

**ETEC EURO ALBINO DE SOUZA  
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL DE  
TÉCNICO EM ELETRÔNICA**

**ALINE MARTINS BREVILATI  
RANIÉLLEN VITÓRIA DOS SANTOS DA FONSECA  
AMANDA VITÓRIA DOS SANTOS**

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM PISOS  
PIEZOELÉTRICOS  
ATRAVÉS DOS PASSOS**

**ETEC EURO ALBINO DE SOUZA  
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL DE TÉCNICO  
EM ELETRÔNICA**

**ALINE MARTINS BREVILATI  
RANIÉLLEN VITÓRIA DOS SANTOS DA FONSECA  
AMANDA VITÓRIA DOS SANTOS**

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM PISOS  
PIEZOELÉTRICOS  
ATRAVÉS DOS PASSOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Etec Euro Albino de Souza, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, submetida à banca examinadora do curso Ensino Médio com Habilitação Profissional, como requisito para obtenção do diploma de Técnico em Eletrônica.

**Orientador:** Prof. Ms. Diogo Pedriali.

Mogi Guaçu – SP

2025

### **Ficha elaborada pelo Bibliotecário da Instituição.**

B846g

Brevilati, Aline Martins; Santos, Amanda Vitória dos; Fonseca, Raniéllen Vitória dos Santos da.

Geração de Energia Elétrica com Pisos Piezoelétricos Através dos Passos – Mogi Guaçu – SP. 2025.

63 p.

Trabalho de Conclusão do Curso de Ensino Técnico Integrado ao Médio com Habilitação Profissional em Eletrônica da ETEC Euro Albino de Souza de Mogi Guaçu.

Orientador: Professor Mestre Diogo Pedriali.

1. Sustentabilidade. 2. Acesso. 3. Conversão. I. Pedriali, Diogo (orientador)

II. Título.

CDD 343.092 9

**ETEC EURO ALBINO DE SOUZA  
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL DE TÉCNICO  
EM ELETRÔNICA**

**ALINE MARTINS BREVILATI  
RANIÉLLEN VITÓRIA DOS SANTOS DA FONSECA  
AMANDA VITÓRIA DOS SANTOS**

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM PISOS  
PIEZOELÉTRICOS  
ATRAVÉS DOS PASSOS**

Monografia aprovada por banca examinadora em 18 de novembro de 2025.

**Banca Examinadora:**

Prof. Diogo Pedriali – (Orientador)

Prof. Luis Carlos Pompeu

Prof. José Carlos Monfredini

Mogi Guaçu – SP

2025

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos esta monografia a Deus, que deu força para encarar o imenso desafio que é o trabalho de conclusão de curso. Em cada noite de estudo, guiando em meio à complexidade dos artigos e teorias. E se milagres existem, com certeza se manifestam também na forma de prazos adiados.

Dedicamos este trabalho ao professor Diogo, cuja orientação foi fundamental para a realização deste TCC. Agradece-lhe pela paciência, pelos ensinamentos e pela dedicação ao longo de cada etapa do processo. Seu comprometimento e apoio foram essenciais para que este projeto se tornasse realidade. Aos amigos, colegas e familiares, pelo incentivo e pelo apoio constante.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, por lhes dar força, sabedoria e saúde para seguir em frente mesmo nos momentos mais difíceis. Aos familiares, pelo amor incondicional, paciência, incentivo e por sempre acreditarem em seus potenciais.

A todos os professores do curso e aos colegas da ETEC Euro Albino de Souza, que contribuíram de forma direta ou indireta para sua formação e crescimento acadêmico.

Agradecemos, especialmente, ao orientador, professor Diogo Pedriali pela dedicação, pelas valiosas orientações, pela paciência e por compartilhar seus conhecimentos ao longo deste processo.

Aos nossos amigos, pelo companheirismo, apoio emocional e pelas palavras de encorajamento nos momentos em que mais precisaram.

À ETEC Euro Albino de Souza por proporcionar uma base sólida de conhecimento, estrutura de qualidade e ambiente propício ao desenvolvimento acadêmico e pessoal. E a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa jornada, seus sinceros agradecimentos.

“Qualquer tecnologia suficientemente avançada é indistinguível de magia.”

Arthur C. Clarke, 1962.

## RESUMO

Este projeto tem como objetivo principal desenvolver uma solução sustentável e de baixo custo para a geração de energia elétrica a partir de materiais piezoelétricos, utilizando a energia mecânica dos passos humanos para convertê-la em eletricidade. A proposta se mostra especialmente viável para locais com grande circulação de pessoas, como shoppings, mercados, escolas e estações de metrô, onde o movimento constante pode ser aproveitado como fonte energética. A ideia se baseia em tecnologias já utilizadas em países como o Japão, embora com métodos distintos, e busca adaptar essa inovação à realidade brasileira de forma acessível. A monografia aborda o funcionamento dos dispositivos piezoelétricos, explicando os princípios físicos por trás da piezo eletricidade, bem como os materiais que compõem esses dispositivos, suas propriedades e as diferentes formas de aplicação. Além disso, destaca os benefícios ambientais da tecnologia, uma vez que se trata de uma fonte limpa e renovável de energia, com potencial para reduzir a dependência de fontes não renováveis e contribuir para a sustentabilidade urbana. A metodologia empregada baseou-se em pesquisas bibliográficas e revisão de artigos científicos, complementadas por testes práticos com discos piezoelétricos de 20 mm e 35 mm. Durante os experimentos, foram analisadas diferentes configurações de ligação como em série, paralela e mista para avaliar qual delas proporciona maior eficiência na captação e conversão da energia mecânica em elétrica. Os resultados demonstraram que, mesmo com materiais simples, é possível obter geração significativa de energia, o que reforça a viabilidade da proposta em contextos reais. Concluindo então que o uso de pisos piezoelétricos representa uma alternativa promissora para a geração de energia em áreas urbanas, promovendo inovação tecnológica, consciência ambiental e avanços do campo das energias renováveis.

**Palavras-chave:** Piezo eletricidade. Sustentabilidade. Energia renovável. Geração de energia. Piso piezoelétrico.

## ABSTRACT

The main objective of this project is to develop a sustainable, low-cost solution for generating electricity from piezoelectric materials, using the mechanical energy of human footsteps to convert it into electricity. The proposal proves particularly viable for places with high foot traffic, such as shopping malls, markets, schools, and stations, where constant movement can be harnessed as an energy source. The idea is based on technologies already used in countries like Japan, albeit with different methods, and seeks to adapt this innovation to the Brazilian reality in an accessible way. The monograph addresses the functioning of piezoelectric devices, explaining the physical principles behind piezoelectricity, as well as the materials that comprise these devices, their properties, and the different forms of application. Furthermore, it highlights the environmental benefits of the technology, as it is a clean, renewable source of energy, with the potential to reduce dependence on non-renewable sources and contribute to urban sustainability. The methodology used was based on bibliographic research and review of scientific articles, complemented by practical tests with 20 mm and 35 mm piezoelectric discs. During the experiments, different connection configurations, such as series, parallel, and mixed, were analyzed to determine which provides the greatest efficiency in capturing and converting mechanical energy into electrical energy. The results demonstrated that, even with simple materials, it is possible to achieve significant energy generation, reinforcing the viability of the proposal in real-world contexts. The conclusion is that the use of piezoelectric flooring represents a promising alternative for energy generation in urban areas, promoting technological innovation, environmental awareness, and advances in the field of renewable energy.

**Keywords:** Piezoelectricity. Sustainability. Renewable energy. Power generation. Piezoelectric flooring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma .....	29
Figura 2 - Cristais piezoelétricos .....	32
Figura 3 - Como é o Piezoelétrico .....	33
Figura 4 - comparação das propriedades dos materiais piezoelétricos.....	36
Figura 5 - Visualização das propriedades dos materiais piezoelétricos .....	37
Figura 6 - Capacitor.....	38
Figura 7 - Botão.....	39
Figura 8 - Placa eletrônica.....	41
Figura 9 - Ligação dos Piezoelétricos e dimensionamento .....	48
Figura 10 - Dimensionamento do Piezoelétrico e do piso .....	49
Figura 11 - Maquete .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>IoT</b>	Internet das coisas ( <i>internet of things</i> )
<b>ZnS</b>	Sulfeto de zinco
<b>PZT</b>	Titanato Zirconato de Chumbo
<b>NaClO<sub>3</sub></b>	Clorato de sódio
<b>BaTiO<sub>3</sub></b>	Titanato de Bário
<b>PbTiO<sub>3</sub></b>	Titanato de Chumbo
<b>PbZrO<sub>3</sub></b>	irconato de Chumbo
<b>PVDF</b>	Polivinilideno Luoreto
<b>ODS</b>	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
<b>ONU</b>	Organização das Nações unidas
<b>IEEE</b>	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	17
1.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2.1	ANÁLISE FINANCEIRA.....	19
1.2.2	ANÁLISE SOCIAL.....	20
1.2.3	ANÁLISE AMBIENTAL.....	21
1.2.4	ANÁLISE DE SEGURANÇA.....	22
1.3	RELEVÂNCIA.....	24
1.4	ACESSIBILIDADE.....	25
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>26</b>
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO.....	26
2.1.1	METODOLOGIA CIENTÍFICA.....	27
2.2	FUNDAMENTOS DO EFEITO PIEZOELÉTRICO.....	30
2.3	HISTÓRICO DE PESQUISA EM EFEITO PIEZOELÉTRICO.....	30
2.4	MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS.....	31
2.4.1	CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS.....	34
2.4.2	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS PIEZOELÉTRICO.....	41
2.5	ANÁLISE DE DADOS.....	43
2.6	DESAFIOS E LIMITAÇÕES.....	44
2.7	RECURSOS NECESSÁRIOS.....	45
2.8	CRONOGRAMAS.....	46
2.9	DESENHOS E DETALHAMENTOS.....	47
2.10	CUSTOS.....	48
2.11	CONSTRUÇÕES DO PROTÓTIPO.....	49

2.12	PROTÓCOLOS E TESTES .....	50
2.12.1	EXECUÇÕES DOS TESTES .....	51
2.12.2	COLETAS DE DADOS DOS TESTES .....	52
2.12.3	ANÁLISES DOS DADOS DOS TESTES .....	53
2.13	MELHORIAS .....	53
2.14	ASPECTOS POSITIVOS .....	54
2.15	RISCOS .....	55
2.16	DIFERENCIAIS .....	56
2.17	RECOMENDAÇÕES .....	57
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>59</b>
3.1	TRABALHOS FUTUROS .....	60
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O projeto com seu tema principal tem como a geração de energia elétrica a partir da conversão de energia mecânica, utilizando materiais piezoelétricos como o principal elemento desse processo. A proposta entra no contexto de procurar soluções inovadoras energéticas e sustentáveis, diante dos desafios do crescimento populacional, do grande uso da eletricidade e dos impactos ambientais causados pelas fontes convencionais de energia.

A piezoelectricidade é um fenômeno físico no qual em determinados materiais que geram energia elétrica quando submetidos a deformações mecânicas ou por vibrações. Por conta disso, o projeto foi intitulado “Geração de energia elétrica com pisos piezoelétricos através dos passos” que tem como proposta a captação de energia gerada pelo impacto dos passos em locais com uma grande circulação de pessoas. Com base nessa ideia, a solução busca aproveitar os movimentos do cotidiano como o deslocamento das pessoas ao trabalho, lojas, supermercados, escolas entre outros lugares, transformando esta energia mecânica em energia elétrica, podendo ser utilizada de forma eficiente e sustentável. As aplicações com um grande potencial para essa tecnologia incluem ambientes como shoppings, supermercados, estações de metrô, aeroportos e outros espaços públicos com alto fluxo de pessoas. (REZENDE, 2020)

Este projeto foi desenvolvido com o objetivo de aumentar a utilização de fontes de energias sustentáveis, priorizando soluções que não causem danos ou impactos negativos ao meio ambiente e que contribuam diretamente para a preservação dos recursos naturais. Com este motivo, surge a necessidade de buscar meios inovadores e eficientes para substituir o grande uso energético. Atualmente por conta dessa crescente utilização da energia elétrica, tem se tornado um dos maiores desafios enfrentados pela sociedade moderna, principalmente em locais urbanos com alta população. A forma energética ainda é, em grande parte, baseada em fontes não renováveis, como o petróleo, carvão e o gás natural, além de serem energias que causam sérios impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa, poluição atmosférica, aquecimento global e degradação dos ecossistemas. Causando o aumento da crise climática, gerando sobrecarga nas redes de distribuição de energia

e contribuindo ainda mais para o esgotamento dos recursos naturais da Terra. (CHAVES, 2021)

A falta de tecnologias capazes de aproveitar esse tipo de energia desperdiçada mostra a necessidade de soluções inovadoras que transformem movimentos, pressões e vibrações do ambiente urbano em energia elétrica. Portanto o problema está diretamente relacionado à dependência de fontes energéticas poluentes, a falta de alternativas que valorizem a energia cinética gerada no cotidiano, e a urgência de fazer tecnologias que ajudem a sustentabilidade, eficiência e a aplicação prática em espaços urbanos.

O projeto tem seu foco principal atender à necessidade das cidades inteligentes, que se destacam por possuir um alto nível de desenvolvimento urbano, tecnológico e populacional. Essas cidades apresentam não apenas uma alta concentração de habitantes, mas também uma grande circulação de pessoas nos espaços públicos, comerciais e de transportes coletivos.

O público-alvo faz parte de toda população que frequenta ambientes urbanos de grande movimento, incluindo indivíduos de diferentes faixas etárias, pessoas com algum tipo de deficiência, sejam elas físicas, auditivas, visuais e múltiplas. A proposta foi idealizada para ser completamente acessível, melhorando não só a geração de energia limpa, mas também a inclusão social mostrando que seu uso não depende de habilidades específicas e pode ser usado por qualquer pessoa, independentemente de suas condições físicas ou sensoriais.

