

ENERGIA LIMPA EM POTENCIAL: A PIEZOLETRICIDADE COMO UMA ALTERNATIVA PARA O BRASIL

POTENTIAL CLEAN ENERGY: PIEZOELECTRICITY AS AN ALTERNATIVE FOR BRAZIL

Kariany Leandro Cabral de Lima¹
Gustavo Augusto da Silva dos Santos²
João Paulo Bittencourt da Silveira Duarte³

RESUMO: A piezoeletricidade é uma forma de geração de energia que converte pressão mecânica em eletricidade, descoberta pelos irmãos Curie. Esse fenômeno ocorre em materiais específicos, como cerâmicas piezoelétricas (por exemplo, PZT), e são amplamente utilizados em diversas aplicações, como sensores, dispositivos médicos e eletrônicos. A piezoeletricidade pode ser explorada para gerar energia a partir de movimentos cotidianos, como o tráfego de pedestres e veículos, oferecendo soluções inovadoras e sustentáveis. No Brasil, projetos acadêmicos têm demonstrado o potencial da piezoeletricidade. Pesquisas na Unesp revelaram que compósitos piezoelétricos podem converter a força do tráfego em eletricidade. Estudos mostraram que pastilhas piezoelétricas em locais de alta circulação podem suprir demandas energéticas, e há viabilidade de gerar energia em pavimentos, sugerindo potenciais significativos em áreas urbanas. Essas iniciativas destacam a piezoeletricidade como uma alternativa promissora para a geração de energia no Brasil, contribuindo para a eficiência energética e a inovação em infraestrutura. Com investimentos em pesquisa e desenvolvimento, a piezoeletricidade pode se tornar uma fonte relevante e sustentável no cenário energético nacional.

4353

Palavras-chave: Piezoeletricidade. Energia renovável. Sustentabilidade. Eficiência energética.

ABSTRACT: Piezoelectricity is a form of energy generation that converts mechanical pressure into electricity, discovered by the Curie brothers. This phenomenon occurs in specific materials, such as piezoelectric ceramics (e.g. PZT), which are widely used in various applications, such as sensors, medical devices and electronics. Piezoelectricity can be exploited to generate energy from everyday movements, such as pedestrian and vehicle traffic, offering innovative and sustainable solutions. In Brazil, academic projects have demonstrated the potential of piezoelectricity. Research at Unesp has revealed that piezoelectric composites can convert the force of traffic into electricity. Studies have shown that piezoelectric pads in high-traffic areas can meet energy demands, and there is feasibility of generating energy on sidewalks, suggesting significant potential in urban areas. These initiatives highlight piezoelectricity as a promising alternative for energy generation in Brazil, contributing to energy efficiency and innovation in infrastructure. With investment in research and development, piezoelectricity could become a relevant and sustainable source of energy in Brazil.

Keywords: Piezoelectricity. Renewable energy. Sustainability. Energy efficiency.

¹Engenharia Elétrica. Universidade de Vassouras, Brasil.

²Engenharia Elétrica. Universidade de Vassouras, Brasil.

³Engenharia Elétrica. Universidade de Vassouras, Brasil.

I INTRODUÇÃO

O crescente avanço tecnológico torna a energia elétrica um fator central na sociedade atual. É por meio dela que as principais atividades são realizadas e se constroi a ideia de desenvolvimento. Contudo, a base dessa matriz energética

constituída, em sua maioria, por fontes não limpas, não sustentáveis ou que causam grande impacto ambiental, com degradação e escassez de recursos. É assim com as usinas termoelétricas, que queimam combustíveis fósseis e emitem grandes quantidades de gases de efeito estufa (REZENDE, 2020).

Diante dos desafios globais relacionados ao uso de energia e às mudanças climáticas, a pesquisa por novas fontes energéticas se torna cada vez mais urgente. No Brasil, por exemplo, a matriz energética depende em grande parte das usinas hidrelétricas, que estão sujeitas a variações climáticas, como a escassez de água. Durante os períodos de seca, o país enfrenta desafios significativos no abastecimento energético, o que aumenta a importância de encontrar fontes alternativas que possam complementar as atuais. Além dos grandes impactos gerados por sua instalação, entre os quais destacam-se a decomposição de árvores e plantas submersas, que libera metano (CH₄), a destruição de sítios arqueológicos devido à inundação, a perda de fauna local e a necessidade de reassentamento de milhares de pessoas (CORDEIRO, 2016).

