

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LEANDRO GONÇALVES XAVIER

VALTER DE LIMA ANTONIO

**PROJETO DE DISPOSITIVO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA POR EFEITO
PIEZOELÉTRICO A PARTIR DE PARÂMETROS DERIVADOS DE ÔNIBUS
URBANOS ELÉTRICOS**

CURITIBA

2022

LEANDRO GONÇALVES XAVIER
VALTER DE LIMA ANTONIO

**PROJETO DE DISPOSITIVO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA POR EFEITO
PIEZOELÉTRICO A PARTIR DE PARÂMETROS DERIVADOS DE ÔNIBUS
URBANOS ELÉTRICOS**

**Device design for energy generation through piezoelectric effect derived from
urban electric buses parameters**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Carlos Cziulik, Ph.D.

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LEANDRO GONÇALVES XAVIER

VALTER DE LIMA ANTONIO

**PROJETO DE DISPOSITIVO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA POR EFEITO
PIEZOELÉTRICO A PARTIR DE PARÂMETROS DERIVADOS DE ÔNIBUS
URBANOS ELÉTRICOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22 de junho de 2022

Carlos Cziulik, Ph.D.

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Adriano Araújo Lima, M.Sc

Mestre

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Nilton Luiz Cararo, M.Sc

Mestre

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2022

AGRADECIMENTOS

A Deus por todo conhecimento e sabedoria que atribui a nós e pela força que nos deu para vencer as batalhas diárias durante nossa formação.

Aos nossos familiares por sempre nos apoiarem e nunca terem desistido de nós durante nosso ciclo de vida e principalmente durante nosso ciclo na universidade.

Ao professor Carlos Cziulik por nos orientar e incentivar a entregar um excelente trabalho de conclusão de curso.

A todos os funcionários e professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo suporte e estrutura oferecida para nossa formação.

A todos nossos colegas de universidade que nos apoiaram durante nossa jornada no curso de engenharia mecânica.

Desejamos a todos nosso muito obrigado!

RESUMO

A demanda por energia elétrica em todo o mundo apresenta, no último século, um aumento constante e, com a introdução de veículos elétricos, levanta-se a questão de que, no futuro, esta tendência se mantenha. Por conta disso, diferentes métodos de geração de energia vêm sendo estudados ao longo das últimas décadas, com o foco da sustentabilidade cada vez mais presente nessas pesquisas. Neste sentido, um método que tem sido objeto de diversos estudos consiste na utilização do conceito de piezoelectricidade. Cristais piezoelétricos são materiais que, ao receber a aplicação de uma força, deformam-se e, devido a essa deformação, produzem uma diferença de potencial elétrico. Outra tendência de crescimento no século XXI se dá no sistema de transporte coletivo urbano. Devido à grande quantidade de pessoas que utilizam estes meios de transporte diariamente, observou-se uma oportunidade de se conduzir o projeto de um dispositivo para geração de energia elétrica por efeito piezoelétrico instalável em ônibus urbanos elétricos. Desta forma, o objetivo é caracterizar a operação de um ônibus urbano que utiliza motores elétricos a fim de se projetar um dispositivo que gere energia elétrica e a forneça ao ônibus, além de analisar a viabilidade do dispositivo nesse tipo de aplicação. Para o projeto, foi empregada a metodologia Pahl *et al* (2007), utilizada para desenvolvimento de projetos de engenharia. Para a etapa de referencial teórico, fez-se necessário o levantamento de conceitos básicos de eletricidade, fontes de energia elétrica e de cristais piezoelétricos, com exemplos de aplicações já empregadas e estudadas. Foram levantados dados de operação de ônibus urbanos, além das normas para a construção destes no Brasil. Para o projeto informacional, foram realizadas entrevistas com funcionários de uma montadora de chassis de ônibus híbridos e elétricos para levantamento das necessidades dos clientes e das demandas atuais nesta área. Posteriormente, foram realizadas as devidas adequações de linguagem de engenharia, assim obtendo-se os requisitos do projeto. A partir destes requisitos, foi utilizada a ferramenta da casa da qualidade para saber quais são as necessidades com maior importância para o projeto. Após a obtenção das informações, foram geradas as especificações do produto com o intuito de objetivar as metas de cada necessidade. Com os dados, foi realizado o projeto conceitual para estruturar as funções do dispositivo e resultar em um *layout* de solução. Em seguida, foi realizado o projeto preliminar para descobrir os propagadores de restrição, definir as premissas e componentes do projeto em conjunto com a concepção dimensionada em *software* CAD. Com os componentes e desenho definido, foi construído um protótipo com o objetivo de colher dados do desempenho do dispositivo. Por fim, após a realização dos testes, o presente trabalho constata que o dispositivo é funcional. Porém, os resultados apresentados demonstram que a utilização de cristais piezoelétricos comerciais não é viável. São necessários, portanto, aprimoramentos na estrutura físico-química dos materiais piezoelétricos.

Palavras-chave: piezoelétrico; ônibus elétrico; ônibus híbrido; fontes de energia; energia elétrica.

ABSTRACT

The demand for electric energy all over the world has shown a constant increase in the last century and, with the introduction of electric vehicles, the question arises that, in the future, this trend will continue. Therefore, different methods of energy generation have been studied over the last decades, with the focus on sustainability increasingly present in these researches. In this regard, a method that has been the object of several studies is the use of the concept of piezoelectricity. Piezoelectric crystals are materials that, upon receiving the application of a force, deform and, due to this deformation, produce an electric potential difference. Another growth trend in the 21st century takes place in the urban public transport system. Due to the large number of people who use these means of transport around the world daily, an opportunity arises to conduct a project for a device for generating electrical energy by piezoelectric effect that can be assembled in electric urban buses. In this way, the objective is to characterize the operation of an urban bus that uses electric motors in order to design a device that generates electrical energy and supplies this energy to the bus, in addition to analyzing the feasibility of the device in this type of application. For the design stage, the Pahl *et al* (2007) methodology, used for the development of engineering projects, was adopted. For the theoretical reference stage, it is necessary to introduce basic concepts of electricity, electrical energy sources and piezoelectric crystals, with examples of already used and studied applications. Data on the operation of urban buses were collected, in addition to the norms for building urban buses in Brazil. For the informational project, interviews were conducted with employees of a hybrid and electric urban bus chassis assembler company, in order to identify customer needs and current demands in this area. Subsequently, the appropriate engineering language adjustments were carried out, thus obtaining the project requirements. Based on these requirements, the quality house tool was used to catch on to which needs are the most important ones for the project. After obtaining the information, product specifications were generated in order to target the goals of each need. With the collected data, the conceptual design was made to structure the device functions and result in a solution layout. Then, the preliminary design was developed to discover the constraint propagators, define the premises and components of the project together with the dimensioned design in a CAD software. With the components and design defined, a prototype was built in order to collect data on the performance of the device. Finally, after carrying out the tests, the present work finds that the device is functional. However, the results presented reveal that the use of commercial piezoelectric crystals is not feasible. Therefore, improvements in the physical-chemical structure of piezoelectric materials are required.

Keywords: piezoelectric; electric bus; hybrid bus; energy sources; electricity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ônibus tipo Capabus	15
Figura 2 – Ônibus movido a bateria.....	15
Figura 3 – Ônibus híbrido	16
Figura 4 – Ônibus trólebus	16
Figura 5 - Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil.....	23
Figura 6 – Esquema de circuito com corrente elétrica (a) Fio de cobre em equilíbrio estático. (b) Introdução de uma bateria para haver uma diferença de potência e assim uma corrente elétrica (i).	26
Figura 7 – Relação de cristais piezoelétricos e subgrupos baseados na simetria	29
Figura 8 – Dipolos elétricos de material piezoelétrico: antes da aplicação de campo elétrico durante a aplicação de intenso campo elétrico externo e após a remoção do campo externo.....	30
Figura 9 – Cilindro de PZT submetido a carga mecânica	31
Figura 10 – Protótipo para captação de energia com pilhas piezoelétricas	32
Figura 11 – Estudo de aplicação de piezoelétricos em pneus	33
Figura 12 – Aplicação de PZT em suspensão veicular	34
Figura 13 – Matriz morfológica das proposições para ônibus elétricos	36
Figura 14 – Veículo de piso baixo.....	37
Figura 15 – Exemplo área S1 para passageiros em pé	39
Figura 16 – Exemplo de área ocupada para passageiros em pé.....	40
Figura 17 – Chapas de alumínio lavradas	42
Figura 18 – Piso de madeira de ônibus	42
Figura 19 – Revestimento de borracha para ônibus	43
Figura 20 – Revestimento Taraflex ou Ecoflex para ônibus	43
Figura 21 – Categoria das linhas de ônibus em Curitiba.....	45
Figura 22 – Distribuição de passageiros em 1 m ²	48
Figura 23 – Função global	62
Figura 24 – Estrutura funcional.....	63
Figura 25 – <i>Layout</i> da solução	66
Figura 26 - Cabo elétrico de cobre bitola 0,2mm ²	70
Figura 27 – LED amarelo/ vermelho Ø5mm 2V 20mA	71
Figura 28 – Ponte retificadora DF06 1A x 600V	72
Figura 29 – Pastilha piezoelétrica circular Ø35 mm	72
Figura 30 – Pastilha piezoelétrica conectada a um LED vermelho de 5 mm.....	73
Figura 31 – Pastilha piezoelétrica conectada a ponte retificadora e ao LED	74
Figura 32 – Esquema elétrico de uma pastilha piezoelétrica conectada a ponte retificadora e ao LED	75
Figura 33 – Capacitor eletrolítico circular de alumínio 100 µF x 25V.....	76
Figura 34 – Resistor elétrico 1000Ω 5% 1/4W	77
Figura 35 – Potenciômetro linear KB 16 mm 2000Ω eixo L20 sem chave Arsolcomp.....	78
Figura 36 – Placa fenolite perfurada 10x20 cm PP-D(PD-9).....	79