O piso piezoelétrico desenvolvido no projeto foi pensado para se adaptar de forma eficiente às necessidades dos espaços urbanos podendo ser instalado em diversos lugares como shoppings centers, mercados, estações de metrô, terminais de ônibus, aeroportos, calçadas, praças públicas, universidades, centros esportivos e outros ambientes de grande circulação de pedestres como já dito. (REZENDE, 2020). Além disso, seu design e funcionamento foram pensados e projetados de maneira que possibilita atualizações e aprimoramentos, de acordo com as inovações tecnológicas que venham a surgir, garantindo, assim sua longevidade e performance operacional. Portanto, a proposta não se limita apenas a fornecer uma solução energética inovadora, mas também promove uma transformação no modo como os espaços urbanos podem ser utilizados de forma mais inteligente, gerando impactos positivos tanto para o meio ambiente quanto para qualidade de vida da população,

dentro de uma visão de desenvolvimento sustentável, acessível e tecnologicamente avançado.

O conceito de aproveitamento da energia cinética presente em locais de grande circulação se mostra promissor, uma vez que, segundo (MOTA *et al.*, 2022), a piezoelectricidade permite transformar deformações mecânicas, pressões e vibrações em energia elétrica de forma limpa, sem emissão de poluentes e sem a degradação do meio ambiente. Esse tipo de tecnologia, segundo os autores, se alinha diretamente aos princípios das cidades inteligentes, que priorizam soluções sustentáveis e tecnológicas para atender as demandas energéticas crescentes. Conforme destacado por (CHAVES, 2021) a utilização de pisos piezoelétricos não se limita apenas à geração de energia, mas também abre caminhos para o desenvolvimento de outros dispositivos e aplicações, como sensores, sistemas de monitoramento estrutural e soluções para a Internet das Coisas (IoT). A expectativa é que futuramente, essa mesma ideia possa ser expandida para outros tipos de equipamentos e estruturas urbanas, contribuindo significativamente para a redução de dependência de fontes de energia não renováveis, como os combustíveis fósseis.

Esta monografia encontra-se organizada em três capítulos principais, estruturados de forma lógica e sequencial, na intenção de proporcionar uma melhor compreensão sobre o desenvolvimento do projeto.

O primeiro capítulo aborda a introdução, onde são apresentados o contexto geral do projeto, o objetivo geral e os objetivos específicos. Nesse capítulo também são detalhadas a justificativa, considerando análise financeira, social, ambiental e de segurança, bem como a relevância da proposta e a preocupação com a acessibilidade.

O segundo capítulo corresponde ao desenvolvimento, que contempla todo o embasamento teórico e prático do trabalho. Nele são discutidos o referencial teórico, os fundamentos do piezoelétrico, seu histórico de pesquisa, os materiais piezoelétricos e suas respectivas classificações e propriedades. Este capítulo também aborda a análise de dados, os desenhos técnicos, custos estimados, bem como a construção do protótipo e os protocolos de testes. Por fim, são exploradas as melhorias propostas, os aspectos positivos identificados, os riscos associados, os diferenciais do projeto e algumas recomendações para futuras aplicações.

O terceiro e último capítulo contempla as considerações finais, nas quais são simplificadas as conclusões sobre o desenvolvimento do projeto, bem como as perspectivas para trabalhos futuros que possam aprimorar ou expandir a aplicação da tecnologia proposta.

## **1.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como seu principal objetivo projetar, desenvolver e avaliar a junção de um sistema de piso piezoelétrico equipado com pastilhas piezoelétricas, capaz de realizar a conversão da energia mecânica após captar a pressão, vibração e impacto gerado pelo deslocamento das pessoas, em energia elétrica limpa, sustentável e renovável.

### **1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Analisar os princípios teóricos e físicos da piezoelectricidade, compreendendo como a deformação mecânica de determinados materiais pode gerar energia elétrica, identificar as propriedades dos materiais piezoelétricos mais adequados para aplicação do desenvolvimento do piso gerador de energia.

Estudar e selecionar os materiais piezoelétricos mais eficientes e duráveis, considerando suas propriedades elétricas, mecânicas e estruturais, de modo que garanta o funcionamento ideal na conversão de energia mecânica em energia elétrica no espaço urbano.

Desenvolver um protótipo funcional de piso piezoelétrico, dimensionando corretamente a quantidade, a distribuição e a configuração das pastilhas piezoelétricas, bem como dos controladores de carga, sistemas de armazenamento que são as baterias e circuitos de controle de energia.

Realizar testes experimentais para avaliar a eficiência energética do piso piezoelétrico, simulando diferentes cenários de fluxo de pessoas, cargas de impacto e frequência de uso, a fim de obter dados precisos e a geração de energia a sua

viabilidade prática.

Avaliar os impactos ambientais, sociais e econômicos da implementação do sistema piezoelétricos em ambientes urbanos, observando sua contribuição para redução da emissão de gases poluentes, a diminuição da dependência de fontes não renováveis e os benefícios para a comunidade, incluindo acessibilidade e segurança.

Identificar os desafios técnicos e operacionais ligados à aplicação em larga escala, propondo melhorias, adaptações e possíveis soluções que possam ser aplicadas em futuras versões do projeto ou em outros tipos de dispositivos baseados na tecnologia piezoelétrica.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho demonstra a importância quanto à proposta de inovação tecnológica relacionada à geração elétrica, utilizando pisos piezoelétricos representa uma alternativa promissora à dependência das fontes não renováveis, que além de limitadas, são responsáveis por significativos impactos ambientais e sociais.

A inovação tecnológica aplicada à infraestrutura urbana tem papel fundamental na superação dos desafios do século XXI, como reforça Sachs (2007), ao afirmar que: “O desenvolvimento sustentável exige a integração entre o progresso técnico e o bem-estar social, o que pressupõe a reformulação dos sistemas de produção e consumo” (SACHS, 2009)

A proposta desse projeto atende principalmente a questão de sustentabilidade, ao incluir baixo custo, tecnologia limpa e acessibilidade. O trabalho se demonstra relevante diante dos crescentes desafios enfrentados pelas sociedades modernas em campos da sustentabilidade energética. Segundo (CHAVES *et al.*, 2022a)

“Os sistemas piezoelétricos são alternativas inovadoras que podem contribuir para a transição energética em direção a fontes mais sustentáveis, especialmente em áreas urbanas de alta circulação” (CHAVES *et al.*, 2022a)

Diante disso, a importância do tema está relacionada em desenvolver novos meios de geração energética que estejam alinhadas com as exigências ecológicas em

prol do meio ambiente e a promoção de cidades inteligentes. O projeto também se demonstra relevante em outras áreas, percebe-se tal entendimento:

“Tecnologias sustentáveis em ambientes públicos servem como ferramentas pedagógicas e podem provocar uma mudança cultural em direção ao consumo mais consciente” (MOTA; BARROSO, 2021)

Com base na explicação, o ponto de vista educacional ganha destaque também dentro do projeto, promovendo a conscientização da população em um todo, alertando sobre o uso racional da energia.

### **1.2.1 ANÁLISE FINANCEIRA**

Para se avaliar os efeitos e avanços da tecnologia, é extremamente necessário a análise social em meio a implementação dos pisos piezoelétricos. Ao analisar os custos reais envolvidos na construção do piso piezoelétrico desenvolvido neste projeto, observa-se que a proposta apresenta uma alternativa significativamente mais acessível quando comparada às tecnologias já implementadas em países como o Japão. No caso brasileiro, o protótipo de piso com dimensões aproximadas de 30 cm x 30 cm utiliza pastilhas piezoelétricas cerâmicas e materiais de baixo custo, resultando em um investimento médio de R\$ 200,00 por módulo, considerando discos piezoelétricos, fiação, placa de controle, materiais estruturais e componentes de proteção.

A partir desse valor, estima-se que sua comercialização poderia alcançar pelo menos 100% de ganho sobre o custo, chegando a um preço final de R\$ 400,00 por unidade, mantendo ainda um valor competitivo no mercado de tecnologias sustentáveis. Esse retorno é viabilizado justamente pela simplicidade do design, pela acessibilidade dos materiais e pela facilidade de montagem, que reduz despesas com mão de obra e manutenção. Assim, o piso piezoelétrico proposto não apenas se apresenta como economicamente viável, mas também como uma opção comercial atraente para futuras aplicações em ambientes públicos e privados.

Ao observar modelos internacionais, especialmente os pisos instalados no Japão, como os utilizados em estações de metrô e eventos de grande circulação,

nota-se que essas tecnologias possuem custos muito mais elevados. Estima-se que pisos de alta eficiência utilizados no país asiático podem ultrapassar valores equivalentes a R\$ 1.000,00 a R\$ 2.000,00 por módulo, devido ao uso de materiais compósitos avançados, estruturas reforçadas e sistemas de monitoramento integrados. Apesar do desempenho superior, tais soluções se tornam inacessíveis para implantação em larga escala no contexto econômico brasileiro.

Dessa forma, a comparação evidencia que, embora o piso japonês apresente maior capacidade de captação energética, o modelo desenvolvido neste projeto se destaca por sua acessibilidade financeira, facilidade de produção e adaptação à realidade urbana brasileira. Além de manter custos reduzidos, o piso proposto preserva a funcionalidade essencial de gerar energia limpa a partir do fluxo de pessoas, oferecendo uma alternativa sustentável, eficiente e economicamente adequada para ambientes públicos nacionais. Esses benefícios justificam plenamente a adoção do sistema, reforçando sua viabilidade prática e financeira.

## 1.2.2 ANÁLISE SOCIAL

Para se avaliar os efeitos e avanços da tecnologia, é extremamente necessário a análise social em meio a implementação dos pisos piezoelétricos. Conforme destaca o pensamento do ilustre (CHAVES *et al.*, 2022a)

“A tecnologia piezoelétrica, quando aplicada em ambientes urbanos, pode transformar o comportamento social ao incentivar a participação coletiva na produção de energia, reforçando práticas sustentáveis e ecológicas” (CHAVES *et al.*, 2022a).

Com base a tal entendimento, o autor reforça a dimensão e importância cidadã no projeto, portanto cada indivíduo que pisar sobre os pisos inteligentes, contribuem para a geração de energia, promovendo a interação com o espaço urbano.

Partindo dessa premissa, em vista do sociológico pode-se destacar uma certa legitimidade quanto a inovação tecnológica. Bauman (2001) observa que a modernidade líquida impõe um desafio constante às sociedades, adaptar-se rapidamente às mudanças tecnológicas sem perder de vista o bem-estar coletivo. O objetivo da proposta dos pisos piezoelétricos se alinha ao contemporâneo, pois se

une com a tecnologia, sustentabilidade e funcionalidade social ao mesmo tempo em que promove uma cultura de engajamento ecológico.

Além disso, é necessário salientar que a utilização de tal tecnologia em determinados locais, como shoppings, estações de metrô, calçadas, escolas e metrô tem um grande potencial de ampliar a educação ambiental por meio dessa determinada prática. Como enfatiza (MOTA; BARROSO, 2021)

“A geração de energia por meio de pisos inteligentes pode servir como instrumento educativo e de conscientização sobre a importância da sustentabilidade energética.” (MOTA; BARROSO, 2021)

Portanto, a análise social não se justifica apenas em seu caráter inovador, mas por sua importância no impacto nas construções de cidades com fins mais inteligentes, inclusivas e conscientes. O projeto em questão, mostra-se alinhado com os princípios de desenvolvimento sustentável, pela Agenda 2030 da ONU, em especial os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 (energia acessível e limpa), 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e 13 (ação contra a mudança global do clima).

### **1.2.3 ANÁLISE AMBIENTAL**

A análise ambiental do uso de pisos piezoelétricos como fonte alternativa de geração de energia elétrica revela um conjunto expressivo de benefícios ecológicos e oportunidades de sustentabilidade urbana. Esses dispositivos são capazes de converter energia mecânica gerada por vibrações ou pressão — como os passos de pedestres — em energia elétrica utilizável. Esse tipo de inovação se insere no escopo das chamadas tecnologias limpas, cuja adoção busca reduzir os impactos ambientais das fontes energéticas tradicionais.

Diferentemente das fontes não renováveis, como combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), os pisos piezoelétricos não emitem gases de efeito estufa durante o processo de geração de energia. Além disso, não demandam grandes estruturas físicas, não interferem na paisagem urbana de forma significativa e podem ser implementados em áreas já urbanizadas, promovendo a integração entre eficiência energética e mobilidade urbana.

O uso dessa tecnologia contribui ainda para a transição energética das cidades rumo à sustentabilidade. Ao aproveitar o fluxo natural de pessoas em locais como estações de metrô, shoppings, aeroportos e calçadas movimentadas, é possível reduzir a dependência da matriz energética convencional, abrindo espaço para sistemas descentralizados de microgeração. Com isso, a energia pode ser direcionada para abastecer iluminação pública, painéis informativos, sensores ou sistemas de segurança, diminuindo o consumo da rede elétrica e promovendo maior autonomia energética.

Contudo, é importante considerar os impactos ambientais indiretos associados à fabricação e ao descarte dos materiais piezoelétricos. Muitos desses dispositivos utilizam compostos como o titanato de chumbo-zircônio (PZT), que contêm elementos tóxicos ao meio ambiente. Portanto, é essencial garantir políticas de logística reversa e reciclagem, bem como desenvolver alternativas com menor toxicidade e maior durabilidade.

Outro fator ambiental relevante é a vida útil dos sistemas. Como esses dispositivos estão expostos a desgaste mecânico e variações climáticas, sua resistência deve ser adequada para evitar substituições frequentes, o que geraria aumento na geração de resíduos. A escolha de materiais de revestimento, como a borracha vulcanizada, e a proteção contra umidade e temperatura são medidas que ajudam a prolongar a funcionalidade do sistema, como primeiro protótipo.

Os pisos piezoelétricos apresentam um excelente potencial ambiental por transformarem movimentos cotidianos em energia limpa, silenciosa e renovável. Desde que acompanhados de boas práticas de projeto, uso consciente de materiais e estratégias de manutenção, representam uma solução viável e ecologicamente vantajosa para as cidades do futuro.

