que a maioria dos autores não cite especificamente o uso de piezoelétricos em cidades inteligentes, o Quadro 1 exemplifica essa correlação.

Quadro 1 – Correlação entre diretrizes de cidades inteligentes com piezoelétricos

Diretrizes de uma Cidade Inteligente	Aplicação do Piezoelétrico
Sustentabilidade	Não é combustível fóssil (LEE et al, 2016); Energia Limpa (ORREGO et al, 2017); Reaproveitamento de energia (AHMED et al, 2019);
Conforto à população	Redução ou não utilização de baterias (LEE et al, 2016); Sensores de monitoramento (AHMAD et al, 2016);
Urbanismo	Redução de poluição visual e sonora (WANG, JASIN e CHEN, 2018); Otimização do uso de espaços públicos (SEOL et al, 2015);
Saúde	Maior integração e monitoramento (ALAVI et al, 2018); Próteses (HANNAN et al, 2014);
Fatores econômicos	Redução de custos de energia (FERREIRA, 2017); Otimização da captação de energia (AHMED et al, 2019).

Fonte: Autoria própria (2020).

É importante salientar que o piezoelétrico sozinho, como fonte de energia principal e independente, se mostra uma opção bastante onerosa em comparação com outros métodos, como por exemplo painéis fotovoltaicos, e a capacidade de produção de energia elétrica é menor (WANG, JASIM e CHEN, 2018). Este é um dos motivos pelo qual é comum vê-lo combinado à um painel fotovoltaico flexível, ou outros sistemas. A principal vantagem do uso dos materiais piezoelétricos está na possibilidade de fácil combinação com outros meios de captação e geração, tornando o sistema híbrido e otimizando o aproveitamento da energia. Este procedimento reduz custos e também propicia uma menor demanda de uso de baterias, garantindo a sustentabilidade.

As maiores e mais significativas publicações ocorrem nos Estados Unidos da América, seguido por China e Coréia do Sul. Isso ocorre principalmente por causa das instituições vinculadas às obras que coincidem com estes países e também com a nacionalidade dos autores. Em termos continentais a maior parte das publicações ocorrem no continente asiático.

CONCLUSÃO

Quando se fala de energia limpa e sustentável logo se pensa em energia solar e eólica. Este trabalho mostra que existem mais formas de captação e geração de energia verde, além de expandir os horizontes do emprego dos materiais piezoelétricos.

Através da análise da revisão sistemática foi possível realizar a correlação do uso de materiais piezoelétricos com as definições e requisitos de uma cidade inteligente, mostrando que eles podem ser usados para propiciar tecnologias sem fio e sem bateria (autoalimentáveis), além de servir para incorporar tecnologias de captação de energia híbrida, combinados com métodos térmicos, eólicos ou fotovoltaicos, otimizando a coleta de energia. Por isso, estes materiais contribuem com o urbanismo, a sustentabilidade, o monitoramento em tempo real, em áreas da saúde, com o conforto da população, com a mobilidade urbana, e em inúmeras outras áreas que ajudam a tornar uma cidade mais inteligente.

Em vista do que foi apresentado, pode-se afirmar que os objetivos do presente trabalho foram atendidos e para trabalhos futuros sugere-se estudos de viabilidade econômica, comparando diferentes formas de energia limpa e análise de aspectos sociais envolvendo tecnologias empregadas em cidades inteligentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PROPPG por oportunizar a realização deste projeto de IC, à DIRPPG na pessoa da Prof^a. Yara Tadano da Silva, ao Prof. Fabio Puglieri pelo apoio aos projetos de IC do DAENP, bem como ao grupo de pesquisa Gestão da Transferência de Tecnologia, por orientar na consecução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Muhammad Waseem et al. Building energy metering and environmental monitoring—A state-of-the-art review and directions for future research. **Energy and Buildings**, v. 120, p. 85-102, 2016.

AHMED, Rahate et al. Development of a Tree-Shaped Hybrid Nanogenerator Using Flexible Sheets of Photovoltaic and Piezoelectric Films. **Energies**, v. 12, n. 2, p. 229, 2019.

ALAVI, Amir H. et al. Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. **Measurement**, v. 129, p. 589-606, 2018.

ANTON, Steven R.; SODANO, Henry A. A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003–2006). **Smart materials and Structures**, v. 16, n. 3, p. R1, 2007.

FERREIRA, Luiz Fernando Suzarte Silva. **Sistema de geração de energia via sensores piezoelétricos**. 2018. Disponível em:
<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/11425/1/21316943.pdf>.
Acesso em: Jul. 2020.

HANNAN, Mahammad A. et al. Energy harvesting for the implantable biomedical devices: issues and challenges. **Biomedical engineering online**, v. 13, n. 1, p. 79, 2014.

LEE, Ju-Hyuck et al. All-in-one energy harvesting and storage devices. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 4, n. 21, p. 7983-7999, 2016.

ORREGO, Santiago et al. Harvesting ambient wind energy with an inverted piezoelectric flag. **Applied energy**, v. 194, p. 212-222, 2017.

PAGANI, R. N.; SOARES, A. M.; da LUZ, A. A.; ZAMMAR, G.; KOVALESKI, J.L. On Smart Cities and Sustainable Development Goals. In: CONGRESSO LATINOIBEROAMERICANA DE GESTÃO DE TECNOLOGIA (ALTEC), 18., 2019, Medellín. **Anais ... Medellín**: 2019.

PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; DE RESENDE, Luis Mauricio Martins. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, v. 46, n. 2, 2017.

SEOL, Myeong-Lok et al. Vertically stacked thin triboelectric nanogenerator for wind energy harvesting. **Nano Energy**, v. 14, p. 201-208, 2015.

WANG, Hao; JASIM, Abbas; CHEN, Xiaodan. Energy harvesting technologies in roadway and bridge for different applications—A comprehensive review. **Applied energy**, v. 212, p. 1083-1094, 2018.

ZHU, Laipan et al. Piezo-Phototronic Effect Enhanced Flexible Solar Cells Based on n-ZnO/p-SnS Core-Shell Nanowire Array. **Advanced Science**, v. 4, n. 1, p. 1600185, 2017.