Figura 37 – Estação de solda Toyo TS-900	80
Figura 38 – Chave HH com três terminais com haste micro 180	80
Figura 39 – Barra de pinos BPSC-40 1X40 Metaltex.....	81
Figura 40 – Conector <i>header</i> para PCI MCS-40 1x40 Metaltex	82
Figura 41 – Multímetro digital Minipa ET-2040.....	83
Figura 42 – Multímetro Digital Multi Meter DT-830B.....	84
Figura 43 – Posição de instalação inicial (não deformada) da mola helicoidal .	86
Figura 44 – Posição de instalação final (deformada) da mola helicoidal	86
Figura 45 – Representação em 3D da estrutura principal.....	88
Figura 46 – Representação em 3D da tampa de impacto.....	89
Figura 47 – Representação em 3D do dispositivo com as tampas de impacto abertas	89
Figura 48 – Representação em 3D do dispositivo com as tampas de impacto fechadas.....	90
Figura 49 – Representação do dispositivo instalado na porta de entrada e no piso do assento de um ônibus.....	91
Figura 50 – Representação do dispositivo instalado na porta de entrada de um ônibus com um passageiro pisando nele.	91
Figura 51 – Representação do dispositivo instalado na porta de entrada de um ônibus com um passageiro pisando nele.	92
Figura 52 – Instalação dos cristais piezoelétricos na parte estrutural	95
Figura 53 – Alinhamento das peças de impacto nos cristais piezoelétricos	96
Figura 54 – Colagem da tampa de pisar com as peças de impacto.....	97
Figura 55 – Resultado da montagem do dispositivo de impacto.....	97
Figura 56 – Mini placa perfurada para teste de circuito misto	98
Figura 57 – Novo circuito elétrico de saída de energia dos cristais piezoelétricos	99
Figura 58 – Circuito eletrônico do projeto	100
Figura 59 – Projeto 3D da placa eletrônica do circuito	100
Figura 60 – Placa eletrônica com os componentes soldados.....	101
Figura 61 – Placa eletrônica com os componentes soldados.....	102
Figura 62 – Protótipo do dispositivo de geração de energia elétrica por efeito piezoelétrico	103
Figura 63 – Teste de peso aproximado de um passo de uma pessoa.....	105
Figura 64 – Aferição de medidas para impacto	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Alturas e larguras internas.....	40
Tabela 2 – Altura do piso interno para embarque e desembarque	41
Tabela 3 – Medições de força peso	106
Tabela 4 – Resultados de tensão no capacitor e corrente no LED	107
Tabela 5 – Potência elétrica no capacitor (W).....	108
Tabela 6 – Resultados de tensão medida no LED e corrente elétrica teórica..	109
Tabela 7 – Potência elétrica no LED (W)	109
Tabela 8 – Resultados de tensão no capacitor e corrente no LED	112
Tabela 9 – Potência elétrica no capacitor (W).....	113
Tabela 10 – Resultados de tensão medida no LED e corrente elétrica teórica	113
Tabela 11 – Potência elétrica no LED (W)	114
Tabela 12 – Custo para fabricação do dispositivo protótipo.....	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Benchmarking de dispositivos com tecnologia piezoelétrica	47
Quadro 2 – Necessidades dos clientes	55
Quadro 3 – Requisitos do produto	57
Quadro 4 – Casa da qualidade	59
Quadro 5 – Especificações do produto	60
Quadro 6 – Funções da estrutura funcional	64
Quadro 7 – Descrição dos componentes do layout da solução	67
Quadro 8 – Propagadores de restrição	68
Quadro 9 – Comparação modelo em CAD versus conjuntos montados	94
Quadro 10 – Validação das especificações do produto	118

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Apresentação do tema	14
1.2	Oportunidade	17
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivo geral	18
1.3.2	Objetivos específicos	18
1.4	Justificativa	19
1.5	Metodologia	19
1.6	Estrutura do trabalho	20
2	DEMANDAS ENERGÉTICAS, MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS E SISTEMA DE TRANSPORTE COLETIVO: CONTEXTO E CARACTERÍSTICAS	22
2.1.1	Demandas atuais de energia	22
<u>2.1.1.1</u>	<u>Fontes de energia não renováveis</u>	<u>23</u>
<u>2.1.1.2</u>	<u>Fontes de energia renováveis</u>	<u>23</u>
<u>2.1.1.3</u>	<u>Fontes de energia no setor de transporte</u>	<u>24</u>
2.2	Energia: Conceitos básicos	24
2.2.1	Energia elétrica	24
<u>2.2.1.1</u>	<u>Potencial elétrico ou tensão elétrica</u>	<u>24</u>
<u>2.2.1.1</u>	<u>Corrente elétrica</u>	<u>26</u>
<u>2.2.1.2</u>	<u>Resistência elétrica</u>	<u>27</u>
<u>2.2.1.3</u>	<u>Potência elétrica</u>	<u>27</u>
2.3	Materiais piezoelétricos	28
2.3.1	Fundamentos de piezoelétricos	29
2.3.2	Aplicações de piezoelétricos para geração de energia elétrica	31
<u>2.3.2.1</u>	<u>Aplicações de piezoelétricos em infraestruturas</u>	<u>31</u>
<u>2.3.2.2</u>	<u>Aplicações de piezoelétricos em veículos</u>	<u>33</u>
2.4	Sistema de transporte coletivo	34
2.4.1	Transporte coletivo urbano	34
<u>2.4.1.1</u>	<u>Norma para fabricação de veículos de transporte coletivo</u>	<u>35</u>
<u>2.4.1.2</u>	<u>Ônibus urbanos tipo <i>Padron</i></u>	<u>35</u>
<u>2.4.1.3</u>	<u>Ônibus urbanos elétricos</u>	<u>35</u>
<u>2.4.1.4</u>	<u>Tipos de Pisos de ônibus</u>	<u>36</u>

2.4.2	Sistema de transporte coletivo urbano em Curitiba.....	44
2.5	Benchmarking de dispositivos com tecnologia piezoelétrica	46
2.5.1	Análise do <i>benchmarking</i>	46
2.6	Análise de implementação com placas piezoelétricas comerciais... 48	
2.6.1	Cálculos	48
2.6.2	Conclusões da análise de implementação com placas comerciais.....	50
2.7	Análise dos requisitos para aplicação em conjuntos dinâmicos	51
2.8	Caracterização da oportunidade.....	52
3	PROJETO INFORMACIONAL	54
3.1	Levantamento das necessidades dos clientes.....	54
3.1.1	Técnica utilizada para obter informações e descrição dos clientes.....	54
3.1.2	Necessidades dos clientes.....	55
3.2	Requisitos do produto	56
3.3	Casa da qualidade.....	57
3.4	Especificações do produto	58
3.5	Resultados do projeto informacional	61
4	PROJETO CONCEITUAL	62
4.1	Função global.....	62
4.2	Estrutura funcional	63
4.3	Geração de soluções	63
4.3.1	Função 1: utilizar peso para deformação do dispositivo.....	64
4.3.2	Função 2: armazenar componentes elétricos	65
4.3.3	Função 3: aterrar circuito elétrico	65
4.3.4	Função 4: gerar energia elétrica	65
4.3.5	Função 5: ajustar corrente e tensão.....	65
4.3.6	Função 6: armazenar energia elétrica.....	66
4.4	Layout da solução.....	66
4.5	Considerações sobre a solução obtida.....	67
5	PROJETO PRELIMINAR	68
5.1	Propagadores de restrição.....	68
5.1.1	Características do dispositivo de impacto	68
5.1.2	Fuga de corrente	69
5.1.3	Componentes comerciais.....	69
5.2	Premissas do projeto.....	69
5.3	Definição dos componentes	70

5.3.1	Componentes elétricos.....	70
5.3.1.1	<u>Cabo elétrico de cobre com bitola de 0,2 mm².....</u>	<u>70</u>
5.3.1.2	<u>LED amarelo/ vermelho Ø5mm 2V 20mA.....</u>	<u>71</u>
5.3.1.3	<u>Ponte retificadora DF06 1A x 600v</u>	<u>71</u>
5.3.1.4	<u>Pastilha piezoelétrica circular Ø35 mm.....</u>	<u>72</u>
5.3.1.5	<u>Capacitor eletrolítico circular de alumínio 100µF x 25V;.....</u>	<u>75</u>
5.3.1.6	<u>Resistor elétrico 1000Ω 5% 1/4W</u>	<u>76</u>
5.3.1.7	<u>Potenciômetro linear KB 16 mm 2000Ω eixo L20 sem chave</u>	<u>77</u>
5.3.1.8	<u>Placa fenolite perfurada 10x20 cm PP-D (PD-9).....</u>	<u>78</u>
5.3.1.9	<u>Estação de solda Toyo TS-900.....</u>	<u>79</u>
5.3.1.10	<u>Chave HH com três terminais com haste micro 180</u>	<u>80</u>
5.3.1.11	<u>Barra de pinos BPSC-40 1x40 Metaltex</u>	<u>81</u>
5.3.1.12	<u>Conector header para PCI MCS-40 1x40 Metaltex.....</u>	<u>82</u>
5.3.1.13	<u>Multímetro digital Minipa ET-2040</u>	<u>82</u>
5.3.1.14	<u>Multímetro Digital Multi Meter DT-830B</u>	<u>83</u>
5.3.2	Componentes estruturais e mecânicos	84
5.3.2.1	<u>Madeira MDF</u>	<u>84</u>
5.3.2.2	<u>Mola helicoidal 3110</u>	<u>85</u>
5.4	Concepção dimensionada	87
5.4.1	Estrutura.....	87
5.4.2	Tampa e peças de impacto	88
5.4.3	Concepção completa.....	89
5.4.4	Concepção aplicada em ônibus urbano elétrico <i>Padron</i>	90
6	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO E TESTES PRELIMINARES	93
6.1	Estratégia de confecção	93
6.2	Conjuntos	93
6.3	Descrição das etapas de montagem do protótipo	94
6.3.1	Instalação dos cristais piezoelétricos na parte estrutural e soldagem dos cabos elétricos	95
6.3.2	Montagem do dispositivo de impacto dos cristais piezoelétricos	96
6.3.2.1	<u>Teste preliminar do dispositivo com circuito misto</u>	<u>98</u>
6.3.3	Soldagem dos componentes eletrônicos na placa perfurada.....	99
6.3.4	Conexão da placa eletrônica com os cabos elétricos dos cristais piezoelétricos	102
6.4	Conclusão da etapa de construção do protótipo	103
7	RESULTADOS	104