#### **1.2.4 ANÁLISE DE SEGURANÇA**

A segurança na implementação de pisos piezoelétricos envolve múltiplos aspectos, desde a integridade física dos usuários até a estabilidade elétrica e estrutural dos dispositivos. Tais cuidados são fundamentais para garantir o funcionamento eficiente e seguro do sistema, especialmente em ambientes de

grande circulação pública.

No que se refere à segurança elétrica, é essencial que os circuitos piezoelétricos estejam completamente isolados. Como esses sistemas geram tensão a partir da pressão aplicada, qualquer falha de isolamento pode representar risco de choques elétricos aos usuários. Para prevenir esse tipo de ocorrência, recomenda-se o encapsulamento dos circuitos em materiais isolantes e a instalação de dispositivos de proteção, como disjuntores e fusíveis, além de conformidade com as normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para instalações elétricas de baixa tensão.

A segurança estrutural também deve ser considerada com rigor. Os pisos precisam ser projetados para suportar cargas repetitivas e variadas, como o peso de pedestres e, eventualmente, de equipamentos ou cadeiras de rodas. Os materiais de cobertura, como a borracha vulcanizada, devem garantir resistência ao desgaste mecânico e à abrasão, além de proporcionar aderência suficiente para evitar escorregamentos, mesmo em condições de umidade.

Outro ponto crítico é a resistência ambiental dos componentes. Os discos piezoelétricos e os demais elementos eletrônicos devem ser protegidos contra a ação da água, poeira, variações extremas de temperatura e vibrações excessivas. Para isso, recomenda-se o uso de camadas selantes, invólucros impermeáveis e sistemas de drenagem eficientes. Em locais abertos, a exposição direta à chuva e à radiação solar pode comprometer a vida útil dos dispositivos, tornando a vedação e a ventilação elementos cruciais do projeto.

A manutenção preventiva também é parte fundamental da análise de segurança. O desgaste natural dos componentes, somado ao risco de falhas elétricas ou mecânicas, exige inspeções periódicas, substituição de peças danificadas e testes de funcionalidade. Esses procedimentos devem ser documentados e seguir protocolos definidos para garantir a longevidade do sistema e a segurança contínua dos usuários.

Além dos aspectos técnicos, a sinalização adequada das áreas com pisos piezoelétricos pode contribuir para a conscientização e o uso correto por parte dos pedestres. Informações visíveis e de fácil compreensão sobre o funcionamento da

tecnologia ajudam a evitar uso inadequado e promovem o engajamento do público com a inovação.

Portanto, a análise de segurança dos pisos piezoelétricos deve contemplar medidas preventivas, corretivas e informativas, assegurando que a tecnologia funcione de maneira segura, eficiente e em conformidade com os padrões de qualidade exigidos para espaços públicos e privados.

### **1.3 RELEVÂNCIA**

A busca por soluções sustentáveis e tecnologicamente viáveis para a geração de energia tem se intensificado nas últimas décadas, impulsionada pelos efeitos das mudanças climáticas e pela crescente demanda energética urbana. Nesse contexto, os pisos piezoelétricos representam uma alternativa inovadora, com grande potencial de aplicação em ambientes urbanos de alta circulação. Sua relevância está diretamente ligada à capacidade de transformar energia mecânica, gerada por simples passos, em energia elétrica utilizável, sem poluição, ruído ou interferência no ambiente.

Trata-se de uma solução compatível com os princípios das cidades inteligentes, que integram tecnologia e sustentabilidade para melhorar a qualidade de vida da população. Os pisos piezoelétricos, ao gerarem energia de forma distribuída, contribuem para a descentralização da matriz energética, reduzindo a sobrecarga das redes convencionais e proporcionando maior autonomia local. Essa energia pode ser utilizada para alimentar iluminação pública, sistemas de segurança, painéis informativos, sensores de tráfego, entre outros dispositivos urbanos.

A tecnologia também tem um importante papel educativo e simbólico, pois permite à população visualizar diretamente a relação entre seus movimentos e a produção de energia. Essa interação promove a conscientização ambiental e incentiva comportamentos mais sustentáveis. Além disso, o projeto contribui para a pesquisa científica e tecnológica, estimulando o desenvolvimento de novos materiais, metodologias e formas de aproveitamento energético em pequena escala. Portanto, a relevância dos pisos piezoelétricos não reside apenas na inovação técnica, mas

também em seu impacto ambiental, social e educacional, inserindo-se como uma alternativa promissora no cenário da energia renovável.

## **1.4 ACESSIBILIDADE**

Esse piso vai além da simples adaptação, pois representa a integração efetiva para todas as pessoas no desenvolvimento urbano, ao incluir tecnologias como o piso, tornando possível que as com diferentes condições físicas, incluindo aquelas com deficiência, possam contribuir para a geração de energia de forma natural e cotidiana.

Um dos exemplos é uma pessoa que precisa utilizar cadeira de rodas para se locomover sobre o piso, como os pedestres, possam produzir eletricidade limpa. Reforçando a inclusão social junto com as inovações e tecnologia. Além disso, essa tecnologia pode ser colocada em locais públicos e privados, para garantir o acesso para todos. Com o piso será capaz de guardar energia elétrica tanto para a cidade tanto para as empresas se caso desejem instalar.

Com isso será possível que toda a pessoa, independentemente de sua mobilidade, possa contribuir para a geração de energia elétrica para a cidade e se caso algumas empresas optem por aderir dentro delas para que mais gente tenha acesso ao piso, além de ter uma energia reservada para elas.

Além disso, esse tipo de piso poderá ser utilizado como recurso educativo e social, incentivando a consciência ambiental desde cedo. Crianças, jovens, adultos e idosos, ao utilizarem o piso, estarão contribuindo ativamente para a geração de energia limpa. Com isso, democratiza-se o acesso à tecnologia, integrando diferentes públicos na luta contra a poluição e o uso excessivo de fontes não renováveis.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Para esse projeto, foi necessário seguir um planejamento detalhado e estruturado, a fim de garantir que os resultados obtidos fossem alinhados com os objetivos propostos. O grupo dividiu as tarefas de forma colaborativa, priorizando o trabalho em equipe. A pesquisa inicial exigiu bastante dedicação, já que foram avaliadas diversas possibilidades de construção do circuito. Algumas soluções tiveram que ser adaptadas durante os testes práticos, o que é natural em um projeto experimental.

Através da análise e da pesquisa, foi possível trazer esse projeto, logo depois com a ajuda de todos foi possível verificar, montar e testar o projeto, com muita dedicação em pesquisar foi visto diversas maneiras de montar o circuito, mas com os testes foram vistos que seriam necessárias umas modificações para chegar no resultado desejado.

Em vários momentos, foi necessário refazer montagens, analisar resultados inesperados e buscar novas alternativas. A seguir, detalharemos cada etapa do processo, incluindo a fundamentação teórica, metodologia utilizada, testes realizados, análise dos dados e construção do protótipo.

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Os piezoelétricos utilizam a força mecânica para poder transformar em energia elétrica, pois quando fazemos pressão ou vibração nas patilhas piezoelétricas reagem e geram energia elétrica, então se tiver alguma deformação a patilha vai ter energia elétrica para ser utilizada isso ocorrem através da estrutura central, que vai gerar carga elétrica. (CHAVES *et al.*, 2022a)

Os materiais que são utilizados para fazer o piezoelétrico são o quartzo, a turmalina e o topázio esses são matérias naturais, mas também existem materiais artificiais. (REZENDE, 2020) Os piezoelétricos são capazes de transformar as forças mecânicas e converter para energia elétrica sustentável, com essa fonte de energia vai ter uma redução de poluição no meio ambiente ficando mais sustentável.

A aplicação desses pisos pode ser em shoppings, mercado, metrô, aeroportos

etc. Já em algumas cidades com Tóquio e Londres, umas das utilizações é para fazer com que tenha iluminação, além desses lugares pode ser aplicado em lombadas para que quando os carros passem por ela poderão gerar energia para os postes de luz. (CHAVES *et al.*, 2022a)

Os piezoelétricos têm uma limitação e alguns desafios para enfrentar como os armazenamentos de energia elétrica, nos testes foram utilizadas baterias recarregáveis e capacitores para ver qual seria a melhor escolha.

As vantagens da energia elétrica trazida através os piezoelétricos é que vai ser uma energia limpa e ser for aplicada nos lugares certos vai gerar bastante energia elétrica para a cidades, ele também é de baixo impacto ambiental comparando as fontes não renováveis ele também é alta densidade de potência, ele vai ter alta tensão se for montado em série, mas baixa tensão se for montado em paralelo. Já se for medir a corrente será alta em paralelo e baixa em série, por causa disso vamos utilizar a ligação em paralelo para ter tensão baixa e corrente alta além disso o custo vai ser baixo. Já as desvantagens é a perda de potência que pode impedir chegar até a máxima frequência e ele é sensível a umidade e temperatura e depois de um tempo ele vai ter um desgaste mecânico e por isso que vai precisar ter manutenção.

Os piezoelétricos foram descobertos pelos irmãos Currie, a primeira utilização foi por Paul Langevin para o desenvolvimento de sonares para a primeira guerra mundial (MACHADO *et al.*, [s. d.]), eles demonstram que a densidades das cargas geradas era proporcional a pressão feita nos piezoelétricos e sem a força não vai gerar a energia elétrica. Normalmente, os materiais piezoelétricos são pequenos e leves, sendo realizados testes para a geração de energia elétrica limpa (PIRES; OLIVEIRA; HAYAMA, 2024).

## 2.2 METODOLOGIA CIENTÍFICA

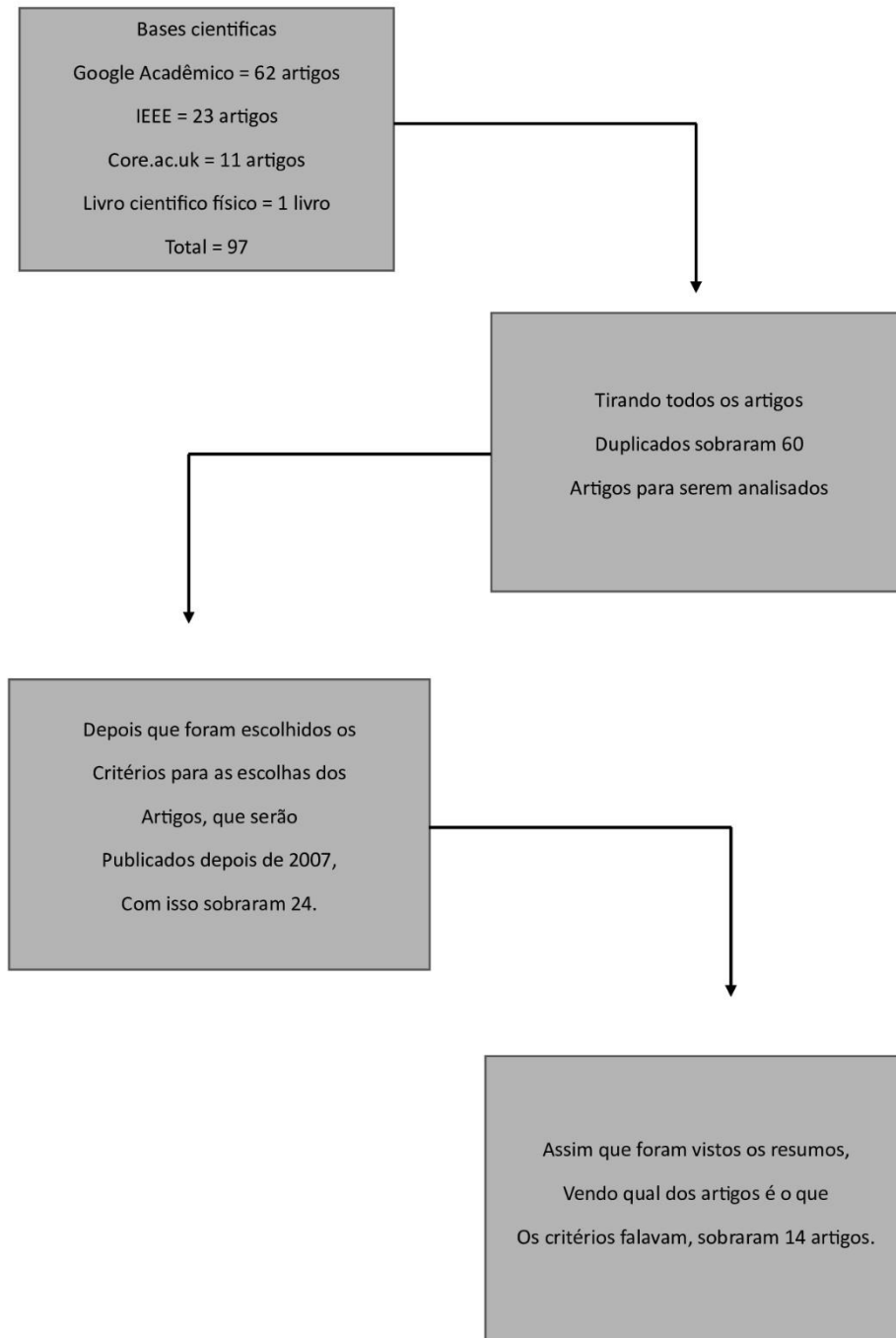
A metodologia utilizada primeiramente foi pesquisar em site como o Google acadêmico, core.ac.uk e IEEE, sobre os piezoelétricos e verificar se os títulos dos artigos com a ideia do projeto, no total foram selecionados 93 links, no google acadêmico foram encontrados um total de 31 artigos científicos em português e 29 artigos científicos no inglês, no core.ac.uk foram identificados 10 e no IEEE foram localizados 23. Depois que tiramos os duplicados sobraram 56, depois do critério de

ser postados após os anos 2007 sobraram 20, após isso lemos os resumos dos artigos e finalizamos com 10 artigos, com esses 10 artigos foram lidos e depois foi buscado mais informações sobre os piezoelétricos e os nos testes também foram fornecemos mais informações, que ajudaram a fazer esse projeto e a ajudam a revisão sistemática protocolo Prisma.