4354

Por ser um país com grande potencial para energias renováveis, como a solar, eólica e hidrelétrica, também se abre espaço para explorar tecnologias emergentes, como a piezoelectricidade. A piezoelectricidade surge como uma tecnologia capaz de diversificar a matriz energética e revolucionar a forma como entendemos e utilizamos a energia ao nosso redor. Esse fenômeno converte tensão mecânica ou pressão em eletricidade, permitindo que certos materiais gerem energia elétrica quando expostos a forças físicas, como compressão, flexão ou vibração (GAO et al., 2018).

A piezoelectricidade é uma maneira de gerar energia a partir da deformação de materiais específicos, que resulta em uma diferença de potencial elétrico. Quando esses materiais são deformados, eles geram uma carga elétrica que pode ser armazenada e utilizada posteriormente. Esse conceito é frequentemente aplicado em sensores de vibração e pressão, na geração de micro-ondas, em buzzers sonoros, entre outras aplicações. No entanto, seu uso como fonte de energia alternativa ainda é pouco explorado (SOUSA et al, 2018).

Nesse contexto, o presente artigo objetiva-se compreender o uso da piezoelectricidade como fonte de energia alternativa principalmente no Brasil, analisando estudos e experimentos voltados à avaliação do potencial energético e o potencial de aplicação do modelo no país.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia renovável

Caracteriza-se como energia renovável (ER) aquela cuja obtenção advém de fontes que se regeneram naturalmente ou consideradas inesgotáveis, gerenciadas pela intervenção humana para utilizações diversas. Surgem como uma alternativa na tentativa de minimizar os impactos causados ao meio ambiente e atualmente é apontada como tecnologia-chave na promoção de segurança energética e desenvolvimento econômico (FERREIRA et al., 2022).

As ERS podem ser derivadas do sol (térmica, foto-elétrica e fotoquímica), de outras matrizes (eólica, hídrica, biomassa) ou a partir de movimentações e mecanismos do ambiente (geotérmica e ondas e marés). No Brasil, as ERs seguem em ampliação, sendo a matriz energética hidrelétrica, com utilização de 62,72% hídrica, seguida de 16,81% fóssil, 8,96% eólica, 8,7% biomassa, 1,66% solar e 1,14% nuclear. Um dos principais desafios é o investimento, que poderia garantir mais incentivo à pesquisa e a um Sistema de Inovação em Energias Renováveis, por exemplo (FERREIRA et al., 2022).

4355

Observando-se os processos envolvidos na geração das ERS, verificam-se as células e os mecanismos capazes de produzir a energia elétrica, como células solares e moinhas de ventos. Da mesma forma, a energia cinética, presente em forma de vibrações, movimentos ou forças aleatórias, pode ser convertida em energia elétrica por meio de mecanismos eletromagnéticos, piezoelétricos ou eletrostáticos (DAMKE 2019).

Essas vibrações estão por toda parte: em eletrodomésticos, equipamentos industriais, estruturas de móveis, edifícios, pontes, entre outros. A quantidade de energia gerada nesse processo depende da quantidade de energia cinética disponível no ambiente e da eficiência com que o mecanismo consegue transformá-la em eletricidade.

2.2 Piezoelectricidade

A piezoelectricidade pode ser caracterizada como uma forma de geração de energia que se dá pela capacidade que alguns cristais possuem de gerar tensão elétrica em resposta à pressão mecânica. Essa propriedade vem sendo estudada há mais de um século, a partir da descoberta

dos irmãos Pierre e Jacques Currie que notaram que esses materiais, ao serem pressionados, produzem cargas elétricas e, quando submetidos a um campo elétrico, sofrem uma deformação mecânica (MOHEIMANI e FLEMING, 2006; CALLISTER, 2008). O termo piezoeletricidade, proposto por Hankel, deriva do grego "piezo", que significa apertar ou pressionar, e foi combinado com "eletricidade" para designar a geração de energia elétrica por compressão em determinados materiais (VIVES, 2008; REZENDE, 2020).