7.1	Metodologia para obtenção dos resultados	104
7.2	Metodologia 1 - Resultados obtidos pelo método de passos	104
7.2.1	Medição da força de um passo	105
7.2.2	Medição de tensão e corrente elétrica pela metodologia 1	106
7.2.3	Medição de tensão elétrica no capacitor, corrente elétrica no LED e cálculo de potência elétrica no capacitor pela metodologia 1	107
7.2.4	Medição de tensão elétrica no LED, corrente elétrica teórica no LED e cálculo de potência elétrica no LED pela metodologia 1	108
7.3	Metodologia 2 - Resultados obtidos pelo método de impacto de uma força vertical determinada	110
7.3.1	Medição da massa para impacto	110
7.3.2	Medição de tensão e corrente elétrica pela metodologia 2	111
7.3.3	Medição de tensão elétrica no capacitor, corrente elétrica no LED e cálculo de potência elétrica no capacitor pela metodologia 2	112
7.3.4	Medição de tensão elétrica no LED, corrente elétrica medida no LED e cálculo de potência elétrica no LED pela metodologia 2	113
7.3.5	Discussão dos resultados	114
7.3.6	Custo da fabricação do dispositivo protótipo	115
7.3.7	Viabilidade para aplicação em um ônibus urbano elétrico tipo <i>Padron</i> .	115
7.3.8	Validação das especificações do produto	117
7.4	Vídeo demonstrativo do funcionamento do protótipo	119
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	120
8.1	Conclusão	120
8.2	Recomendações para trabalhos futuros	121
	REFERÊNCIAS	123
	APÊNDICE A – ENTREVISTA COM DIRETOR 1	132
	APÊNDICE B – ENTREVISTA COM DIRETOR 2	137
	APÊNDICE C – ENTREVISTA COM GERENTE	142
	APÊNDICE D – DESENHO DO DISPOSITIVO	147
	ANEXO A – PATENTES	151

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

A cada dia que passa gerar energia elétrica se torna mais difícil e é extremamente importante buscar novas formas de produzir de energia para garantir um futuro mais econômico, sustentável e facilitado para todo o planeta. Com novas tecnologias sendo criadas a todo instante, tem-se um aumento na demanda por energia elétrica e, principalmente, por energia elétrica “limpa”. Ou seja, com baixa ou nula emissão de poluentes e sem agredir o meio ambiente.

Com a criação e introdução de veículos elétricos no mundo todo, essa demanda por energia elétrica pode não ser suprida pelos fornecedores. Porém, com os avanços da tecnologia, isso tende a mudar. O mundo possui uma grande quantidade de métodos para geração de energia elétrica como por exemplo as hidrelétricas, termelétricas, nucleares, fotovoltaicas, eólicas, entre outros. Uma dessas formas é a utilização do conceito de piezoelectricidade. Esse método consiste na utilização de cristais que geram energia elétrica devido à sua deformação mecânica, sendo considerados cogeradores de energia, ou seja, são empregados para suplementar as fontes de energia elétrica principais.

Dentre os vários tipos de veículos elétricos que estão sendo criados no mundo, há os ônibus elétricos. De acordo com Novo Varejo (2020) no continente europeu e asiático os ônibus elétricos estão começando a substituir os ônibus movidos por motores de combustão interna, enquanto nos países da América do Norte e América Latina estão começando a ser testados. Em 2019, 99% dos ônibus elétricos com bateria do mundo foram implantados na China, sendo mais de 421.000 ônibus circulando, representando 17% da frota total de ônibus da China. Nos EUA tinham 300 e a Europa possuía 2.250 ônibus elétricos.

Existem vários tipos de ônibus elétricos, sendo os mais conhecidos o tipo Capabus, que são ônibus com um ultra capacitor que necessitam de captação de energia a cada 4,8 quilômetros por um ponto de carregamento que pode se situar nos pontos de ônibus conforme Figura 1.

Figura 1 – Ônibus tipo Capabus



Fonte: Chabilan (2018).

Existem os do tipo por baterias elétricas no qual se obtém energia elétrica proveniente das baterias elétricas situadas dentro do ônibus conforme Figura 2.

Figura 2 – Ônibus movido a bateria



Fonte: Castellano (2018).

Existe o tipo híbrido, apresentado na Figura 3, que compreende veículos híbridos de força motriz que combinam a utilização de um sistema de propulsão utilizando energia elétrica situado em baterias e a outra por um motor de combustão interna convencional com queima de combustível fóssil.

Figura 3 – Ônibus híbrido

Fonte: Cornelsen (2012).

Outro ônibus elétrico conhecido é o do tipo trólebus, que são ônibus alimentados por uma catenária de dois cabos superiores a partir da qual recebe a energia elétrica mediante duas hastes conforme Figura 4.

Figura 4 – Ônibus trólebus

Fonte: Lobo (2020).

A autonomia de um ônibus elétrico com fonte de energia por bateria elétrica varia de fabricante para fabricante, mas, em média, é de 250km e leva de duas a três horas para a recarga total das baterias em carregamentos DC (Direct Current – corrente contínua) especiais de alta potência.

1.2 Oportunidade

Sistemas de geração de energia utilizando cristais piezoelétricos têm sido utilizados em inúmeras áreas. Sistemas mecânicos que utilizam fluidos, como, por exemplo, ventiladores, hélices de navios, sistemas de próteses ou implantes humanos, sistemas de infraestruturas como pontes, calçadas, sistemas veiculares como suspensões e pneus e muitos outros, já começam a ter estudos voltados para a aplicação de cristais piezoelétricos, pois todos esses sistemas demandam algum tipo de carregamento elétrico (ANTON; SODANO; SAFAEI, 2019).

A introdução de ônibus elétricos em todo o mundo está em franca expansão. Porém sua autonomia ainda é muito baixa além de o tempo de recarga das baterias ser muito elevado, o que inviabiliza a aplicação desse tipo de tecnologia em muitas situações em um sistema de transporte coletivo urbano.

Conforme Bazani (2020) o SPTrans – São Paulo Transporte, é o maior sistema de ônibus da América Latina tanto em frota quanto em número de passageiros. A linha mais longa da cidade de São Paulo possui 78,3 km de extensão nos dois sentidos, tendo um tempo estimado de viagem de 197 minutos na ida e 186 minutos na volta, no período entre pico. O percurso diário médio de um ônibus em novembro de 2019 na cidade de São Paulo foi de 196 km. A frota total gerenciada pela SPTrans é de 14.075 veículos.

Em janeiro de 2020 a quilometragem programada de rodagem para a frota de ônibus diesel do tipo *Padron*¹ com ar condicionado na cidade de São Paulo foi de 12.761.225 km, o índice de consumo (l/km) foi de 0,63, o preço do combustível era de R\$ 3,295, sendo assim, resultando em um custo por quilometro rodado (R\$/km) de R\$ 2,0838. Isso resultou em um gasto mensal energético de R\$ 26.592.329 (BAZANI, 2020).

Por outro lado, para a frota de ônibus elétricos a quilometragem mensal programada de rodagem foi de 61.705 km, o índice de consumo de combustível foi de 1,5, o custo do combustível (energia elétrica) de era de R\$ 0,45, gerando um custo por quilômetro rodado de R\$ 0,6750. Como resultado o gasto de energia elétrica de um ônibus elétrico movido a bateria foi de R\$ 41.651 (BAZANI, 2020).

¹ Ônibus tipo *Padron*: veículo com capacidade para acomodar em torno de 32 passageiros sentados, dotado de três portas, sendo uma para embarque e duas para desembarque, com vão mínimo de 1100 mm de largura. SÃO PAULO (2014).

A economia gerada pelos ônibus elétricos comparada a um ônibus convencional é enorme. A grande desvantagem do ônibus elétrico movido a bateria fica na baixa autonomia e na dificuldade de recarga rápida das mesmas.

Em novembro de 2019, a quantidade média de passageiros que um ônibus transportava por dia na cidade de São Paulo era de 717 passageiros em dias úteis (BAZANI, 2020).

Essa capacidade de passageiros levados pelos ônibus urbanos diariamente pode ser aproveitada de forma eficaz. Devido ao intenso movimento de passageiros dentro dos ônibus urbanos há uma grande oportunidade de geração de energia elétrica utilizando o peso dessas pessoas. Além disto, há a tendência da substituição de ônibus movido por combustíveis fósseis por elétricos, o que conduz a uma possibilidade interessante de estudo.