O piso feito nesse trabalho poderá ser aplicado nas cidades inteligentes, mas o desafio vai ser achar um jeito de conseguir guardar essa energia gerada e a fragilidade dos materiais piezoelétricos, pois se fizer uma distorção errada e que o piezoelétrico não aguarde vai acabar quebrando e não vai ter como reutilizar. Nos nossos testes vamos utilizar capacitores e/ou bateria recarregáveis para guardar a energia e depois liberar a energia guardada, pois ela está em uma escala menor, mas estamos em busca de achar alguma maneira de guardar essa energia se ela for usada em grande escala.

Para criar os testes, foram utilizados os piezoelétricos colocando em serie e foi medido logo depois foi colocado piezoelétrico em paralelo e foi medido assim que foram visto os resultados faltava mais um teste que é em ligação mista assim que o resultado saiu o grupo decidiu utilizar a ligação em paralelo, para esses testes utilizamos três piezoelétrico em série mais três em paralelo e mais nove de forma mista, no total utilizamos 15 piezoelétrico para teste, além desses testes também fizemos o teste de que ponto pode ser feito a distorção para não quebrar. Os piezoelétricos que foram utilizados para os testes foram de 20mm e de 35mm, os piezoelétricos de 20mm não gerou tanta energia por ser uma escala menor, já o de 35mm deu um pouco mais de energia, depois dos resultados visto decidimos utilizar os piezoelétricos de 35mm para poder ter mais energia elétrica.

Figura 1 - Fluxograma



Fonte: Autoria própria.

## 2.3 FUNDAMENTOS DO EFEITO PIEZOELÉTRICO

O efeito piezoelétrico é um fenômeno físico observado em certos materiais sólidos que possuem estrutura cristalina específica, sem centro de simetria. Quando esses materiais são submetidos a uma força mecânica, como pressão, impacto ou vibração, ocorre uma separação de cargas elétricas internas, gerando uma diferença de potencial elétrico nas superfícies. Esse efeito permite a conversão de energia mecânica em energia elétrica limpa. (REZENDE, 2020)

No projeto do piso piezoelétrico, essa tecnologia é aplicada para gerar a energia através dos passos das pessoas que caminham sobre ele. As pastilhas piezoelétricas inseridas sobre o piso se deformam com o peso do corpo humano e produzem uma tensão elétrica. Essa energia pode ser imediatamente usada, por exemplo, para acender LEDs, ou ser armazenada em baterias para uso posterior. (Mota *et al.*, 2022)

Uma grande vantagem do uso dos piezoelétricos é a sua independência de condições climáticas. Ao contrário da energia solar ou eólica, eles funcionam em ambientes internos e com movimento humano, tornando-se ideais para locais como escolas, shoppings, metrô e praças. Além disso, não produzem resíduos nem emitem gases poluentes, o que reforça seu caráter sustentável. (CHAVES, 2021)

## 2.4 HISTÓRICO DE PESQUISA EM EFEITO PIEZOELÉTRICO

O efeito piezoelétrico foi descoberto em 1880 pelos irmãos Pierre e Jacques Curie, durante estudos com cristais como o quartzo e a turmalina. Eles observaram que, ao serem submetidos a pressão mecânica, esses cristais geravam cargas elétricas em sua superfície. Essa descoberta marcou o início de uma nova área da física e abriu caminho para uma série de aplicações tecnológicas.

A primeira aplicação prática significativa da piezoeletricidade ocorreu durante a Primeira Guerra Mundial, quando Paul Langevin utilizou cristais piezoelétricos para desenvolver os primeiros sonares, destinados à detecção de submarinos. Desde

então, o uso de materiais piezoelétricos se expandiu para diversas áreas, como sensores de pressão, microfones, isqueiros, impressoras e equipamentos médicos, como ultrassons.

Com os avanços da ciência dos materiais, foram desenvolvidos compostos artificiais com propriedades piezoelétricas mais estáveis e eficientes, como o titanato de chumbo-zircônio (PZT), que se tornou um dos materiais mais utilizados em aplicações comerciais. Esses novos materiais possibilitaram a miniaturização dos dispositivos e o aumento da durabilidade, viabilizando o seu uso em ambientes mais diversos e complexos.

Nas últimas décadas, a pesquisa em piezoeletricidade passou a focar também em sua aplicação para geração de energia. O conceito de energia piezoelétrica ganhou força como parte das soluções para microgeração energética em ambientes urbanos e industriais. Cidades como Tóquio, Londres e Nova York já testaram pisos piezoelétricos em locais públicos, como estações de metrô, passagens de pedestres e arenas esportivas.

No Brasil, as pesquisas sobre pisos piezoelétricos ainda estão em estágio experimental, mas vêm crescendo em relevância no meio acadêmico e tecnológico. Universidades, institutos de pesquisa e feiras científicas têm explorado a viabilidade dessa tecnologia em diferentes contextos, contribuindo para a formação de conhecimento técnico e para a adaptação do sistema às condições brasileiras.

Esse histórico demonstra que a piezoeletricidade evoluiu de um fenômeno físico curioso para uma plataforma tecnológica promissora, com aplicações práticas e sustentáveis no mundo moderno.

## **2.5 MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS**

Os materiais piezoelétricos fazem parte da classe dos chamados materiais inteligentes, que tem a capacidade de responder a estímulos externos, alterando suas propriedades físicas de acordo com a aplicação de variáveis, como campo

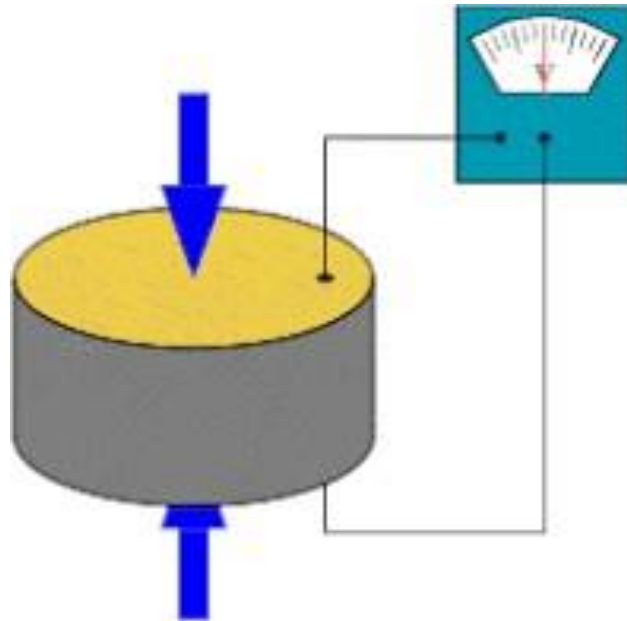
elétrico, temperatura, pressão ou tensão mecânica. O termo “piezoelétrico” tem origem grega, sendo derivado da palavra *piezein*, que significa “pressionar”. Este nome está ligado ao fenômeno da geração de energia elétrica quando o material é submetido a esforço mecânico, como compressão ou tração, e à capacidade inversa quando aplicado um campo elétrico, o material se deforma mecanicamente, caracterizando o efeito piezoelétrico reverso. (CHAVES, 2021)

A descoberta do efeito piezoelétrico ocorreu em 1880, realizada pelos físicos Franceses Pierre e Jacques Curie, quando observaram que determinados cristais, como o quartzo, o sal de Rochelle e a turmalina, desenvolviam cargas elétricas em suas superfícies quando submetidos a pressões mecânicas. Mais tarde, Gabriel Lippmann, em 1881, confirmou teoricamente, por meio das leis termodinâmicas, o efeito piezoelétrico, o qual foi também testado experimentalmente pelos Irmãos Curie (PERLINGEIRO; PIMENTA; SILVA, 2016).

Com o avanço da ciência dos materiais, a partir da década de 1950, surgiram os materiais piezoelétricos sintéticos, desenvolvidos para superar as limitações dos materiais naturais, que embora apresentassem o efeito, possuíam baixa eficiência energética. Os materiais Piezoelétricos podem ser encontrados na forma de cristais, por exemplo o sulfeto de zinco (ZnS), clorato de sódio (NaClO<sub>3</sub>) Entre esses materiais, destaca-se o PZT (Titanato Zirconato de Chumbo), que oferece elevado desempenho piezoelétrico, sendo atualmente o mais utilizado na indústria e na engenharia (PERLINGEIRO; PIMENTA; SILVA, 2016)

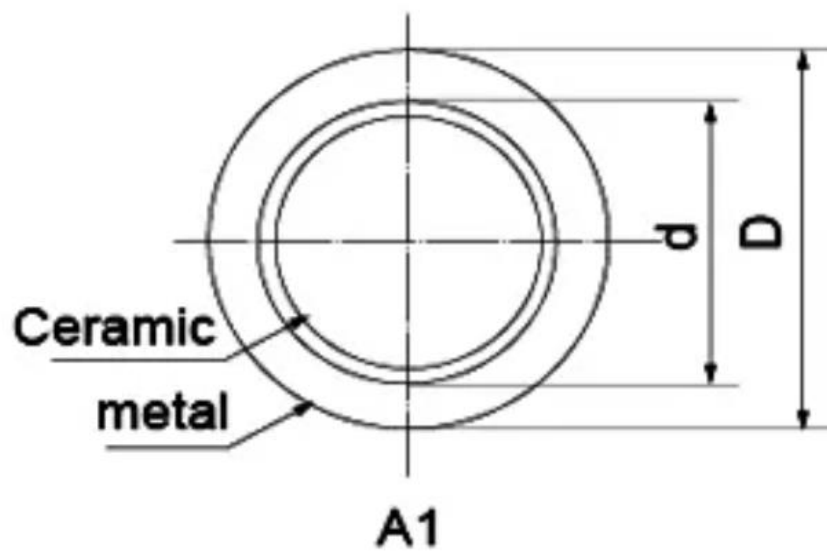
Esses materiais são fundamentais para diversas aplicações tecnológicas modernas, que vão desde sensores e atuadores até sistemas de geração de energia limpa em ambientes urbanos, como pisos geradores de energia, dispositivos de monitoramento estrutural e microgeradores para equipamentos médicos e eletrônicos.

Figura 2 - Cristais piezoelétricos



Fonte: Viviane Kettermann Fernandes e Caroline Pereira Martendal (2016)

Figura 3 - Como é o Piezoelétrico



Fonte: Esuntech (s.d.)

## 2.5.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais piezoelétricos podem ser classificados em quatro grandes categorias principais como os naturais, cerâmicos e poliméricos, além dos materiais compósitos, que combinam propriedades dos anteriores. Cada um possui características específicas que os tornam mais ou menos adequados para determinadas aplicações.

A primeira categoria é os materiais naturais, são aqueles encontrados na natureza que tem o efeito piezoelétrico de forma espontânea, sem necessidade de polarização artificial, como exemplo quartzo, turmalina e sal de Rochelle. O quartzo amplamente utilizado em relógios, osciladores e sensores devido à sua estabilidade térmica e precisão a turmalina juntamente com o sal de Rochelle são aplicados historicamente em microbalanças e dispositivos sensíveis de medição (Perlingeiro; Pimenta; Silva, 2016). Apesar de serem robustos e estáveis, os materiais naturais apresentam baixo coeficiente piezoelétrico, o que limita seu uso na geração de energia de média ou grande escala.

Segunda categoria são os materiais cerâmicos. Os materiais cerâmicos são mais utilizados nas indústrias, devido ao seu alto desempenho. O principal representante dessa classe é o PZT (Lead Zirconete Titanete), seguido por outros como  $\text{BaTiO}_3$  (Titanato de Bário),  $\text{PbTiO}_3$  (Titanato de Chumbo) e  $\text{PbZrO}_3$  (Zirconato de Chumbo). Esses materiais são compostos policristalinos que, após um processo de polarização elétrica, alinham seus dipolos internos, adquirindo propriedades piezoelétricas permanentes. São altamente eficientes, porém frágeis, o que os torna ideais para dispositivos onde a deformação é controlada, como sensores de pressão, dispositivos ultrassônicos e, mais recentemente pisos geradores de energia (Perlingeiro; Pimenta; Silva, 2016).

Na terceira categoria estão os materiais poliméricos, esses materiais como o PVDF (Polivinilideno Fluoreto) oferecem uma alternativa mais flexível e resistente a impactos mecânicos, embora possuam menor coeficiente piezoelétrico comparado aos cerâmicos. Eles são extremamente úteis em aplicações que exigem flexibilidades, por exemplos sensores vestíveis, dispositivos biomédicos e equipamentos portáteis de geração de energia, como joalheiras e palmilhas inteligentes (CHAVES, 2021)

Quarta e última categoria é sobre os materiais compósitos, os materiais unem características dos cerâmicos e dos poliméricos. São estruturados para oferecer maior flexibilidade mecânica com desempenho elétrico superior aos polímeros isoladamente. Muitos utilizados em pisos inteligentes, dispositivos de captura de energia em infraestrutura urbana até mesmo em equipamentos aeroespaciais.

De acordo com os conhecimentos obtidos sobre cada tipo de piezoelétrico, optamos pela utilização de materiais piezoelétricos do tipo cerâmico, especificamente o PZT (Titanato- Zirconato de Chumbo), por apresentar um dos melhores desempenhos entre os diversos materiais disponíveis. Essa escolha foi fundamentada tanto na literatura técnica como nos testes práticos realizados no protótipo.