O efeito piezoeletrico pode ser observado de duas maneiras. Primeiro, o efeito piezoeletrico direto, que é a capacidade de certos materiais de converter a pressão ou tensão mecânica em carga elétrica. Em outras palavras, quando o material é pressionado, ele gera eletricidade. O segundo é o efeito inverso, onde o material, ao receber um potencial elétrico, se deforma mecanicamente. Assim, o efeito direto permite que o material funcione como um sensor, enquanto o efeito inverso o transforma em um atuador, capaz de realizar movimentos precisos em resposta a sinais elétricos (DAMKE, 2019).

Como um fenômeno complexo, a piezoeletricidade envolve conceitos de eletrônica e de várias áreas da física, como mecânica, elasticidade, resistência dos materiais, termodinâmica, acústica, propagação de ondas, óptica, entre outros. Materiais piezoeletricos são utilizados em dispositivos que convertem energia mecânica em elétrica ou vice-versa. Esse fenômeno pode ocorrer naturalmente considerando vários materiais monocristalinos, como o quartzo, a turmalina e o topázio. No entanto, esses materiais não são adequados para a fabricação de atuadores. Já os materiais cerâmicos artificiais policristalinos, como o titanato de zirconato de chumbo (PZT), podem ser fabricados para exibir propriedades piezoeletricas significativas, sendo fáceis de produzir e apresentando fortes domínios elétricos e mecânicos (REZENDE, 2020).

O comportamento mecânico e elétrico de um material piezoeletrico pode ser representado por duas equações constitutivas linearizadas. Essas equações envolvem duas variáveis mecânicas e duas elétricas (SODANO et al, 2004; DAMKE, 2019). Tanto o efeito direto quanto o efeito inverso do material podem ser descritos pelas seguintes equações:

$$\text{Efeito piezoeletrico direto: } \{D\} = [e]T \{S\} + [\alpha S] \{E\} \quad (1)$$

$$\text{Efeito piezoeletrico inverso: } \{T\} = [cE] \{S\} - [e] \{E\} \quad (2)$$

Com $\{D\}$ representando o valor de deslocamento elétrico; $\{T\}$ o estresse do vetor; $[e]$ a matriz de permitividade dielétrica; $[cE]$ a matriz de coeficientes elásticos a força elétrica constante; $\{S\}$ o vetor de deformação; $[\alpha S]$ a matriz dielétrica em constante tensão mecânica e $\{E\}$ o valor do campo elétrico (DAMKE, 2019).

De acordo com Damke (2019), o campo elétrico pode ser aplicado em qualquer superfície do material, gerando diferentes potenciais de tensão em cada caso. Por isso, as propriedades do material piezoelétrico precisam seguir uma convenção de sinais que permita a aplicação de potencial elétrico em três direções distintas.

Independentemente da escala de frequência ou potência, o componente central da maioria dos transdutores ultrassônicos é um material piezoelétrico. Esses materiais podem ser classificados em várias categorias, incluindo: Cristais de quartzo; Cristais hidrossolúveis; Monocristais piezoelétricos; Semicondutores piezoelétricos; Cerâmicas piezoelétricas; Polímeros piezoelétricos e Compósitos piezoelétricos. As cerâmicas piezoelétricas, após polarizadas, apresentam-se como os materiais de maior flexibilidade de formatos e melhores propriedades, sendo aplicadas em equipamentos industriais, como sistemas de limpeza ou até de soldas por ultrassom (ARMENDANI et al., 2017).

O emprego de materiais piezoelétricos iniciou-se com sonares, com objetivo de detectar objetos submersos. Atualmente, estes materiais são amplamente utilizados em áreas diversas áreas da sociedade, contribuindo para desenvolvimento de tecnologias e sendo objeto de pesquisa e aplicações para diferentes finalidades.

Pode-se observar componentes piezoelétricos em eletrônicos de consumo, presentes em dispositivos como isqueiros elétricos, relógios de quartzo, e alto-falantes piezoelétricos, que convertem sinais elétricos em som. Na medicina, a tecnologia piezoelétrica é essencial em dispositivos de ultrassom médico, aplicada com a finalidade de gerar ondas sonoras de alta frequência para exames de imagem e tratamentos terapêuticos.

No setor automotivo, encontram-se sensores piezoelétricos em sistemas de ignição, injeção de combustível e sensores de detonação, bem como em airbags, onde detectam colisões e acionam o sistema de segurança. Já no setor aeroespacial, atuadores piezoelétricos são utilizados para controle de vibrações, ajuste fino de componentes e sistemas de posicionamento precisos.