Com todo o contexto apresentado, notou-se uma oportunidade de geração de energia elétrica com tecnologia piezoelétrica em ônibus elétricos urbanos em operação utilizando o movimento dos próprios usuários.

1.3 Objetivos

Nesta seção serão determinados o objetivo geral e os objetivos específicos, com suas respectivas justificativas, que servirão de base para o desenvolvimento do projeto.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho é desenvolver o projeto e protótipo de dispositivo modular com capacidade de geração de energia elétrica por efeito piezoelétrico para respectivo estudo da viabilidade de sua instalação em ônibus urbanos elétricos.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral do presente trabalho, são necessários os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar as condições de operação de um ônibus urbano tipo *Padron* elétrico considerando a frequência de passageiros que o utilizam, suas características físicas e o tempo de operação de um ônibus urbano tipo *Padron* elétrico;
- b) Caracterizar a viabilidade de uso de sistemas piezoelétricos em conjuntos dinâmicos.
- c) Examinar a viabilidade tecnológica do emprego de um meio alternativo de geração de energia elétrica para ônibus elétricos através de um dispositivo modular com cristais piezoelétricos em transportes públicos urbanos;

1.4 Justificativa

A necessidade de uma solução para a oportunidade em questão torna-se relevante em função dos seguintes aspectos:

- a) Ampliar autonomia de rodagem de ônibus elétricos urbanos;
- b) Auxiliar na redução da emissão de gases de um sistema de transporte público urbano;
- c) Avaliar o comportamento do conjunto nesse tipo de aplicação, devido à inexistência de placas comerciais piezoelétricas aplicadas em pisos de veículos automotivos.

1.5 Metodologia

Para a concepção da solução e realização da proposta será utilizado o método baseado na estrutura apresentada por Pahl *et al.* (2007), com as adaptações necessárias para o projeto. As etapas de elaboração do projeto são resumidas a seguir:

- a) Projeto informacional: na primeira etapa são realizadas pesquisas e coletas de informações com o objetivo de conhecer os requisitos que deverão ser

atendidos pelo produto, restrições de projeto e alternativas existentes no mercado para solução do problema;

- b) Projeto conceitual: etapa em que se analisam os dados obtidos na fase anterior do projeto e inicia-se a elaboração de possíveis soluções para o problema com auxílio de técnicas metodológicas com objetivo de obter a solução mais pertinente ao projeto;
- c) Projeto preliminar: com base em critérios técnicos é desenvolvido o projeto preliminar da solução obtida na etapa anterior;
- d) Projeto detalhado: Etapa em que é apresentada a versão final do produto desenvolvido, de forma detalhada, com especificações de dimensões, materiais, custos e demais informações convenientes à produção do protótipo;
- e) Construção e testes do protótipo: etapa em que é construído o protótipo e são realizados os testes pertinentes de forma a validar o produto ou, se necessário, evidenciar os problemas da solução para revisão do projeto. O objetivo final desta fase é apresentar um dispositivo funcional que atenda aos critérios avaliados ao decorrer do desenvolvimento do projeto.

1.6 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é dividido em oito capítulos. O primeiro capítulo trata das disposições iniciais, apresentação do tema, oportunidade, objetivos, justificativa e metodologia utilizada ao longo do projeto.

O Capítulo 2 apresenta conceitos básicos a respeito dos temas principais do trabalho, introduzindo de forma breve informações sobre formas de energia, demandas energéticas, piezoelétricos, sistema de transporte urbano e, por fim, um estudo de *benchmarking* sobre as alternativas atuais e a caracterização da oportunidade observada com as pesquisas.

No terceiro capítulo são realizadas entrevistas com os clientes, e, posteriormente, são utilizadas técnicas da metodologia de Pahl *et al* (2007) para organizar a estrutura do projeto com base nas informações obtidas.

No quarto capítulo são apresentadas as etapas do projeto conceitual como função global, estrutura funcional e geração da solução de concepção com suas funções descritas. Com essas informações é possível gerar um *layout* de solução.

No quinto capítulo é realizada a etapa de projeto preliminar, onde são apresentados os propagadores de restrição, as premissas do projeto, a definição dos componentes elétricos, mecânicos e estruturais e a concepção dimensionada em CAD.

No Capítulo 6 é apresentada a construção do protótipo dimensionado, assim como os testes preliminares realizados pela equipe.

No sétimo capítulo são apresentadas as metodologias para obtenção de resultados, os dados colhidos pelo dispositivo protótipo. Nesse capítulo também é feita a discussão dos resultados e apresentado os custos de fabricação e o estudo de viabilidade técnica e econômica do projeto. Após isso é validado os itens das especificações do produto.

Por fim, no Capítulo 8 são apresentadas as conclusões do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

2 DEMANDAS ENERGÉTICAS, MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS E SISTEMA DE TRANSPORTE COLETIVO: CONTEXTO E CARACTERÍSTICAS

Este capítulo tem como objetivo examinar alguns conceitos e análises que servirão de base para o desenvolvimento do projeto. Inicialmente são apresentadas algumas análises sobre o contexto atual das demandas energéticas globais, com dados das principais fontes de energia utilizadas atualmente, com ênfase à piezoeletricidade e alguns de seus fundamentos. Então, discute-se o contexto do transporte urbano coletivo, com destaque para sua realização na cidade de Curitiba e região metropolitana e a utilização de veículos elétricos. Por fim, introduz-se um estudo de *benchmarking* para melhor entendimento das respostas apresentadas atualmente para problemas semelhantes ao identificado na oportunidade.

2.1.1 Demandas atuais de energia

Atualmente, muitas atividades realizadas pelo ser humano necessitam de fornecimento de energia para seu funcionamento. Essa energia pode ser gerada por meio de diversas fontes e com diferentes técnicas. De acordo com estudos estatísticos realizados pela empresa do setor de energia BP, entre os anos de 1965 e 2019 o consumo de energia global tem um crescimento de mais de 260%, fato que vem acompanhado de um grande crescimento na utilização de fontes não renováveis, com destaque para petróleo, carvão mineral, gás natural (BP, 2021). Essas fontes de energia são responsáveis por 99,32% da emissão de CO₂ na atmosfera, compreendiam, em 2018, segundo estudo realizado pela *International Energy Agency* (IEA), por cerca de 81% da matriz energética mundial (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

O Brasil, por outro lado, apresenta uma matriz energética com presença significativamente maior de fontes renováveis de energia. O relatório do Balanço Energético nacional de 2021, com ano base 2020, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao ministério de Minas e Energia, mostrou que atualmente as fontes de energia não renováveis compreendem 55% da matriz energética do país (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021).

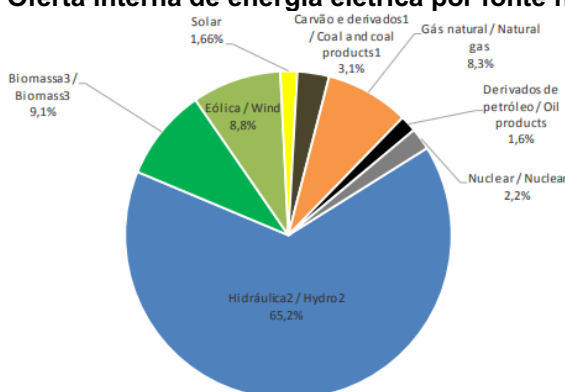
2.1.1.1 Fontes de energia não renováveis

Atualmente, as fontes de energia não renováveis representam a maior parte da geração de energia global. Essas fontes compreendem principalmente gás natural, carvão mineral, petróleo e seus derivados. Por serem danosas ao meio ambiente, muitos países estão buscando reduzir o uso dessas formas de geração de energia. Segundo Welsby *et al.* (2021), para que haja uma chance de 50% do planeta não atingir mais do que 1,5°C de aquecimento até 2050, seria necessário que, dentre as reservas conhecidas até 2018, 58% do petróleo, 59% do gás natural e 89% do carvão mineral não fosse extraído (WELSBY *et al.*, 2021).

2.1.1.2 Fontes de energia renováveis

Como alternativa menos agressiva ao meio ambiente, as fontes renováveis de energia vêm se tornando cada dia mais presentes e foco de investimentos em todo o mundo. No Brasil, segundo a EPE, as principais fontes de energia renováveis já representam, conforme a Figura 5, mais de 84% da oferta de energia elétrica do país (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021).

Figura 5 - Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2021).

Pode-se concluir, então que, desses 84%, cerca de 65% são compostos pela oferta hidrelétrica, 9,1% de biomassa, 8,8% de geração eólica e 1,66% solar.

2.1.1.3 Fontes de energia no setor de transporte

Apesar da matriz energética do Brasil ter percentuais de fontes renováveis significativamente maiores que a média global, esse quadro se deve, principalmente, à matriz elétrica do país, na qual as usinas hidrelétricas compreendiam, em 2020, segundo balanço energético nacional, realizado pela EPE, cerca de 65% da oferta de energia para o setor elétrico (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021).

No setor de transportes, no entanto, as fontes renováveis ainda não tem grande relevância, por conta da baixa demanda por parte do mercado. Dados da Federação Nacional dos Distribuidores de Veículos Automotores (Fenabrave) demonstram que, em 2020, houve 1.950.889 emplacamentos de automóveis e comerciais leves no Brasil (FENABRAVE, 2020). Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), nesse período foram vendidas 19.745 novas unidades entre veículos híbridos e veículos elétricos 100% a bateria, considerando-se apenas automóveis e comerciais leves. Isso representa cerca de 1% do total de emplacamentos no ano, o que demonstra uma evolução em relação a anos anteriores, mas que ainda não abrange parte significativa da demanda energética do setor (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO, 2021).