Os materiais cerâmicos destacam-se por sua alta eficiência na conversão de energia mecânica em energia elétrica, especialmente quando comparados aos materiais naturais (como o quartzo) e poliméricos (como o PVDF). O PZT, por exemplo, apresenta elevado coeficiente piezoelétrico, o que permite uma geração de tensão mais significativa mesmo sob esforços mecânicos moderados, como o impacto dos passos de pedestre cenário ideal para aplicação urbana como shoppings, estações e calçadas públicas. Contudo, os materiais cerâmicos também apresentam algumas desvantagens importantes. São estruturalmente frágeis, com baixa resistência a tração e impacto excessivo, o que pode reduzir sua durabilidade em locais com uso muito intenso ou com exposição a variações climáticas severas, mas para a ideia do protótipo esse modelo será um ótimo exemplo, mas que também pode ser substituído por outro modelo em trabalhos futuros. A seleção do piezoelétrico cerâmico foi pautada em critérios de desempenho, acessibilidade, confiabilidade e compatibilidade com os objetivos do projeto, ainda que a equipe esteja ciente dos pontos de melhoria a serem explorados em versões futuras, como a substituição por materiais compósitos ou poliméricos mais sustentáveis.

Figura 4 - comparação das propriedades dos materiais piezoelétricos.

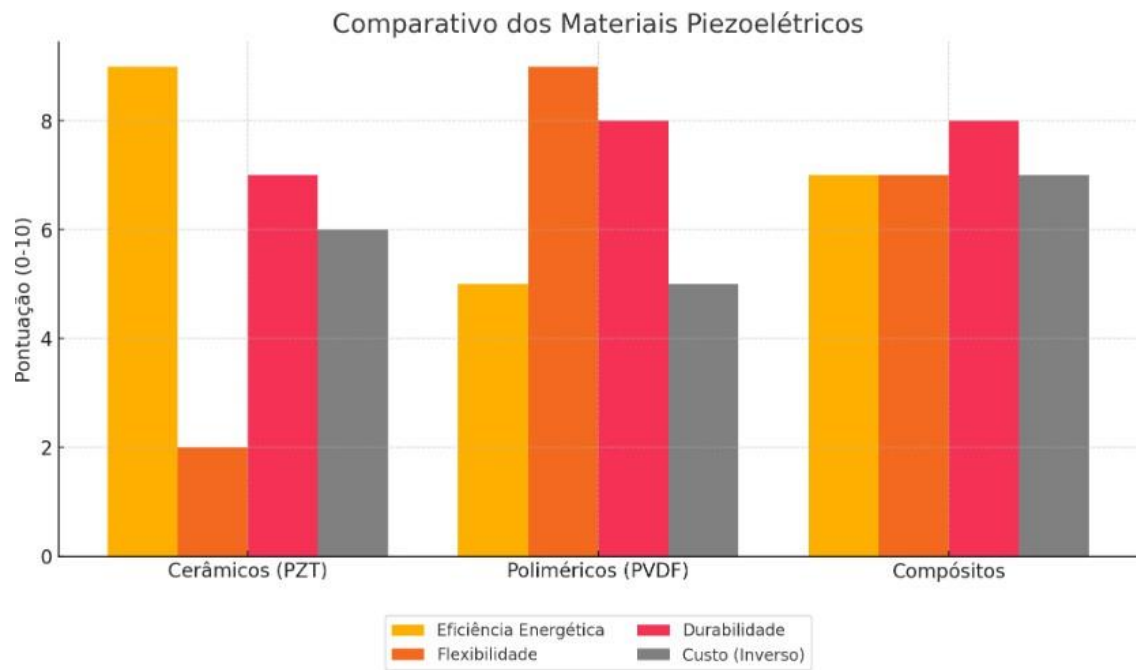
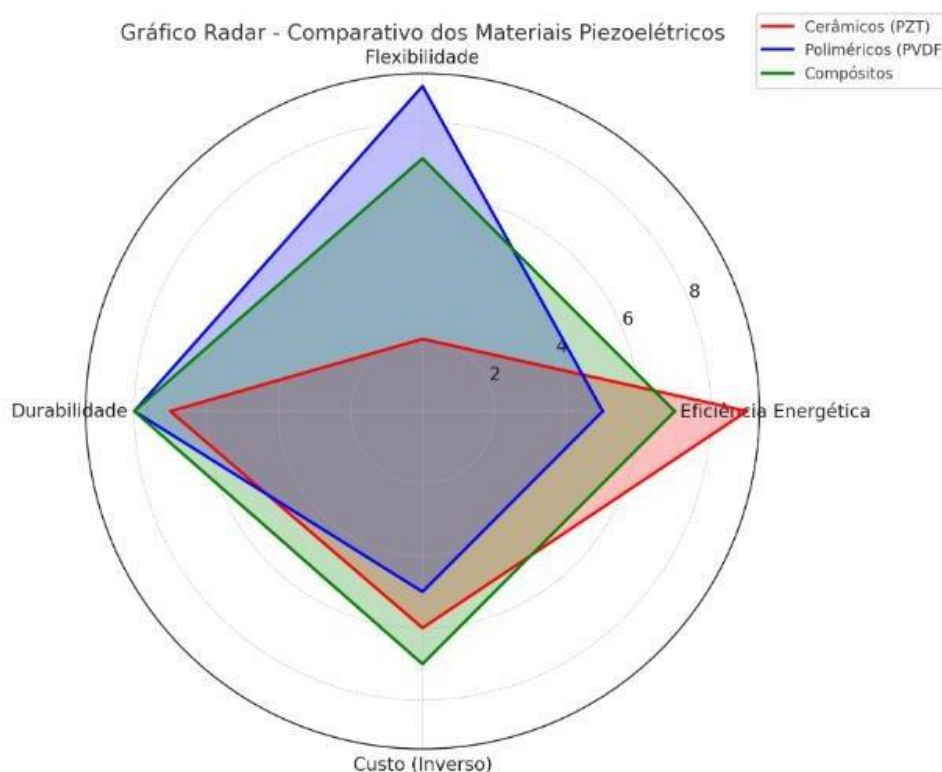


Figura 5 - Visualização das propriedades dos materiais piezoelétricos



Fonte: Autoria própria

As principais aplicações dos materiais piezoelétricos possuem uma ampla aplicabilidade devido à sua capacidade de converter energia mecânica em energia elétrica. Uma das principais aplicações é na geração de energia em pisos urbanos, onde o impacto dos passos de pedestres convertido em eletricidade, possibilitando alimentar sistemas de iluminação, sinalização e sensores em espaços públicos.

Esse conceito já é adotado por empresas como a Pavagen, que usa essa tecnologia em locais de grande circulação (CHAVES, 2021). Outro uso relevante ocorre em sistemas ferroviários, nos quais vibrações geradas pelos trens são captadas para geração de energia, que pode ser destinada a sistemas de monitoramento ou iluminação. De forma semelhante, a piezoeletricidade vem sendo aplicada em asfaltos inteligentes, onde a compressão provocada pelos veículos permite gerar energia elétrica para alimentar equipamentos urbanos, reduzindo a dependência de fontes convencionais.

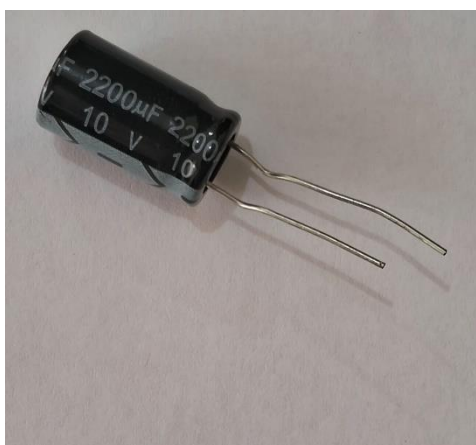
Na área da saúde, os materiais piezoelétricos são empregados no

desenvolvimento de próteses e dispositivos médicos, permitindo monitoramento biomecânico e funcionamento autossuficiente, sem necessidade de baterias externas. Já no setor industrial, são utilizados em sensores de vibração, sistemas de controle e manutenção preditiva, essencial para aumentar a eficiência operacional e a segurança dos equipamentos (Ramos Perlingeiro; Maia Pimenta; da Silva, 2016). Essas aplicações demonstram como os materiais piezoelétricos contribuem para soluções sustentáveis e inteligentes, tanto no ambiente urbano quanto industrial.

Além dos materiais piezoelétricos cerâmicos utilizados como elementos ativos para geração de energia, o sistema desenvolvido no projeto contou com outros componentes eletrônicos fundamentais para garantir o funcionamento completo do circuito, incluindo o controle, a retificação e o armazenamento da energia gerada. A seguir, são classificados e justificados os principais materiais utilizados no protótipo.

O capacitor de 2200uf e 10V é responsável por armazenar energia elétrica gerada pelos materiais piezoelétricos. Quando o piezoelétrico é submetido a pressão mecânica, ele produz pequenos pulsos de tensão, por serem irregulares, precisam ser estabilizados. O capacitor atua como um reservatório, acumulando essas cargas elétricas até que possam ser utilizadas de forma contínua. Sua alta capacitância permite armazenar uma quantidade significativa de energia, enquanto a tensão nominal de 10V define o limite de operação segura. Dessa forma, o capacitor garante que a energia captada pelos piezoelétricos seja aproveitada de maneira eficiente, fornecendo uma saída mais estável para o circuito e contribuindo para o funcionamento equilibrado do sistema de geração e armazenamento de energia.

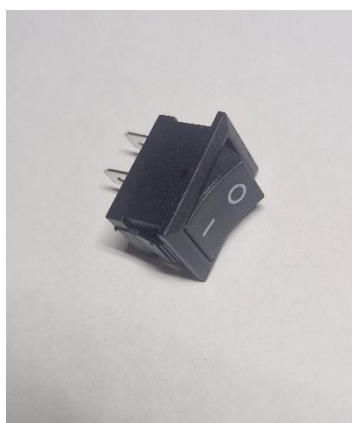
Figura 6 - Capacitor



Fonte: Autoria própria

Botão ON/OFF mini com 3 posições, é um interruptor elétrico usados para controlar a passagem de corrente em um circuito. Esse tipo de chave também é chamado de chave seletora de 3 posições ou mini switch de 3 posições. Será utilizado para liberar a energia guarda e feita pelo piso, assim vai permitindo o controle da energia.

Figura 7 - Botão



Fonte: Autoria própria

Também foi utilizado fios no projeto são condutores elétricos flexíveis, geralmente compostos por cobre estanhado e isolados com PVC ou silicone. Eles são responsáveis por interligar todos os componentes do circuito, conduzindo a energia elétrica de forma eficiente entre os sensores piezoelétricos, o retificador e o sistema de armazenamento. Sua principal vantagem é a alta condutividade elétrica, aliada à flexibilidade que facilita a instalação em superfícies móveis como pisos. Também possuem custo acessível e boa resistência ao desgaste mecânico, sendo ideais para aplicações de protótipos e projetos de média duração. A escolha adequada de fios é essencial para minimizar perdas por resistência e garantir a segurança do circuito.

Os diodos utilizados no projeto, como o modelo 1N4007 ou diodos Schottky, têm a função de ser uma ponte retificadora e também na entrada do capacitor para permitir a passagem da corrente elétrica em apenas um sentido, impedindo o retorno da corrente para o piezoelétrico. Além disso, são fundamentais para a conversão da corrente alternada gerada pelas pastilhas piezoelétricas em corrente contínua, que é necessária para carregar os capacitores. Diodos do tipo Schottky foram considerados

por sua menor queda de tensão ( $\sim 0,3V$ ), o que os torna mais eficientes para circuitos de baixa tensão. Os diodos são componentes essenciais para garantir a integridade e eficiência do sistema de geração e armazenamento de energia.

Resistores são componentes passivos utilizados para limitar a corrente elétrica em pontos críticos do circuito, para proteger os LEDs ou dividir tensões em diferentes etapas do sistema. São componentes extremamente acessíveis, com ampla variedade de valores e potências, e sua correta utilização garante a proteção e estabilidade dos demais elementos do sistema. Resistores são indispensáveis em qualquer circuito eletrônico, e seu dimensionamento adequado é fundamental para segurança e funcionalidade da aplicação. Assim, todos os componentes complementares utilizados no projeto foram criteriosamente escolhidos com base em critérios técnicos, econômicos e de compatibilidade com a energia gerada pelos piezoelétricos. A combinação entre eficiência, baixo custo e facilidade de integração assegura o funcionamento seguro e eficaz do sistema proposto, reforçando sua viabilidade para aplicações urbanas em larga escala.

Sabendo que esses componentes foram usados para o desenvolvimento e criação do protótipo, que se for aplicado em grande escala seria usado materiais melhores e com mais eficiência para o longo uso e duração.

Essa placa eletrônica vai ser usada para guardar a energia gerada pelo piso, nela tem uma ponte retificadora feita com diodo, mais 2 diodo para não voltar no piso e queimar as patilhas piezoelétricas e a outra para manter o sentido da carga para não ir em nenhum lugar errado e acabar queimando algum componente, também contém um resistor para a saída para não queimar os LEDs ou o que for ser usada a energia que foi guardada, para identificar a entrada e a saída do lado do Tblock da saída foi colocado a letra L para identificar o LED ou saída e o outro que sobrou vai ser a entrada do piso.