Podem também ser grandes aliados em questões de infraestrutura e engenharia civil, com sensores piezoelétricos que monitoram a integridade estrutural de pontes, edifícios e outras construções, detectando vibrações ou falhas em tempo real. Na indústria, Ferramentas de precisão, como micromanipuladores e sistemas de controle de vibrações, utilizam materiais piezoelétricos para operar com alta precisão em processos industriais.

Outro registro de uso se dá nos itens de esportes e lazer, como raquetes de tênis e outros equipamentos esportivos que, por meio de materiais piezoelétricos, têm vibrações reduzidas e podem melhorar o desempenho de quem os utiliza. Esses versáteis materiais também desempenham um importante papel no avanço da nanotecnologia.

Além disso, os materiais piezoelétricos têm sido explorados como objeto de estudos pela sua capacidade de geração de energia. Pisos e pavimentos piezoelétricos podem converter a energia mecânica gerada pelo movimento de pessoas ou veículos em energia elétrica, sendo uma solução inovadora para a geração de energia sustentável em espaços urbanos.

Em sua obra, Damke (2019) aponta o crescimento dos estudos visando desenvolver os circuitos e sistemas focados na geração de energia elétrica a partir de pressão e vibrações do ambiente, já que os materiais têm a capacidade de que sejam gerados sinais elétricos a partir de qualquer pressão.

Os movimentos mecânicos também são explorados, já que a capacidade de conversão recíproca inerente é uma das vantagens, ocorrendo quando os materiais piezoelétricos transformam esses movimentos diretamente em energia elétrica, sem precisar adição de entrada externa. (DAMKE, 2019).

3 CAMINHOS PARA UTILIZAÇÃO DA PIEZOELETRICIDADE COMO FONTE DE ENERGIA ALTERNATIVA NO BRASIL

4358

O Brasil, com suas dimensões continentais e demanda crescente por energia, busca soluções diversificadas para geração energética. A utilização da piezoeletricidade no Brasil tem ganhado destaque em diversas áreas, com foco em soluções inovadoras para geração de energia e desenvolvimento de dispositivos mecatrônicos. A pesquisa acadêmica no país tem explorado o potencial desse fenômeno, especialmente em aplicações que visam a sustentabilidade e eficiência energética.

Na Universidade Estadual Paulista – Unesp, foi realizado um importante projeto envolvendo piezoeletricidade, cuja capacidade de geração de energia só foi verificada em laboratório. Malmonge e demais pesquisadores (2018) desenvolveram um material mais flexível e econômico, capaz de converter a força mecânica, gerada pelo tráfego de veículos em uma rua, em eletricidade. Esse material é um composto de polímero e cerâmica, feito com polímeros e titanato zirconato de chumbo (PZT), moldado em placas de 2 por 1 cm. A matriz polimérica

misturada com a cerâmica aumentou a resistência ao choque mecânico, flexibilidade e capacidade de deformação do material, permitindo que ele seja moldado em diferentes formas.

Um exemplo significativo é o trabalho de Antunes et al. (2014), que estudou a aplicação de pastilhas piezoelétricas na entrada de um restaurante universitário em um campus brasileiro. O estudo demonstrou que a energia gerada a partir da pressão exercida pelos pedestres foi suficiente para alimentar a demanda energética dos banheiros do local, evidenciando o potencial da piezoelectricidade em contextos de alta circulação de pessoas.

Mota et al. (2021), por meio de simulações e testes laboratoriais, avaliaram a eficácia de transdutores piezoelétricos em pavimentos, focando na resposta elétrica a diferentes frequências e cargas. As simulações realizadas com o software COMSOL Multiphysics e os ensaios na Universal Test Machine (UTM-25) demonstraram que é possível gerar até 648,8 mW de potência em condições ideais, sugerindo que a piezoelectricidade pode ser uma solução promissora para a captação de energia em rodovias com baixa irregularidade e tráfego intenso.

Ribeiro e Ferreira (2021) esboçaram um projeto de implementação de pisos piezoelétricos no terminal da cidade de Rio Branco – AC, verificando sua viabilidade econômica e financeira. De acordo com os autores, há a viabilidade técnica, com a capacidade de geração de mais de 10 W de energia por cada pessoa que passasse pelo local, com a instalação de 1328 placas com sensores piezoelétricos. Além disso, foi destacado que o local se tornaria mais dinâmico, atrativo e sustentável.