2.2 Energia: conceitos básicos

Segundo Halliday *et al.* (2008) a energia pode ser definida, tecnicamente, como “uma grandeza escalar associada ao estado de um ou mais objetos”. Algumas das formas nas quais essa propriedade pode se manifestar são apresentadas nas próximas seções (HALLIDAY *et al.*, 2008, p. 153).

2.2.1 Energia elétrica

2.2.1.1 Potencial elétrico ou tensão elétrica

Para definir potencial elétrico ou tensão elétrica (V), é necessário saber calcular a energia potencial elétrica (U). A energia potencial é o valor oposto ao

trabalho (W) (HALLIDAY *et al*, 2016), conforme equação (1). A unidade de medida pelo SI é o joule (J).

$$U = -W \quad (1)$$

Com a energia potencial definida é possível calcular o potencial elétrico ou a tensão elétrica (V) em um ponto P devido a um campo elétrico produzido por um objeto carregado (HALLIDAY *et al*, 2016), conforme equação (2). A unidade de medida pelo SI é o volt (V).

$$V = \left(\frac{-W}{qo} \right) = \left(\frac{U}{qo} \right) \quad (2)$$

Onde W é o trabalho, U é a energia potencial e qo é a carga de prova positiva.

Caso uma partícula de carga (q) seja colocada em um ponto onde o potencial elétrico de um objeto carregado é V , a energia potencial é dada conforme equação (3) (HALLIDAY *et al*, 2016),

$$U = q * V \quad (3)$$

Conforme a lei de conservação de energia mecânica, caso uma partícula atravessasse uma região onde se tenha uma variação de energia potencial elétrica ΔU enquanto é também submetida a uma força externa que realiza um trabalho (W_{ext}) a variação de energia cinética ΔK é dada pela equação (4) (HALLIDAY *et al*, 2016).

$$\Delta K = q * \Delta V + W_{ext} \quad (4)$$

O trabalho realizado por uma força externa pode ser positivo, negativo ou nulo e a energia do sistema pode aumentar, reduzir ou se manter constante. No caso de a variação de energia cinética $\Delta K = 0$, o trabalho externo é apenas envolvido com o movimento da partícula na presença de uma diferença de potencial, conforme equação (5) (HALLIDAY *et al*, 2016).

$$W_{\text{ext}} = q * \Delta V \quad (5)$$

2.2.1.1 Corrente elétrica

Corrente elétrica é o estudo de como as cargas, ou seja, partículas carregadas (q), se movimentam em uma superfície. Para que exista corrente elétrica, é necessário que haja um fluxo líquido de cargas através da superfície (HALLIDAY *et al*, 2016).

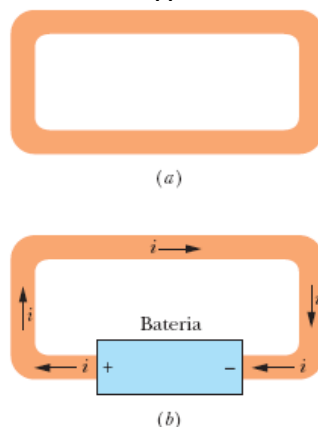
O cálculo da corrente elétrica (i) de um circuito é dado pela divisão de uma variação de carga positiva (dq) por uma variação de tempo (dt) conforme a equação (6) (HALLIDAY *et al*, 2016).

$$i = \left(\frac{dq}{dt} \right) \quad (6)$$

A unidade no SI é o ampère (A) que é igual a 1 coulomb por segundo (C/s).

Em um circuito fechado é necessário que o material dos fios do circuito sejam materiais condutores como o cobre. Assim as cargas conseguem se locomover até uma bateria (pois há uma diferença de potencial) por exemplo, conforme Figura 6 (HALLIDAY *et al*, 2016).

Figura 6 – Esquema de circuito com corrente elétrica (a) Fio de cobre em equilíbrio estático. (b) Introdução de uma bateria para haver uma diferença de potência e assim uma corrente elétrica (i).



Fonte: HALLIDAY *et al* (2016).

2.2.1.2 Resistência elétrica

Quando é aplicada uma mesma diferença de potencial em duas barras com dimensões iguais, porém com materiais diferentes, obtêm-se resultados diferentes de corrente elétrica. A resistência elétrica (R) é a forma de determinar essa diferença (HALLIDAY *et al*, 2016). A unidade no SI é o volt por ampère (V/A), ou seja, o ohm (Ω). Para obter a resistência de um material, utiliza-se a equação (7).

$$R = \left(\frac{V}{i}\right) \quad (7)$$

A resistência (R) de um fio condutor de comprimento L e seção reta uniforme, com A sendo a área da seção e ρ é a resistividade do material (HALLIDAY *et al*, 2016), é dada pela equação (8).

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (8)$$

2.2.1.3 Potência elétrica

Potência elétrica (P) ou taxa de transmissão de energia é dada por um componente que conduz uma corrente (i), submetido a uma diferença de potencial (V) (HALLIDAY *et al*, 2016) conforme equação (9).

$$P = i * V \quad (9)$$

Se o dispositivo, ou componente, for um resistor, a potência é dada pela equação (10) (HALLIDAY *et al*, 2016).

$$P = i^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (10)$$

A unidade no SI é o volt-ampère (V.A) mas também pode ser descrita por Joule por segundo (J/s) ou watts (W).

2.3 Materiais piezoelétricos

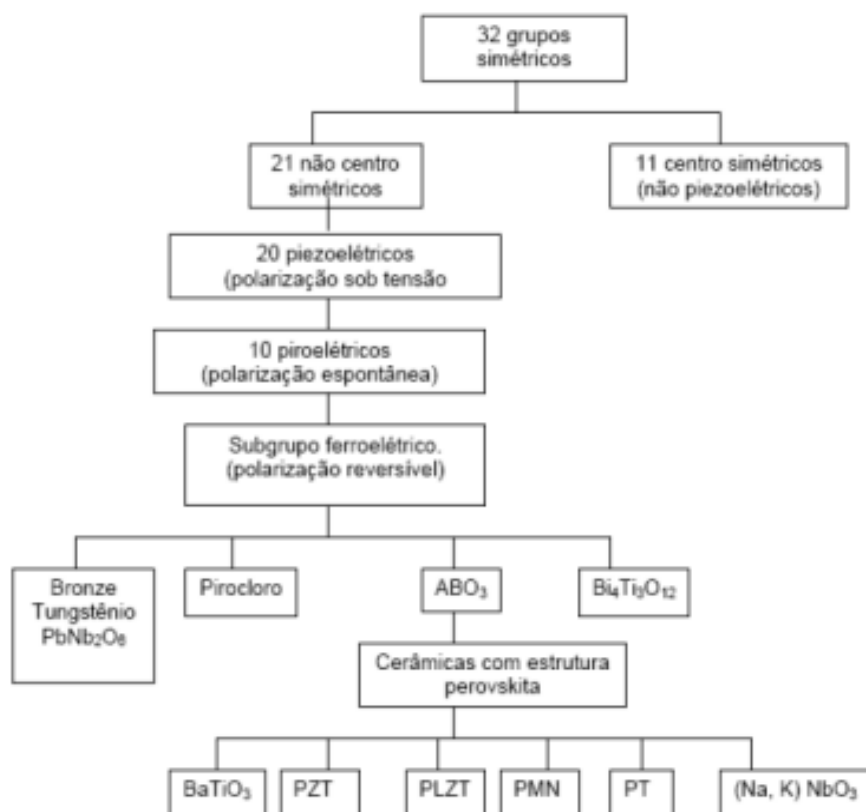
Materiais piezoelétricos produzem energia elétrica devido a uma deformação mecânica aplicada em cristais piezoelétricos. A palavra “piezo” vem do grego e significa “pressão” sendo definida por Cady (1964) como “a polarização elétrica produzida por uma deformação mecânica em certos cristais pertencentes a certas classes, sendo que a polarização é proporcional à deformação ao contrário” (CADY, 1964, p.4).

A piezoeletricidade foi descoberta pelos irmãos Pierre e Jacques Curie na França, em 1880 (CADY, 1964, p.6). O efeito piezoelétrico é apresentado em cristais, sendo que os irmãos Curie não haviam descoberto o efeito inverso que os cristais piezoelétricos podem proporcionar. Então Gabriel Lippmann em 1881 descobriu esse efeito devido às suas deduções tomando como base princípios termodinâmicos e pouco tempo depois os irmãos Curie confirmaram o efeito inverso, deixando evidente a reversibilidade de um acoplamento eletromecânico para as deformações em cristais piezoelétricos quantitativamente (CADY, 1964, p.6).

Da classe de 32 cristais de materiais apenas 20 cristais naturais podem gerar corrente elétrica quando é aplicada uma pressão mecânica (CADY, 1964, p.177). A Figura 7 apresenta a classificação desses cristais.

Os cristais naturais, como o quartzo, a turmalina, o sal de Rochelle, entre outros, apresentam o efeito piezoelétrico, porém possuem baixa intensidade. Foram desenvolvidos materiais como titanato de bário (BaTiO_3) e o titanato zirconato de chumbo (PZT) para melhorar essas propriedades (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2009, p. 1). As cerâmicas mais importantes atualmente são as que possuem estrutura “perovskita”.

Figura 7 – Relação de cristais piezoelétricos e subgrupos baseados na simetria



Fonte: Silva *et al.* (2009).