Figura 8 - Placa eletrônica



Fonte: Autoria própria

## 2.5.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS PIEZOELÉTRICO

As propriedades dos materiais piezoelétricos estão diretamente associadas à sua estrutura cristalina, que se caracteriza pela ausência de centro de simetria. Esse acontecimento permite que, ao serem submetidos a esforços mecânicos como compressão, tração ou vibração, ocorra um deslocamento relativo dos centros de carga positiva e negativa no interior do material. Esse acontecimento resulta na geração de um campo elétrico externo, caracterizando o chamado efeito piezoelétrico direto. Da mesma forma, quando um campo elétrico é aplicado, o material sofre uma deformação física, conhecida como efeito piezoelétrico reverso (CHAVES, 2021)

Na parte mecânica, os materiais piezoelétricos apresentam características que variam de acordo com sua composição. Os materiais cerâmicos, como PZT (Titanato Zirconato de Chumbo), possuem alta resistência à compressão, o que os torna adequados para aplicações onde predominam esforços de pressão. Por outro lado, eles apresentam fragilidade a tração, sendo propenso à quebra sob esforços de alongamento ou flexão (Ramos Perlingeiro; Maia Pimenta; da Silva, 2016). Já os materiais poliméricos, como o PVDF (Polivinilideno Luoreto), e os compósitos oferecem boas flexibilidade mecânica, indicados para aplicações que exigem resistência a deformações cíclicas ou impacto (CHAVES, 2021)

Entre as principais propriedades elétricas dos materiais piezoelétricos destaca a capacidade de gerar tensões elétricas diretamente proporcionadas a força mecânica aplicada. Além disso, materiais cerâmicos apresentam constante dielétrica elevada, o que permite o armazenamento eficiente de cargas elétricas, tornando extremamente eficaz na conversão de energia mecânica em elétrica. Outra propriedade fundamental é a reversibilidade piezoelétrica, na qual a aplicação de um campo elétrico induz uma deformação mecânica no material, aspecto amplamente utilizado em atuadores, sensores e sistemas de micro posicionamento (PERLINGEIRO; PIMENTA; SILVA, 2016); (CHAVES, 2021)

A propriedade funcional tem a eficiência dos materiais piezoelétricos está fortemente relacionada à frequência de ressonância. Isso significa que o desempenho máximo na geração de energia ocorre quando a frequência de vibração externa coincide com a frequência natural do material. Apesar disso, esses materiais apresentam alta durabilidade operacional em ambientes controlados, especialmente quando as condições mecânicas e térmicas são bem administradas. Contudo, destaca a sensibilidade a temperatura, principalmente nos materiais cerâmicos, que podem perder suas propriedades piezoelétricas ao serem expostos a temperaturas superiores à sua temperatura Curie o ponto crítico onde o material perde sua polarização elétrica e, conseqüentemente, suas características piezoelétricas (PERLINGEIRO; PIMENTA; SILVA, 2016).

Os materiais piezoelétricos são geralmente modelados como corpos transversalmente isotrópicos, ou seja, apresentam propriedades diferenciadas dependendo da direção do esforço aplicado. Esse comportamento é definido principalmente pelo eixo de polarização, que na maioria dos modelos, é orientado no eixo 3 (direção z). O alinhamento correto desse eixo é fundamental para maximizar o desempenho piezoelétrico, seja na geração de energia, seja na atuação de sensores e dispositivos (PERLINGEIRO; PIMENTA; SILVA, 2016); (CHAVES, 2021) Diante dessas características, observa que o entendimento das propriedades dos materiais piezoelétricos não apenas orienta sua correta aplicação, mas também influencia diretamente a otimização de projetos voltados a geração de energia limpa e a integração de tecnologias sustentáveis em ambientes urbanos e industriais.

## 2.6 ANÁLISE DE DADOS

Os testes realizados com os discos piezoelétricos de 20 mm e 35 mm permitiram verificar o comportamento dos dispositivos sob diferentes formas de conexão elétrica, revelando dados importantes sobre o desempenho energético do sistema. Inicialmente, os elementos foram dispostos em série, depois em paralelo e, por fim, em configuração mista (série + paralelo). Cada uma dessas configurações apresentou características distintas em relação à tensão (voltagem) e à corrente elétrica geradas.

Na ligação em série, observou-se uma elevação significativa na tensão elétrica, enquanto a corrente permaneceu relativamente baixa. Essa configuração é útil para aplicações que demandam maior voltagem, mas pode não ser eficaz quando é necessária uma corrente mais intensa. Por outro lado, a conexão em paralelo apresentou corrente elevada, mas com uma queda acentuada na tensão. Isso demonstra que a escolha do tipo de ligação deve considerar o tipo de aplicação energética pretendida.

Com base nos dados obtidos, a configuração paralela revelou-se mais eficiente para os objetivos do projeto, pois conseguiu ter uma tensão baixa e corrente alta. Isso é fundamental para alimentar pequenos sistemas eletrônicos de maneira estável. A utilização de piezoelétricos de 35 mm também se mostrou mais vantajosa em relação aos de 20 mm, pois geraram maior quantidade de energia devido à sua área de captação ampliada.

Durante os testes, o uso do multímetro foi essencial para aferição da corrente (em miliamperes) e da tensão (em volts) geradas a partir das pressões exercidas nos dispositivos. Os valores variaram conforme a força aplicada, o número de piezoelétricos conectados e o tipo de ligação. Esses resultados validam a eficiência do sistema desenvolvido e orientam melhorias para aplicações futuras, como o dimensionamento de armazenamento (capacitores ou baterias) e a escolha de locais estratégicos para instalação.

Os dados obtidos demonstram que, embora a geração de energia em pequena escala por meio do efeito piezoelétrico ainda não substitua as grandes fontes convencionais, ela possui potencial significativo em soluções locais, especialmente em contextos de cidades inteligentes e autossuficiência energética parcial.

## 2.7 DESAFIOS E LIMITAÇÕES

A aplicação prática dos pisos piezoelétricos, embora promissora, enfrenta diversos desafios e limitações que precisam ser considerados para a consolidação dessa tecnologia como uma alternativa viável de geração energética. Um dos principais entraves é o armazenamento da energia gerada, que, por estar em pequena escala e de forma intermitente, requer sistemas eficazes de captação, estabilização e acumulação da energia, como capacitores de alto desempenho ou baterias recarregáveis.

Outro desafio refere-se à durabilidade dos dispositivos piezoelétricos. Esses materiais são sensíveis à umidade, ao calor excessivo e ao desgaste mecânico provocado por uso contínuo. Assim, sua vida útil pode ser reduzida em ambientes com condições extremas, exigindo manutenções periódicas, substituições e sistemas de vedação eficientes. O custo associado à substituição e manutenção pode tornar o projeto menos viável financeiramente em determinadas aplicações.

Além disso, o sistema depende de movimentação constante para geração de energia. Locais com pouco tráfego de pessoas terão rendimento energético limitado, o que pode inviabilizar sua instalação em determinadas áreas. Para que o sistema seja eficiente, é necessário um estudo de viabilidade que considere o fluxo de pessoas, o investimento inicial e a capacidade de retorno em energia gerada.

A complexidade na instalação e na integração com sistemas elétricos já existentes também representa um obstáculo. É necessário garantir compatibilidade elétrica, segurança dos usuários, e um projeto de engenharia que respeite as normas técnicas e arquitetônicas.

Do ponto de vista tecnológico, ainda são necessárias pesquisas que possibilitem o desenvolvimento de materiais piezoelétricos mais resistentes, baratos e com maior rendimento energético. A criação de novos modelos de encapsulamento, bem como a automação do sistema de leitura e armazenamento da energia gerada, são metas desejáveis para otimizar essa inovação.

Por fim, destaca-se a necessidade de regulamentações específicas para a utilização desses dispositivos em espaços públicos, contemplando aspectos de

segurança, eficiência energética, impacto ambiental e acessibilidade.

## **2.8 RECURSOS NECESSÁRIOS**

Para o desenvolvimento completo de um protótipo funcional de piso piezoelétrico, são necessários diversos recursos materiais, humanos e técnicos. Em termos de materiais, utilizam-se principalmente discos piezoelétricos de 35 mm, que são os principais elementos responsáveis pela conversão da energia mecânica em elétrica. Esses componentes devem ser adquiridos em quantidade suficiente para possibilitar testes em série, paralelo e configuração mista.

Além disso, é necessário o uso de placas de papelão para montagem do protótipo inicial e de borracha vulcanizada para simular o material final do piso, que deve ser resistente e flexível ao mesmo tempo. Fios condutores, terminais de conexão, placas de circuito, capacitores também são indispensáveis para montagem dos circuitos de captação e armazenamento da energia.

Entre os instrumentos utilizados para medição e teste, destacam-se o multímetro, soldador, protoboard e fontes de carga mecânica (como pesos ou pressão manual controlada). Um ambiente adequado para a realização dos testes como laboratórios escolares ou universitários também é necessário para garantir a precisão e segurança dos experimentos.

Do ponto de vista humano, o projeto requer conhecimentos em eletrônica básica, física (efeito piezoelétrico) e princípios de engenharia elétrica, além de habilidades práticas para montagem e interpretação dos circuitos. A atuação conjunta de professores orientadores, estudantes e técnicos é recomendada para garantir a correta execução dos procedimentos.

Por fim, recursos financeiros são necessários tanto para aquisição de materiais quanto para transporte, impressão de documentos, participação em feiras científicas e divulgação dos resultados.

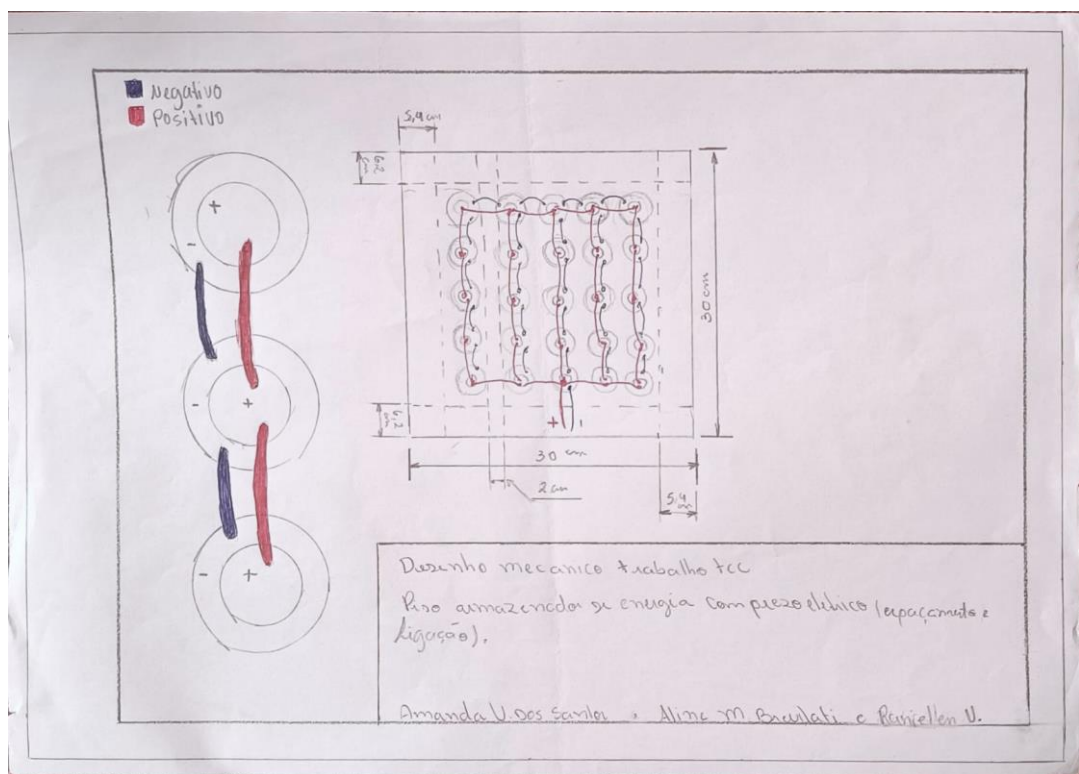
## 2.9 CRONOGRAMAS

Atividade	Responsável	Início	Término
Decisão do projeto	Amanda	19/02/2025	19/02/2025
Análise dos temas PRV	Amanda	22/02/2025	02/03/2025
Pesquisa sobre o projeto escolhido	Amanda	26/02/2025	Até a finalização do projeto
Desenho mecânico	Amanda	26/02/2025	27/02/2025
Diagrama eletrônico / esquemático	Aline	01/03/2025	02/03/2025
Desenvolvimento de protótipos iniciais	Aline	14/03/2025	07/05/2025
Cronograma	Raniéllen	15/03/2025	13/04/2025
Artigo científico	Aline	22/03/2025	13/04/2025
Monografia	Amanda	22/03/2025	15/06/2025
Palavras chaves	Raniéllen	29/03/2025	08/04/2025
Análise dos resultados dos protótipos para aplicação em tamanho real	Aline	02/04/2025	07/05/2025
Tópicos desenvolvidos	Aline	05/04/2025	13/04/2025
Divisões da metodologia e análise	Aline	09/04/2025	14/04/2025
Observação de artigos das palavras chaves	Aline	09/04/2025	14/04/2025
Lista de materiais e orçamento	Raniéllen	21/04/2025	28/04/2025
Revisão da citação bibliográfica	Aline	23/04/2025	30/04/2025
Ficha catalográfica	Amanda	24/04/2025	15/06/2025
Fazer o projeto TCC	Aline	08/05/2025	06/07/2025
Pré-apresentação do projeto	Aline	01/06/2025	08/06/2025
Montar maquete	Aline	04/07/2025	27/07/2025
Desenvolvimento do protótipo, monografia e pôster	Amanda	06/08/2025	07/09/2025
Entrega da monografia	Amanda	17/09/2025	17/09/2025
Entrega do pôster	Raniéllen	24/09/2025	24/09/2025
Treino de pré-apresentação do projeto para o banco	Amanda	06/10/2025	12/11/2025
Apresentação final do TCC	Aline	26/10/2025	19/11/2025
Revisão total da monografia e do pôster	Amanda	29/10/2025	29/10/2025
Entrega de 2 cópias impressas da monografia para os componentes da banca	Aline	05/11/2025	05/11/2025
Entrega da monografia, pôster, termo de autenticidade e termos de autorização de divulgação	Aline	26/11/2025	26/11/2025