4359

No mesmo sentido, Mota et al. (2022) verificaram o potencial e a viabilidade da energia piezoelétrica como alternativa de energia limpa em projetos autossustentáveis de pavimentos. Duas áreas do pátio do Colégio Militar de Fortaleza - CE foram sugeridas, a partir da identificação do maior fluxo de pessoas. Após a preparação da manta asfáltica, do revestimento e ensaio de abrasão, foram introduzidas as células piezoelétricas para cada unidade de lâmpada de led. O estudo concluiu que há viabilidade do projeto, com ganhos econômicos e energéticos para a unidade de ensino, sobretudo se aliado ao uso de energia solar. Identificou ainda o potencial de uma via autossustentável para tráfego de veículos, a construção das chamadas Smart Roads.

Pinto (2020) demonstrou o potencial da utilização em meio urbano da energia piezoelétrica, com a simulação de implantação de dispositivos piezoelétricos em um cruzamento em três cidades distintas do Brasil. Foi utilizado um modelo desenvolvido por Yesner (2017) e adaptado pelo pesquisador, encontrando uma densidade de energia de 3,87

Wh/m² para a passagem de 500 veículos. O estudo identificou que a energia gerada, dependendo do ponto, poderia carregar completamente a bateria de 148 a 1279 de smartphones, por exemplo, demonstrando o potencial de pavimentos com sistemas piezoelétricos.

Além disso, a dissertação de Damke (2019) analisou a eficiência de um polímero piezoelétrico, o fluoreto de polivinilideno (PVDF), instalado em uma plataforma exposta a diferentes velocidades de vento. Este estudo destacou a viabilidade da piezoeletricidade para a geração de energia em condições específicas, contribuindo para o desenvolvimento de novos dispositivos energéticos no Brasil.

Outro estudo relevante é o de Rangel (2014), que desenvolveu e caracterizou um gerador piezoelétrico com células tubulares de PZT (titânato zirconato de chumbo), mostrando como a compressão cíclica pode ser utilizada para geração de energia elétrica em pequena escala. Esse tipo de pesquisa abre caminhos para a aplicação da piezoeletricidade em sensores e dispositivos portáteis.

Para a utilização da piezoeletricidade há aspectos que devem ser considerados. Um deles é o armazenamento de energia. A utilização em larga escala demanda que seja pensado um sistema de armazenamento de energia. Essa questão é compreendida como uma dificuldade atual, já que os equipamentos do tamanho necessário para tal armazenamento, os supercapacitores, representam um alto custo e ocupam demasiado espaço (MOTA et al, 2022).

4360

Também aponta como um desafio a utilização dos supercapacitores que são caros e espaçosos, mas também cita a durabilidade das placas utilizadas como um ponto de atenção. Elas devem ter alta capacidade de se deformarem e voltarem às suas qualidades e formatos originais, quando retiradas da deformação. A maleabilidade do material pode ir se perdendo conforme o uso, sobretudo se for de maneira intensa (CORDEIRO, 2016).

Mota (2021) destaca que, em questões de investimentos, a utilização da energia piezoelétrica se mostra mais onerosa, quando comparada à construção e manutenção de parques eólicos e painéis fotovoltaicos, podendo demorar cerca de 40 anos para que se tenha o retorno do valor inicialmente empregado. Mas, ainda assim, destaca que a alta eficiência energética da aplicação e o potencial de redução de custos dos materiais a partir de investimentos, mostrando-se como uma “alternativa viável para complementar a matriz elétrica brasileira, permitindo chegar energia a qualquer lugar do território brasileiro” (MOTA, 2021, p.119).

4 CONCLUSÃO

A piezoelectricidade se destaca como uma promissora fonte de energia renovável, capaz de transformar pressão mecânica em eletricidade de maneira sustentável. Com o crescente interesse em soluções energéticas inovadoras, especialmente em ambientes urbanos, essa tecnologia pode contribuir significativamente para a eficiência energética e a redução dos impactos ambientais.

Projetos acadêmicos e pesquisas no Brasil já demonstraram a viabilidade da piezoelectricidade em aplicações práticas, desde pavimentos até dispositivos mecatrônicos. No entanto, para que seu potencial seja plenamente realizado, é essencial aumentar os investimentos em pesquisa e desenvolvimento, promovendo a integração da piezoelectricidade na matriz energética nacional. Assim, ela pode se tornar uma alternativa viável e eficaz para atender à crescente demanda por energia, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade e inovação tecnológica.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, E. de G.; SOUSA, M. N. de; SCHERTEL, M. N. da C. Piso que transforma energia mecânica em eletricidade. Projeto em Energia III. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2014.