As cerâmicas piezoelétricas são acessíveis e oferecem bom acoplamento. Porém, são frágeis e possuem alta densidade. Os materiais de transdutor de coleta de energia piezoelétrica além de PZT são categorizados em cinco grupos, sendo eles o grupo dos monocristais piezoelétricos, piezoelétricos sem chumbo, piezoelétricos de alta temperatura, nanocompósitos piezoelétricos e espumas de piezoelétrico (ANTON; SODANO; SAFAEI, 2019, p. 3).

2.3.1 Fundamentos de piezoelétricos

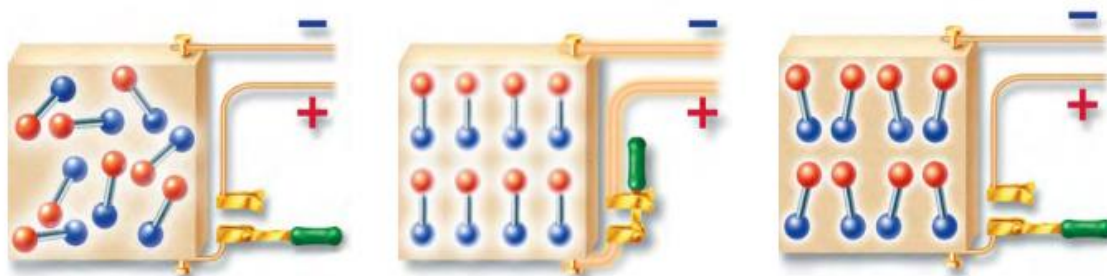
Para apresentar efeito piezoelétrico, o material não deve possuir estrutura com centro de simetria. As células cerâmicas de PZT apresentam uma estrutura cúbica acima da temperatura de Curie². Abaixo da temperatura de Curie, essas estruturas apresentam simetria tetragonal e demonstram as propriedades

² Segundo Halliday *et al* (2016), a temperatura de Curie se dá no ponto crítico de temperatura em que o momento dos dipolos se desalinha no material.

piezoelétricas. A separação de cargas entre íons positivos e íons negativos é a razão para o dipolo elétrico. Os grupos de dipolos com orientação paralela são denominados Domínios de Weiss, sendo que no início esses domínios estão aleatoriamente distribuídos. Quando são fabricados os PZTs, um campo elétrico com valor maior que 2000 V/mm é aplicado ao material piezocerâmico enquanto este ainda está quente, fazendo com que o material tenha uma expansão ao longo do eixo axial e uma contração no eixo perpendicular. Com isso, os domínios tendem a se alinhar e a permanecer nesse formato quando o material é resfriado (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2009, p. 2).

Se há um aumento do valor limite no campo, não é mais possível observar o efeito de polarização, devido ao alinhamento dos dipolos com o campo. Essa condição é chamada de saturação de polarização. A polarização se atenua quando se aplica uma redução a zero no campo, já que os dipolos se dispersam. Quando o campo é zero se tem uma polarização chamada de remanescente (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2009, p. 3) como mostra a Figura 8.

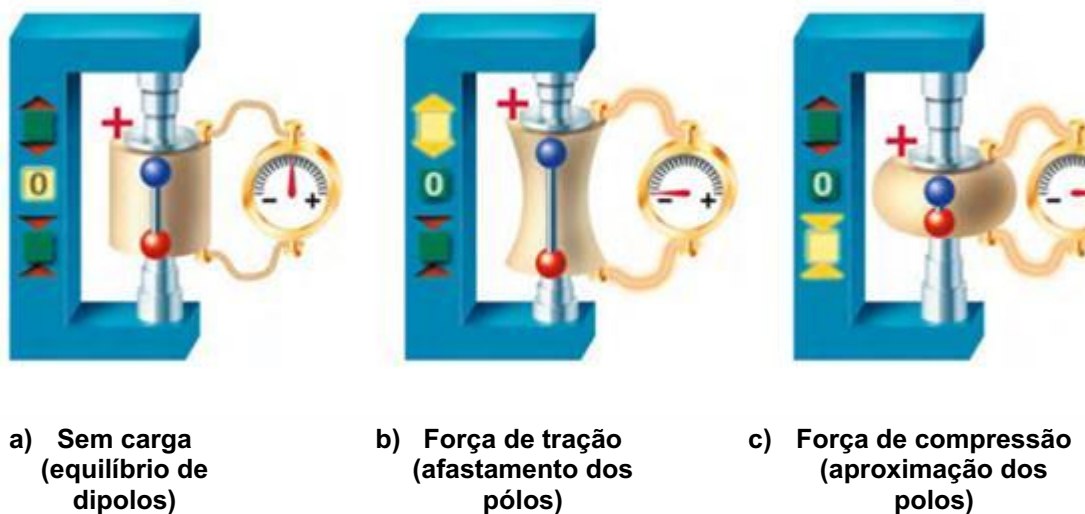
Figura 8 – Dipolos elétricos de material piezoelétrico: antes da aplicação de campo elétrico durante a aplicação de intenso campo elétrico externo e após a remoção do campo externo



Fonte: Ceramtec (2013).

Pode-se observar na Figura 9 como se comporta um cilindro de PZT sem carga. Se é aplicada uma força F ao cilindro quando comprimido, surge uma tensão elétrica devido ao movimento dos dipolos do PZT e então é observado o fenômeno de excitação mecânica, no qual se obtém a variação de potencial elétrico. O mesmo ocorre para uma força de tração, com efeito ao contrário (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2009, p. 4).

Figura 9 – Cilindro de PZT submetido a carga mecânica



Fonte: Ceramtec (2013).

Em um ciclo de trabalho, a energia elétrica de entrada é transformada em energia mecânica e o restante é armazenado como energia elétrica (energia eletrostática como um capacitor) em um atuador. Assim, a energia ineficaz pode ser devolvida à uma fonte de alimentação, levando a uma eficiência muito próxima de 100%, caso a perda seja pequena. Os valores de perda dielétrica em PZT são em cerca de 1% a 3% geralmente (KENJI, 2003, p. 3).

2.3.2 Aplicações de piezoelétricos para geração de energia elétrica

A tecnologia utilizando materiais piezoelétricos vem se tornando objeto de estudos em todo o mundo de forma crescente. Há novas formas de captação de energia (*Energy Harvesting*) com aplicações de piezoelétricos em próteses humanas, infraestruturas de cidades, animais, vestuário humano, veículos, entre outros (ANTON, SODANO, SAFAEI, 2019). Esta seção busca apresentar algumas dessas aplicações e os resultados obtidos através dos estudos realizados.

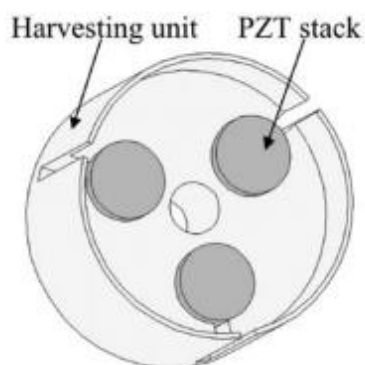
2.3.2.1 Aplicações de piezoelétricos em infraestruturas

Muitos pesquisadores estão investigando o emprego de materiais piezoelétricos nas infraestruturas que uma cidade tem disponível. Pontes, edifícios e estradas possuem um grande potencial de fornecimento de energia devido aos

esforços mecânicos sofridos pelo meio ambiente, gerando vibrações e essas podendo ser captadas por materiais piezoelétricos, convertendo-se assim em energia elétrica. Essa energia pode ser utilizada em sensores, equipamentos de controles de tráfego, iluminação de estradas, por exemplo. Observou-se em um estudo realizado por Li e Strezov (2014 apud ANTON; SODANO; SAFAEI, 2019, p. 41), um potencial de usar a energia gerada por piezoelétricos em um piso de um edifício com tráfego intenso de pessoas. Foi considerada a instalação de um piso em um edifício da biblioteca da universidade em Sydney, Austrália. Devido ao alto custo dos azulejos piezoelétricos para a geração de energia (\$3850 cada azulejo) limitou-se a aplicação dos dispositivos. Eles foram projetados para colher energia cinética a partir dos passos das pessoas. De acordo com os resultados obtidos, 1,1 MWh/ ano de potência pode ser obtido dos passos dos pedestres e se otimizado passaria a 9,9 MWh/ ano o que representaria 0,5% do uso total do edifício.

Jiang *et al.* (2014 apud ANTON; SODANO; SAFAEI, 2019, p. 41) criaram com base na coleta de energia piezoelétrica por compressão um meio para captar energia do tráfego de uma rodovia. O sistema de captação consistia em uma plataforma equipada com três unidades piezoelétricas. Os veículos passavam sobre o dispositivo criado como parte da estrada, comprimindo as pilhas piezoelétricas. Cada unidade consistia em três pilhas multicamadas piezoelétricas localizadas em um arranjo circular conforme Figura 10.

Figura 10 – Protótipo para captação de energia com pilhas piezoelétricas



Fonte: Anton, Sodano e Safaei (2019).