## 2.10 DESENHOS E DETALHAMENTOS

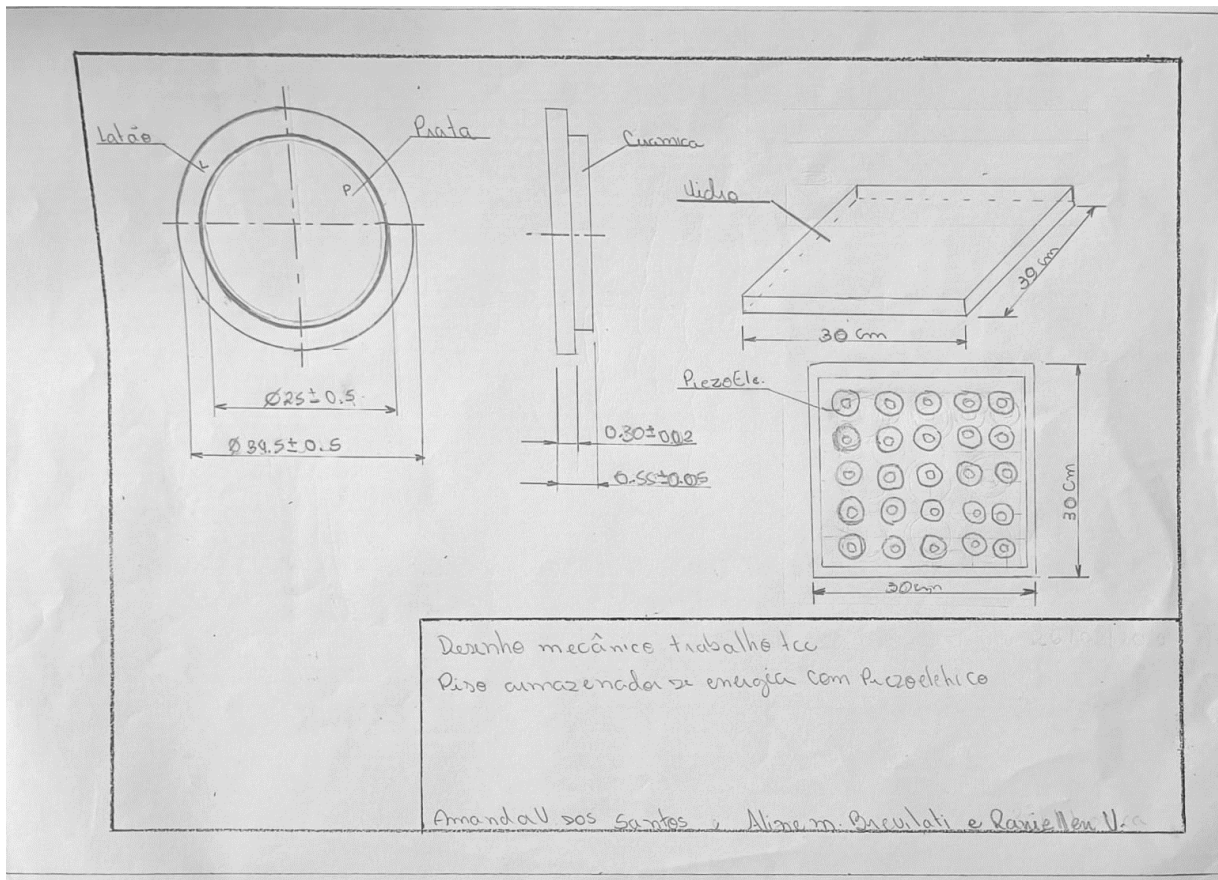
Sobre as ligações feitas, no projeto vai ser explicado aqui, nas imagens abaixo. Na primeira imagem é sobre as ligações feitas que é a ligação em paralelo, essa ligação é feita com o positivo sendo ligado com o positivo e negativo sendo ligado com o negativo. Também está mostrando as distâncias das pastilhas piezoelétricas no vidro onde vai ser o piso. Já a segunda imagem é as medidas dos piezoelétricos que foi utilizado e como irá ser colocado e com todas as medidas para o melhor entendimento.

Figura 9 - Ligação dos Piezoelétricos e dimensionamento



Fonte: Autoria própria

Figura 10 - Dimensionamento do Piezoelétrico e do piso



Fonte: Autoria própria

## 2.11 CUSTOS

Durante o desenvolvimento do projeto, foram feitos investimentos em diferentes materiais e componentes eletrônicos essenciais para alcançar os objetivos propostos. Inicialmente, foram compradas pastilhas piezoelétricas de 20mm, que serviram para os primeiros testes. No entanto, após observar que a energia gerada era menor do que ia precisar, foi investido em pastilhas de 35mm, mais eficientes e com maior área de captação de pressão.

Após isso foi para a próxima parte que é como guardar a energia gerada. Após essa pergunta foi pensado na placa eletrônica com um banco de capacitores e diodos para fazer uma ponte retificadora para poder guardar a energia gerada pelo piezoelétrico, logo depois foi visto como será mostrado isso para o público, foi aí que começou a ideia para fazer a maquete, para que todos pudesse ver como vai funcionar

nas cidades, assim que foi decidido isso só faltou ir atrás dos materiais que será utilizado para mostrar o que era o esperado.

Figura 11 - Maquete



Fonte: Autoria própria

## 2.12 CONSTRUÇÕES DO PROTÓTIPO

A construção do protótipo foi uma das etapas mais importantes do projeto, pois permitiu validar na prática todos os conceitos estudados anteriormente. Inicialmente, utilizamos piezoelétricos de 20mm e 35mm, que foram posicionados entre duas placas de papelão com o objetivo de simular a base de um piso. Essa estrutura simples permitiu testar a sensibilidade das pastilhas e observar a geração de tensão elétrica ao aplicar pressão manual ou caminhar sobre elas.

Com base nos testes preliminares, percebemos que o papelão, embora acessível, era flexível demais e não proporcionava uma boa transferência da força

mecânica para os sensores piezoelétricos, logo depois foi mudado para o material para o vidro por ser mais fácil a limpeza e captar mais a pressão. Diante disso, optamos por utilizar uma base de vidro, que é mais resistente, durável e proporciona uma melhor distribuição da força aplicada. Essa mudança foi fundamental para aumentar a eficiência do protótipo e simular de forma mais fiel o funcionamento do piso em um ambiente urbano e para ver como as pastilhas piezoelétrica irão ficar após os teste e o vidro foi um jeito de mostrar as ligações e visualizar melhor o comportamento das pastilhas, o vidro é só para ajudar na parte visual mas se for colocado na cidade terá que ser outro material para não ter risco de cair alguma coisa e quebrar ou machucar alguém, então teria que ser analisado um material adequado para colocar no lugar do vidro para não ter riscos de ferimentos.

Com essa etapa concluída, o grupo conseguiu não apenas testar a eficácia dos piezoelétricos na geração de energia, mas também demonstrar a viabilidade do uso em larga escala, desde que haja planejamento, manutenção e adaptação conforme o ambiente de aplicação.

## **2.13 PROTOCOLOS E TESTES**

Para alcançar os resultados esperados e validar a proposta do projeto, foi elaborado um protocolo de testes sistemático e detalhado. Esse protocolo compreendeu desde a preparação das ligações dos piezoelétricos até a medição e análise dos dados obtidos. Cada etapa foi cuidadosamente planejada para garantir que o processo fosse repetível, confiável e compatível com as limitações de tempo e recursos disponíveis.

O primeiro passo do protocolo consistiu na verificação individual das pastilhas piezoelétricas, para assegurar que estavam funcionando corretamente. Em seguida, foram realizadas ligações elétricas nas configurações em série, paralelo e mista, a fim de comparar os resultados obtidos em cada uma delas. Essa comparação teve como objetivo verificar qual tipo de ligação proporcionaria maior aproveitamento da energia gerada.

Durante os testes, foram utilizados multímetros para medir a tensão e a corrente elétrica geradas nas diferentes montagens. Em alguns momentos, também

utilizamos os piezoelétricos em situações simuladas de caminhada e pulando, aplicando diferentes intensidades de força para verificar a resposta em condições reais de uso. Com isso, foi possível avaliar o comportamento do sistema frente a diversas formas de impacto e pressão.

Outro elemento importante no protocolo foi a medição da durabilidade das pastilhas. Para isso, realizamos repetições contínuas de impacto sobre os sensores, com o objetivo de simular o uso prolongado do piso em ambientes públicos. As observações permitiram identificar o limite mecânico das peças e sugerir melhorias na estrutura de suporte.

O protocolo de testes mostrou-se essencial para entender o funcionamento prático do projeto, indicar pontos de melhoria e reforçar a viabilidade da proposta em contextos reais de aplicação urbana.

### **2.13.1 EXECUÇÕES DOS TESTES**

Logo que os materiais foram colocados em teste para verificar se estava de acordo com o que irá precisar. Foi colocado em serie e foram verificados o valor e a mesma coisa em paralelo e por fim mista, foram testados de formas diferente até chegar no resultado esperado e foi medido com o multímetro para verificar os valores que foram gerados com os piezoelétricos, para ver se ia precisar modificar alguma coisa no circuito, utilizamos um multímetro para medir a tensão elétrica geradas após cada impacto ou pressão exercida sobre as pastilhas.

Após isso foi visto que a melhor modificação foi a que estava em paralelo pois ele traz um equilíbrio com a tensão pois as pastilhas piezoelétricas pode variar a sua tensão dependendo do impacto que as pessoas forem fazer, mas nos teste foi obtido uma tensão de 16V, mas a corrente não foi possível medir pois depende do pico de energia e da força aplicada então não teria um valor para poder colocar em média, para ficar em equilíbrio a tensão e a corrente foi porque a tensão fica igual por ser em paralelo já a corrente ela irá somar então como não foi conseguido medir a corrente foi feito uma pesquisa para saber mais ou menos quanto de corrente cada pastilha gerava, foi ai que a ligação em paralelo foi a mais adequada.

Já a ligação dos LEDs foram em paralelo pois se alguns dos LEDs queimar não vai prejudicar os outros LEDs sendo mais eficiente e mais fácil na troca do LED, isso vai ajudar para ver se o resistor precisa ser modificado para que o LED não queime novamente, como cada LED tem a sua tensão então passando uma quantidade certa de energia para os LED que não seja reduzida ao ponto de não ver o LED acender e não sendo excessiva para não ter o risco de queimar o LED, para isso foi visto a tabela de tensão dos LEDs para ter certeza que não vai ter nenhum problema no caminho. Como a maquete vai ter dois tipos de LEDs então foi colocado o que tem menos tensão para não ter o risco de queimar ele, mas o outro também não está muito longe da tensão, então dará certo utilizar os dois tipos de LEDs.

### **2.13.2 COLETAS DE DADOS DOS TESTES**

Para poder coletar os dados e identificar se as ligações estava favorecendo o projeto, e trazendo energia elétrica, então foi utilizado o multímetro para poder visualizar se a tensão está de acordo com o que vai ser utilizado, para saber quanto de tensão iria ser utilizado, pegamos os componentes que vai ser utilizado na maquete assim que calculamos quanto de tensão irá precisar, foi necessário reajustar as posições dos piezoelétrico para chegar a tensão que irá precisar para a maquete, os dados obtidos permitiram identificar qual montagem oferecia melhor desempenho em termos de geração de energia elétrica.

Além das medidas elétricas, também coletamos informações qualitativas, como a resistência dos materiais utilizados, a estabilidade da conexão dos fios e o comportamento do sistema sob uso repetido. Essas observações foram importantes para validar não só a eficiência energética, mas também a durabilidade e a praticidade do protótipo.

As coletas de dados também consideraram a autonomia do sistema ao carregar pequenas cargas, como LEDs. Isso ajudou a estimar quanto tempo seria necessário para que o piso carregasse dispositivos simples, o que reforça a viabilidade do projeto em aplicações reais.

### **2.13.3 ANÁLISES DOS DADOS DOS TESTES**

Após a coleta, os dados foram analisados com foco em três aspectos principais: eficiência na geração de energia, comportamento dos materiais ao longo do tempo e viabilidade prática do sistema.

A análise revelou que a ligação em paralelo foi a mais eficiente, pois conseguiu fazer com que a tensão não ficasse tão alta e a corrente ficasse equilibrada de maneira satisfatória, entregando energia com maior estabilidade. Também verificamos que os piezoelétricos de 35mm apresentaram desempenho superior aos de 20mm, tanto em geração elétrica quanto em resistência mecânica.

Assim que foram coletados todos os valores, foi observado se os resultados foram o que está programado para sair, se não estivesse teria que refazer a montagem para poder chegar o esperado e o resultado desejado para poder ter como verificar se a ideia foi como esperava.

Por fim, os resultados confirmaram que o sistema é viável para aplicações de pequeno porte, como iluminação de LEDs e sinalizações. Com aprimoramentos e uso em maior escala, ele pode ser adaptado para contribuir de forma significativa na geração de energia em locais públicos com alto fluxo de pessoas.

## **2.14 MELHORIAS**

Durante a construção do protótipo do piso piezoelétrico, foram percebidos alguns pontos que podem ser melhorados para aumentar o rendimento do sistema e facilitar sua aplicação em larga escala. A primeira melhoria está ligada à escolha dos materiais do piso. Hoje está sendo usado vidro temperado já que o piso com borracha foi mudado. O vidro temperado foi usado como material de cobertura, já que ele é mais firme, suporta impactos e é fácil de limpar. Essa troca pode ajudar a transmitir melhor a pressão dos passos para as pastilhas piezoelétricas, melhorando o processo de transformação da energia mecânica em elétrica, futuramente será mudado o material novamente para melhor desempenho.

Outra melhoria importante é buscar o aumento da tensão e da corrente gerada pelo piso. Para isso, pode-se usar piezoelétricos mais sensíveis e melhorar o circuito de captação e armazenamento, evitando perdas e aumentando a eficiência. Dessa forma, o piso terá mais capacidade de carregar baterias ou alimentar aparelhos elétricos.

Além disso, destaca-se a necessidade de empregar materiais de melhor qualidade nos componentes eletrônicos. A adoção de elementos mais resistentes e eficientes não apenas prolonga a vida útil do protótipo, como também garante maior confiabilidade nos resultados obtidos.

Por último, como plano para o futuro, existe a ideia de levar o projeto para escala real, ou seja, instalar o piso em locais com grande movimento de pessoas, como shoppings, estações, escolas e em praças públicas. Assim, será possível testar o funcionamento do piso em situações de uso intenso e contribuir para a geração de energia limpa nas cidades, ajudando no conceito de cidades sustentáveis e inteligentes.

Essas propostas de melhoria mostram que o protótipo atual é apenas o começo de uma tecnologia com grande potencial. Com novos testes e investimentos, ela poderá se tornar uma solução inovadora para a produção de energia renovável.