4361

ARMENDANI, Willian Alves; et. al. Conhecendo a Piezoelectricidade, uma nova forma de geração de energia elétrica. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 1. Vol. 9. pp 314-320. , outubro / novembro de 2016. ISSN: 2448-0959

CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia dos Materiais uma Introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008

CORDEIRO, A. J. R. Utilização de materiais piezoelétricos na geração de energia elétrica em rodovias. Monografia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Ciência e Tecnologia. Pau dos Ferros, 2016.

DAMKE, L. R. Análise da eficiência energética do material polímero piezoelétrico: um novo conceito de energia renovável. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Universidade Federal Fronteira Sul, Cerro Largo, 2019.

FERREIRA, L. F.; SANTANA, J. R. de; RAPINI, M. S.; MOURA, F. R. de. Financiamento à pesquisa em energia renovável no Brasil: uma análise a partir do Fundo Setorial de Energia. Nova Economia, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 505-537, 2022. Disponível em: <https://revistas.face.ufmg.br/index.php/novaeconomia/article/view/6984>. Acesso em: 21 ago. 2024.

FONSECA, R., FLEXA RIBEIRO HORTA, D. ., VIEIRA DA SILVA GOMES, C. E. ., FERNANDES DE MENEZES, S. A. ., & ALMEIDA MACHADO, L. F. (2020). A utilização do Piezoeletricidade na odontologia: Revisão de literatura. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, 2(10), 34-42. <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2020v2n10p34-42>

GAO, W.; HUO, L.; LI, H.; SONG, G. Smart concrete slabs with embedded tubular PZT transducers for damage detection. *Smart Materials And Structures*, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 2-12, 5 jan. 2018.

MALMONGE, J. A. et al. Piezo and dielectric properties of PHB-PZT composite. *PolymerComposites*, [s. l.], v. 30, n.9, p. 1.333-1337, 2009. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1002/pc.20719>. Acesso em: 21 ago. 2024.

MOHEIMANI, S. O. Reza; FLEMING, Andrew J.. *Piezoelectric Transducers for Vibration Control and Damping*. London: Springer, 2006.

MOTA, B. C., ALBUQUERQUE NETO, B., ALMEIDA, S. G. F. de, MARANHÃO, T. F., REIS, F. das C. S., & BARROSO, S. H. de A. 2022. Um estudo preliminar da piezoeletricidade como fonte renovável de energia aplicada aos pavimentos do Colégio Militar de Fortaleza. *Revista Tecnologia*, 42(1), 12.

MOTA, B. C.; BARROSO, S. H. A.; NETO, B. A.. Análise da piezoeletricidade como sistema de captação de energia no pavimento rodoviário. In: 35º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. 2021, virtual.

MOTA, B.C. Captação e geração de energia no pavimento rodoviário com a aplicação de células piezoelétricas. Dissertação. 131 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2021.

4362

PINTO, P. C. Simulação da implantação de dispositivo de energia piezoelétrica em pavimento de cruzamentos urbanos. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental*, 24, e39. 2022.

RANGEL, R.F. Caracterização de uma célula tubular piezoelétrica para geração de energia elétrica. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

REZENDE, L.M. de. Geração de energia através da piezoeletricidade. Monografia. Curso de Engenharia Mecânica. Varginha, 2020.

RIBEIRO, C. de F.; FERREIRA, F.R. Viabilidade técnica de 1328 de placas piezoelétricas no terminal urbano de Rio Branco – AC.

SODANO, H. A.; INMAN, D. J.; PARK, G. A review of power harvesting from vibration using piezoelectric materials. *Shock and Vibration Digest*, v. 36, n. 3, p. 197-206, 2004.

SOUSA, L. M. de; CLEMENTE, R. De S.; MELLO, S. F.; COSTA, J. M. A. Geração de energia através da piezoeletricidade. 3º Congresso Internacional de Pesquisa, Ensino e Extensão. Ciência para redução de desigualdades. UniEvangélica. 2018

VIVES, A. A. Piezoelectric Transducers and Applications. 2. ed. Valencia: Springer, 2008