Foi produzido um protótipo em escala de laboratório do dispositivo e então ele foi testado utilizando-se uma mesa de agitação para verificar o método analítico do modelo desenvolvido para o sistema. Conforme verificado, foi estimada uma potência máxima de 2.000 W/h que seria obtida do tráfego rodoviário com 2.000 veículos a

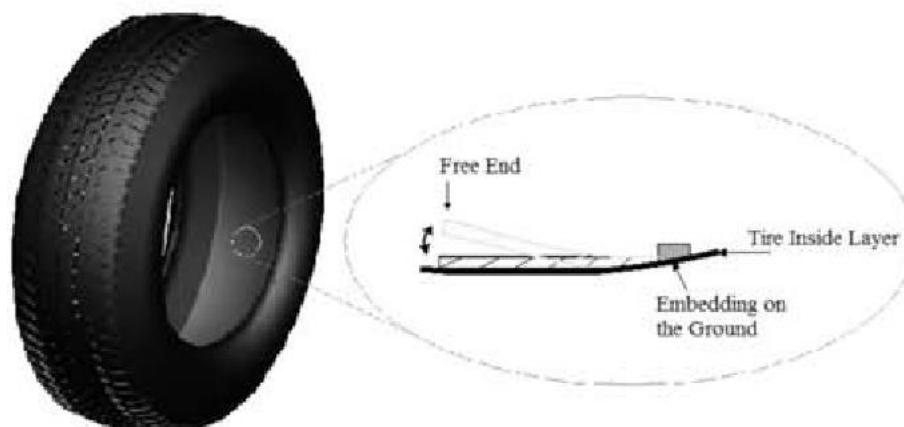
cada hora passando pelo captador, tendo como velocidade média o valor de 100 km/h (62 mph) o que gera uma potência de 1 W/h por veículo que passa.

2.3.2.2 Aplicações de piezoelétricos em veículos

Devido às vibrações ocasionadas por componentes veiculares durante sua operação, principalmente, em suspensões e pneus, pesquisadores estão buscando formas de aproveitar esses fenômenos para captar energia utilizando piezoelétricos. Um veículo utiliza de 10 a 16% de sua energia apenas para vencer o atrito da estrada e a resistência do ar (ANTON; SODANO; SAFAEI, 2019, p. 43).

Khameneifar e Arzanpour (2008 apud ANTON; SODANO; SAFAEI, 2019, p. 43) iniciaram estudos na captação de energia da deflexão dos pneus de veículo. De acordo com seus estudos, a energia gerada pela deflexão do pneu para um carro de passageiros médio foi de 1040 a 1100 W. Foram aplicados quatorze ressonadores piezoelétricos comerciais, com dimensão de $9,20 \times 4,38 \times 0,99$ cm cada, colocados dentro do pneu, conforme representado na Figura 11.

Figura 11 – Estudo de aplicação de piezoelétricos em pneus

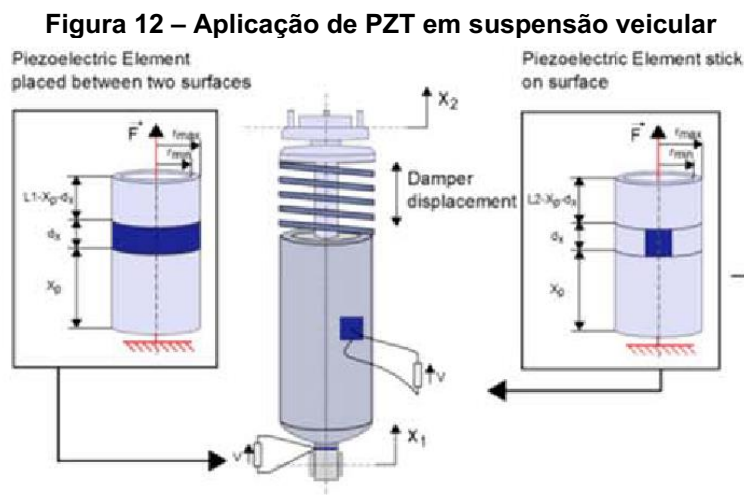


Fonte: Anton, Sodano e Safaei (2019).

. Foi obtida, de acordo com suas análises, uma potência individual de 3 mW e potência total de 42 mW em uma operação normal do veículo com a energia incorporada a um sistema de captura de energia trabalhando no primeiro modo ressonante.

Lafarge *et al.* (2015 apud ANTON; SODANO; SAFAEI, 2019, p. 45), realizaram um estudo para a aplicação de piezoelétricos em sistema de suspensão

veicular com o objetivo de fornecer energia elétrica na alimentação de componentes microeletrônicos do veículo. Os pesquisadores então aplicaram transdutores PZT em formatos cilíndricos e os aplicaram sob o amortecedor do carro e na superfície do amortecedor, conforme Figura 12.



Como resultado do estudo, o componente apresentou uma potência máxima de 0,5 mW a uma velocidade de 30 km/h (18,6 mph), sendo suficiente para um microcontrolador miniaturizado, o qual possui um consumo de energia de aproximadamente 100 μ W.

2.4 Sistema de transporte coletivo

Transporte coletivo compreende uma gama de meios de transporte que operam por meio de viagens em grupos para o público geral.

2.4.1 Transporte coletivo urbano

Borges (2006), em nota técnica da câmara dos deputados, apresentou a definição operacional de transporte coletivo urbano como “transporte público não individual, realizado em áreas urbanas, com características de deslocamento diário dos cidadãos”. A nota indica ainda que a admissão do transporte de passageiros em

pé e a não emissão de bilhete de passagem individual também contribuem para tal caracterização.

2.4.1.1 Norma para fabricação de veículos de transporte coletivo

A norma brasileira ABNT NBR 15570 (2021) dispõe sobre as especificações técnicas e características necessárias para a fabricação de veículos de transporte coletivo de passageiros de forma a garantir condições de segurança, conforto e mobilidade para os condutores e usuários. Além disso, a norma determina também as especificações para garantir a acessibilidade a pessoas com deficiência ou, também, as de mobilidade reduzida - pessoa idosa, gestante, lactante, com prótese, com criança de colo, obesa.






















2.4.1.2 Ônibus urbanos tipo *Padron*

O estudo de padronização de ônibus urbanos foi um projeto desenvolvido entre os anos de 1977 e 1982 pela empresa brasileira de planejamento de transportes (GEIPOT) com apoio do ministério do transporte por demanda do governo federal. Esse projeto tinha como objetivo determinar especificações técnicas das carrocerias e, também, de desempenho mecânico desejadas nos veículos de forma a atender às necessidades de conforto e segurança das pessoas, além de buscar a racionalização do consumo energético, por conta da crise do petróleo ocorrida no final da década de 1970. O padrão começou a ser adotado pela grande maioria dos órgãos gestores municipais e, atualmente, todas as empresas produtoras de ônibus urbanos têm em sua linha pelo menos um modelo *Padron* (SCHARINGER, 2014).

2.4.1.3 Ônibus urbanos elétricos

Segundo Göhlich *et al.* (2018), aplicando-se o método de matriz morfológica para soluções possíveis para sistemas de ônibus elétricos, encontram-se mais de 100.000 possibilidades passíveis de serem utilizadas nos veículos em circulação atualmente. As soluções podem ser geradas a partir da Figura 13.

Figura 13 – Matriz morfológica das proposições para ônibus elétricos

Function	Options					
	grid				local storage	
energy source	 low voltage	 medium voltage	 high voltage	 rail	 stationary battery	 H ₂ tank
charging/ refueling strategy	 opportunity	 in motion	 depot			
charging/ refueling interface	 manual (plug, pump nozzle)	 pantograph	 induction	 trolleybus current collector	 battery swapping	
on-board energy source	 battery			 capacitor	 H ₂ tank (+ fuel cell)	...
	NMC	LFP	LTO			
drive motor	permanent magnet synchronous	electrically excited synchronous	asynchronous	switched reluctance		
drive topology	central motor	wheel hub motor				
body type	 12 m single-deck	 18 m articulated	 24 m bi-articulated	 double-deck		
cooling	electric air-conditioning	none				
heating	electric resistance heating	electric heat pump	fuel heating			

Fonte: Göhlich *et al.* (2018).

A partir disso, é possível a análise da composição utilizada nos modelos mais comuns em circulação atualmente, para compreensão das necessidades na adaptação correta do dispositivo piezoelétrico ao sistema elétrico dos ônibus urbanos.

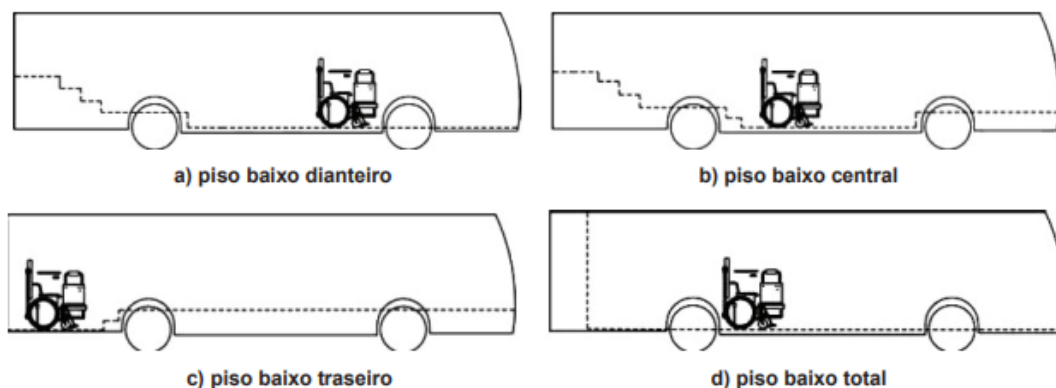
2.4.1.4 Tipos de Pisos de ônibus

Há dois tipos de piso para ônibus, sendo eles o piso alto e o piso baixo (ABNT NBR 15570, 2021, p. 6).

De acordo com o item 3.43 da norma NBR 15570 (2021) os ônibus com piso alto são aqueles veículos que possuem o acesso de passageiros por degraus ou plataformas elevatórias veículos, podendo ser acessado por plataformas externas elevadas que estejam no nível do veículo.