## **2.15 ASPECTOS POSITIVOS**

A criação de pisos piezoelétricos como fonte alternativa de geração de energia elétrica traz uma série de benefícios que vão além do aspecto tecnológico. Trata-se de uma solução inovadora, sustentável e alinhada às exigências das cidades inteligentes, cuja demanda por energia cresce de maneira proporcional ao desenvolvimento urbano.

Entre os principais aspectos positivos destaca a capacidade de gerar energia limpa renovável e descentralizada, utilizando como fonte o próprio movimento dos pedestres.

Este tipo de geração não demanda combustíveis fósseis, não emite gases de efeito

estufa e não gera resíduos nocivos, sendo completamente alinhado as diretrizes de desenvolvimento sustentável (CHAVES *et al.*, 2022b); (MOTA; BARROSO, 2021). Outro ponto positivo é o aproveitamento inteligente do espaço urbano. Locais com alto fluxo de pessoas, como estações de transporte, praças, shoppings e aeroportos, deixam de ser meros pontos de circulação para se tornarem hubs de microgeração de energia. Isso permite uma geração de eletricidade distribuída, diretamente no ponto de consumo, reduzindo perdas associadas ao transporte de energia (MACHADO *et al.*, [s. d.]

Os pisos piezoelétricos comprem um papel importante na conscientização ambiental. Ao perceberem que seus próprios passos estão contribuindo para gerar energia, os cidadãos passam a ter uma percepção mais concreta sobre a importância das energias renováveis e da adoção de hábitos sustentáveis (CHAVES, 2021). Adicionalmente, essa tecnologia estimula o avanço de outras soluções integradas, como iluminação pública autossuficiente, sensores inteligentes, redes de internet das coisas (IoT) e painéis informativos alimentados por energia gerada localmente, reforçando os conceitos de cidade inteligente e sustentável (REZENDE, 2020); (PIRES; OLIVEIRA; HAYAMA, 2024)

## 2.16 RISCOS

Apesar das inúmeras vantagens, a adoção de pisos piezoelétricos também envolve alguns riscos que precisam ser considerados desde a fase de construção até a operação. O primeiro risco significativo está associado à limitação da eficiência energética do sistema, uma vez que a energia gerada depende diretamente do volume de movimento de pessoas no local. Locais com fluxo insuficiente não terão capacidade de produzir energia suficiente para justificar os custos de implantação e manutenção (MOTA; BARROSO, 2021)

A vista técnica, observa riscos relacionados à fragilidade dos materiais, principalmente quando utilizados elementos cerâmicos, como o PZT, que apesar de terem alto desempenho elétrico, são suscetíveis a trincas e quebras quando submetidos a esforços mecânicos fora dos parâmetros ideais (REZENDE, 2020). Essa fragilidade pode comprometer tanto a durabilidade quanto a confiabilidade do sistema.

O desgaste físico é outro risco relevante. Por estarem expostos ao tráfego constante, os pisos sofrem com abrasão, impactos, umidade, variações de temperatura a contaminação por poeira e resíduos urbanos, fatores que podem reduzir significativamente sua vida útil se não forem devidamente projetados com materiais de proteção adequados (MOTA; BARROSO, 2021).

Em relação a parte econômica, um dos maiores riscos é o alto custo inicial de desenvolvimento, fabricação e instalação quando aplicados em escala real, que pode ser impeditivo para cidades ou organizações que não disponham de incentivos financeiros, subsídios governamentais ou políticas públicas de apoio à inovação tecnológica sustentável (CHAVES *et al.*, 2022b). Além disso, há o risco de percepção pública negativa, caso o projeto não atende as expectativas em relação a quantidade de energia gerada ou apresente falhas operacionais, isso pode gerar descredito na tecnologia, prejudicando futuras expansões ou investimentos (PIRES; OLIVEIRA; HAYAMA, 2024).

Por fim, existem também riscos regulatórios, uma vez que nem todas as cidades possuem normativas e legislações que completem a integração de sistemas de microgeração distribuída, o que pode gerar entraves burocráticos na sua implementação (MOTA; BARROSO, 2021)

## **2.17 DIFERENCIAIS**

O projeto de piso piezoelétrico se destaca no cenário das energias renováveis por apresentar características únicas que o diferenciam de outras formas de geração. O principal diferencial está na captação de energia a partir de uma atividade natural, contínua e inevitável no ambiente urbano o caminhar das pessoas. Trata se de uma fonte de energia que está constantemente disponível nos espaços, urbanos de grande circulação, sem depender de condições climáticas, como ocorre com a energia solar ou eólica (CHAVES *et al.*, 2022b). Outro diferencial significativo é a integração com o conceito de cidades inteligentes, na qual os pisos, além de gerarem energia, podem desempenhar múltiplas funções, como sensores de monitoramento de fluxo, coleta de dados urbanos, controle de acessos, monitoramento ambiental e integração com sistemas de segurança pública (PIRES; OLIVEIRA; HAYAMA, 2024).

Para design urbano, o piso piezoelétrico em o diferencial altamente adaptável, podendo ser projetado em diferentes formatos, tamanhos, cores e texturas, dependendo das necessidades estéticas quanto as de funcionalidade de cada espaço (MACHADO *et al.*, [s. d.]). Adicionalmente, trata de uma tecnologia silenciosa, invisível e de baixo impacto visual, que não altera significativamente a paisagem urbana, não gera ruído e não ocupa espaço aéreo, ao contrário de outras tecnologias como painéis solares ou turbinas eólicas (REZENDE, 2020)

O projeto também se diferencia pelo seu alto potencial educacional e de engajamento social, já que permite que as pessoas visualizem de forma prática como a energia é gerada, despertando nelas uma maior consciência ambiental e incentivando o desenvolvimento de hábitos mais sustentáveis (CHAVES, 2021)

## **2.18 RECOMENDAÇÕES**

Durante a construção do protótipo, alguns pontos se mostraram fundamentais para garantir melhores resultados e podem servir de recomendação para futuros trabalhos semelhantes. Em relação à estrutura do piso, recomenda-se aperfeiçoar a escolha dos materiais de revestimento. Embora a borracha vulcanizada tenha atendido bem na fase inicial, materiais como vidro temperado ou acrílico reforçado podem ser mais indicados em versões futuras, já que permitem maior transmissão da pressão dos passos para os piezoelétricos e aumentam a durabilidade do piso.

No que se refere à parte elétrica, sugere-se a melhoria do circuito de captação e armazenamento. É importante utilizar fios de maior qualidade, diodos mais eficientes para evitar perdas de corrente e um banco de 6 capacitores para guardar a energia gerada.

Outra recomendação importante é a organização das pastilhas piezoelétricas no piso. Dispor os sensores de forma simétrica e com boa fixação ajuda a distribuir melhor a força dos passos, evitando danos e aumentando a geração de energia. Também se aconselha o uso de camadas de amortecimento para proteger as pastilhas contra impactos excessivos. Recomenda-se registrar todas as etapas da construção, desde a escolha dos materiais até os testes de funcionamento, para facilitar ajustes posteriores e servir como guia para versões futuras. Esse cuidado

contribui para padronizar a montagem e possibilitar comparações mais confiáveis entre diferentes versões do piso.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste projeto permitiu comprovar a viabilidade da utilização de pisos piezoelétricos como uma alternativa sustentável para a geração de energia elétrica em ambientes urbanos. A partir dos testes realizados com pastilhas piezoelétricas de diferentes tamanhos e configurações de ligação, foi possível verificar que, mesmo em pequena escala, a tecnologia apresenta resultados promissores e pode contribuir significativamente para a diversificação da matriz energética.

Os experimentos demonstraram que a escolha adequada dos materiais e a forma de montagem do protótipo influenciam diretamente no desempenho do sistema. A utilização da borracha vulcanizada como material de base mostrou-se eficaz nesta etapa, mas também se observou a necessidade de buscar revestimentos mais resistentes e eficientes, como o vidro temperado. Da mesma forma, melhorias nos circuitos de captação, armazenamento e controle da energia serão essenciais para ampliar a tensão e a corrente geradas, tornando o piso mais eficiente e confiável.

Além do aspecto técnico, este trabalho evidenciou a relevância social e ambiental da proposta. A geração de energia a partir do impacto dos passos representa uma forma inovadora de transformar movimentos cotidianos em eletricidade limpa, sem emissão de poluentes e com baixo impacto ambiental. A aplicação em locais de grande circulação de pessoas, como estações de transporte, escolas, shoppings e praças públicas, reforça o potencial do projeto para integração em cidades inteligentes e sustentáveis. Reconhece-se, contudo, que a tecnologia ainda enfrenta desafios, como o custo de produção em larga escala, a durabilidade dos materiais e a necessidade de sistemas de manutenção eficientes. Mesmo assim, as perspectivas futuras indicam que, com investimentos em pesquisa, desenvolvimento de novos materiais e apoio de políticas públicas voltadas à inovação, os pisos piezoelétricos poderão evoluir de protótipos experimentais para soluções reais aplicadas em ambientes urbanos.

Em síntese, este trabalho cumpriu seu objetivo de propor e validar, em escala reduzida, uma alternativa viável para a geração de energia renovável. O projeto aqui apresentado representa não apenas um avanço tecnológico, mas também um passo importante em direção à conscientização ambiental e à construção de um futuro mais

sustentável, acessível e inovador para a sociedade.

### **3.1 TRABALHOS FUTUROS**

O desenvolvimento deste projeto representou um passo inicial para a comprovação da viabilidade de pisos piezoelétricos como alternativa sustentável de geração de energia elétrica. Contudo, alguns pontos importantes podem ser ampliados em trabalhos futuros, de modo a fortalecer a proposta e aproximá-la de aplicações reais.

Um dos primeiros trabalhos futuros é a substituição dos materiais de revestimento do piso. Atualmente, utilizou-se borracha vulcanizada como cobertura, que se mostrou eficiente para testes iniciais. Entretanto, mudou o material mais resistentes, como o vidro temperado, com o objetivo de aumentar a durabilidade, facilitar a limpeza e melhorar a transmissão da pressão exercida pelos passos diretamente para as pastilhas piezoelétricas.

Outro aspecto fundamental é o aprimoramento dos componentes eletrônicos. Para aumentar a quantidade de tensão e corrente geradas, recomenda-se a utilização de piezoelétricos de maior sensibilidade, circuitos otimizados para reduzir perdas e sistemas de armazenamento mais eficientes, como supercapacitores ou baterias de íon-lítio de maior capacidade. Além disso, sugere-se a adoção de materiais eletrônicos de qualidade superior resistores, diodos e controladores de carga, garantindo maior confiabilidade e vida útil ao protótipo.

Também se destaca a necessidade de realizar estudos de viabilidade em escala real. A instalação do piso em locais de grande circulação de pessoas, como shoppings, estações de transporte coletivo, praças públicas e universidades, permitirá observar seu desempenho em situações de uso contínuo e intenso. Esses testes fornecerão dados mais consistentes sobre o potencial energético, os custos envolvidos e a manutenção necessária. Por fim, recomenda que futuras pesquisas explorem a integração do piso piezoelétrico com sistemas inteligentes, como a Internet das Coisas (IoT), possibilitando o monitoramento em tempo real da energia gerada e a aplicação direta dessa energia em sistemas de iluminação, sinalização ou sensores urbanos. Essa integração poderá ampliar a relevância do projeto dentro do conceito de cidades inteligentes e sustentáveis.

Portanto, os trabalhos futuros devem buscar não apenas o aprimoramento

técnico e material do piso piezoelétrico, mas também sua aplicação prática em ambientes reais, de forma a consolidar esta tecnologia como uma solução viável e inovadora para a geração de energia limpa.

## REFERÊNCIAS

CHAVES, Isaque Daniel et al. ***Piezoelectric as an alternative energy source for smart cities: an exploratory approach***. 2022a. [s. l.], 2022. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/629756458>. Acesso em: 27 maio 2025.

CHAVES, Isaque Daniel et al. ***Piezoelectric as an alternative energy source for smart cities: an exploratory approach***. Exacta, [s. l.], 2022b. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/629756458>. Acesso em: 16 jun. 2025.

CHAVES, Isaque Daniel. ***Piezoelétrico como fonte alternativa de energia para cidades inteligentes: uma pesquisa exploratória***. 2021. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/26556/1/piezoelétricosmartcity.pdf>. Acesso em: 27 maio 2025.

REZENDE, Ludmila Mecias. ***Geração de energia através da piezoeletricidade***. 2020. [s. l.], 2020. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/1510/1/Ludmila%20Mecias%20de%20Rezende.pdf>. Acesso em: 27 maio 2025.

MACHADO, Anderson Felipe et al. ***PISO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ELECTRICAL ENERGY GENERATION FLOOR***. [s. d.]. [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/616983873>. Acesso em: 27 maio 2025.

MOTA, Bruno Cavalcante et al. ***Um estudo preliminar da piezoeletricidade como fonte renovável de energia aplicada aos pavimentos do Colégio Militar de Fortaleza. Revista Tecnologia***, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 12, 2022. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/70595/1/2022\\_art\\_sheabarroso.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/70595/1/2022_art_sheabarroso.pdf). Acesso em: 16 jun. 2025.

MOTA, Bruno Cavalcante; BARROSO, Suely Helena de Araújo. ***O uso do pavimento para geração de energia e desenvolvimento sustentável de cidades inteligentes***. 2021. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://anpet.emnuvens.com.br/anpet/article/view/2380/897>. Acesso em: 27 maio 2025.

PERLINGEIRO, Antônio Ramos; PIMENTA, Gilberto Maia; SILVA, Salviano Evaristo da. ***CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA-CEFET/RJ GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS***. [S. l.: s. n.], 2016.

PIRES, Rômulo Mourão; OLIVEIRA, Aguinaldo Soares de; HAYAMA, Alexandra de Oliveira França. **Simulação da piezoelectricidade induzida por fluxo de ar para geração de energia elétrica limpa**. 2024. e2948 f. [s. l.], 2024. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/2948/1712>. Acesso em: 27 maio 2025.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 3. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2009. 95 – 96 p.