O item 3.44 da norma NBR 15570 (2021) informa que os ônibus com piso baixo são aqueles que possuem como característica construtiva o piso do compartimento interno rebaixado em qualquer uma de suas seções (dianteira, central, traseira ou total) não possuindo degraus nas portas de serviço conforme Figura 14.

Figura 14 – Veículo de piso baixo



Fonte: ABNT NBR 14022 (2011).

Conforme o item 5.2.6 da norma NBR 15570 (2021) as estruturas tanto da carroceria como do chassi ou do monobloco devem ser projetadas para atender a todas as especificações funcionais, durante um período mínimo de dez anos, equivalente a 1.000.000 km rodados.

O item 5.2.7 da norma NBR 15570 (2021) esclarece que os projetos de carroceria e chassi-plataforma devem estar integrados no que diz respeito às forças que atuarão no conjunto e, portanto, as estruturas devem ser dimensionadas para suportar as seguintes cargas e solicitações.

- a) Veículos movidos por outras fontes de energia que não sejam a óleo diesel, suportar eventual carga adicional devido à instalação dos dispositivos de armazenagem (ABNT NBR 15570, 2021, p. 10);
- b) Devem suportar solicitações advindas da operação, considerando os respectivos graus de interferência existentes no perfil viário, tais como lombadas, valetas, curvas críticas, aclives acentuados e concordâncias entre vias (ABNT NBR 15570, 2021, p. 10).

De acordo com o item 5.2.8 da norma NBR 15570 (2021) sobre as cargas que o piso de um ônibus deve resistir, segundo a norma, o piso do veículo deve ser projetado e construído para resistir a uma carga característica de 5 000 N/m² na área do corredor interno de circulação e 2 000 N/m² na área dos bancos de passageiros e poltronas dos operadores.

O item 5.2.9 da norma NBR 15570 (2021), esclarece que os materiais utilizados devem ser dimensionados para resistir às cargas descritas no item 5.2.8 e também para não permitir um deslocamento maior que $L/350$, sendo L o vão entre as transversinas (vão máximo entre apoios) de suporte do painel do piso quando submetidos às mesmas cargas.

Conforme o item 5.2.10 da norma NBR 15570 (2021), os painéis de madeira utilizados no piso devem ser do tipo estrutural, colados com adesivos estruturais à prova d'água conforme ABNT NBR ISO 12466-1 e ABNT NBR ISO 12466-2, compostos com espécies permeáveis ao tratamento preservativo.

Na utilização de madeira, compensado naval ou equivalente como contrapiso, deve haver tratamento específico para evitar apodrecimento, ação de fungos, entre outros (ver item 5.2.11 da ABNT NBR 15570, 2021, p. 10).

O item 5.2.12 da norma NBR 15570 (2021), demanda que os painéis de madeira utilizados no piso devem ser tratados contra ação deterioradora de agentes biológicos (fungos e insetos xilófagos) de acordo com a ABNT NBR 7190, em usina de preservação de madeira (UPM), sob pressão, pelo processo de célula cheia, ou outro comprovadamente equivalente.

Todos os produtos preservados para tratamento de pisos devem estar devidamente registrados no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) conforme item 5.2.14 da norma NBR 15570 (2021).

De acordo com o item 5.2.17 da norma NBR 14022 (2009) todas as partes estruturais abaixo do piso, incluindo a parte interna da saia da carroceria, quando construídas com materiais sujeitos à corrosão, devem receber tratamentos anticorrosivo e antirruído.

A norma ABNT NBR 15570 (2021) também traz várias orientações sobre as dimensões do piso interno na fabricação de ônibus.

O item 6.2 da norma NBR 15570 (2021) traz que a área disponível para passageiros em pé é deduzida conforme seguintes cálculos:

- a) Toda área do piso do veículo cuja inclinação exceda 8%;
- b) Espaço situado a 300 mm a frente de qualquer assento;
- c) Área de qualquer parte em que a altura do piso até o teto seja inferior a 1950 mm, sem considerar os balaústres fixados no teto;

- d) Qualquer área que respeite um retângulo 450 mm x 370 mm conforme item 6.3.1;
- e) Qualquer área que não pertença a um corredor considerando áreas de acesso ou circulação que não interfira na movimentação das portas;
- f) A área em frente a um plano vertical, passando no centro da superfície do acento do motorista (posição mais recuada) e ao longo do espelho retrovisor externo oposto do veículo;
- g) Área reservada pelo box de cadeirante ou cão guia quando existir.

Na Figura 15 é apresentado um exemplo da área disponível para passageiros em pé S1.

Figura 15 – Exemplo área S1 para passageiros em pé



Fonte: ABNT NBR 15570 (2021).

Conforme o item 6.3.1 da norma NBR 15570 (2021) para o cálculo de dimensionamento da capacidade de carga são considerados o peso médio de 68 kgf (667 N) por pessoa e as dimensões mínimas ocupadas por um passageiro em pé:

- a) Altura: 1.742 mm;
- b) Projeção da base (L x P): 450 mm x 370 mm;
- c) Área de ocupação de um passageiro em pé: 0,167 m².

A norma NBR 15570 (2021) mostra conforme Figura 16 um exemplo das regras mencionadas.

Figura 16 – Exemplo de área ocupada para passageiros em pé



Fonte: ABNT NBR 15570 (2021).

O item 6.3.2 da norma NBR 15570 (2021) determina a quantidade máxima de passageiros em pé deve considerar a área disponível S1, dividida pela área de ocupação por passageiro em pé.

De acordo com o item 19.1 da norma NBR 15570 (2021) a altura interna do veículo deve ser medida no centro do corredor de circulação de passageiro, do piso do veículo ao revestimento do teto, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Alturas e larguras internas

Classificação	Altura interna livre mínima	Largura interna livre mínima
	mm	mm
Microônibus	1800	1900
Miniônibus e Midiônibus	1900	2100
Demais veículos	2000	2300

Fonte: ABNT NBR 15570 (2021).

A tolerância admitida é de 50 mm nas medidas de largura e altura devido a impedimentos técnicos ou construtivos, desde que, comprovados (ABNT NBR 15570, 2021, p. 20).

O item 21.1 da norma NBR 15570 (2021) determina que a altura do piso interno em relação ao plano de rolamento deve estar em conformidade com a Tabela 2.

Tabela 2 – Altura do piso interno para embarque e desembarque

Classificação	Veículo de piso alto	Veículo de piso baixo
	mm	mm
Microônibus e Miniônibus	900*	400*
Midiônibus e Ônibus Básico	1050*	370*
Ônibus tipo <i>Padron</i>	920**	370**
Ônibus Articulado e Biarticulado	920***	370***

* Admitida tolerância de 10% nas dimensões em relação ao solo
** Admitida tolerância de 5% nas dimensões em relação ao solo
*** Admitida tolerância de 7,5% nas dimensões em relação ao solo

Fonte: ABNT NBR 15570 (2021).

Ainda a inclinação permitida do piso interno deve ser no máximo de 5 %, tanto no sentido longitudinal quanto transversal (ver item 21.4 da norma ABNT NBR 15570, 2021, p. 26).

Conforme o item 21.6 da norma NBR 15570 (2021) as tampas de inspeção eventualmente existentes no piso do veículo devem estar montadas e fixadas de modo a não poderem ser deslocadas ou abertas sem a utilização de ferramentas ou chaves.

De acordo com o item 21.7 e 21.8 da norma NBR 15570 (2021) os dispositivos para abertura das tampas de inspeção ou de acabamento (por exemplo: perfis, sinalizadores, entre outros) do piso não podem ultrapassar 6,5 mm do nível do piso. Para o dispositivo de vedação e acabamento da mesa da rótula de articulação dos veículos articulado e biarticulado, a medição da elevação em relação ao piso deve ser realizada nas extremidades do dispositivo.

O item 21.9 da norma NBR 15570 (2021) os elementos para fixação do piso e seus acabamentos (parafusos, rebites, entre outros), em conjunto, não devem exceder a altura de 6,5 mm (ABNT NBR 15570, 2021, p. 27).

Conforme o item 21.10 e 21.11 da norma NBR 15570 (2021) na área disponível para passageiros em pé (S1), os elementos para fixação dos pisos (parafusos, rebites, dentre outros) devem estar embutidos, sem saliência externa. Nas demais áreas, a altura desses elementos não deve ultrapassar 5 mm, nem possuir cantos vivos (ABNT NBR 15570, 2021, p. 27).

De acordo com o item 21.12 da norma NBR 15570 (2021) não pode ser instalado qualquer acessório ou equipamento sobre as tampas que venha a se constituir em dificuldade na realização de inspeção ou manutenção nos agregados mecânicos (ABNT NBR 15570, 2021, p. 27).

O item 21.14 da norma NBR 15570 (2021) as superfícies de piso da(s) área(s) reservada(s) para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia, degraus internos ou patamares elevados, corredor de circulação e devem possuir características antiderrapantes, com coeficiente de atrito estático (CAE) mínimo de 0,38. Para as demais áreas do veículo, o coeficiente de atrito estático (CAE) mínimo deve ser de 0,28 (ABNT NBR 15570, 2021, p. 28).

Entre os materiais mais utilizados no mercado para piso (assoalho) de ônibus estão as chapas de alumínio lavradas demonstradas na Figura 17.

Figura 17 – Chapas de alumínio lavradas



Fonte: Mob ceará (2019).

Há também os pisos produzidos em madeira com ou sem revestimento conforme Figura 18.

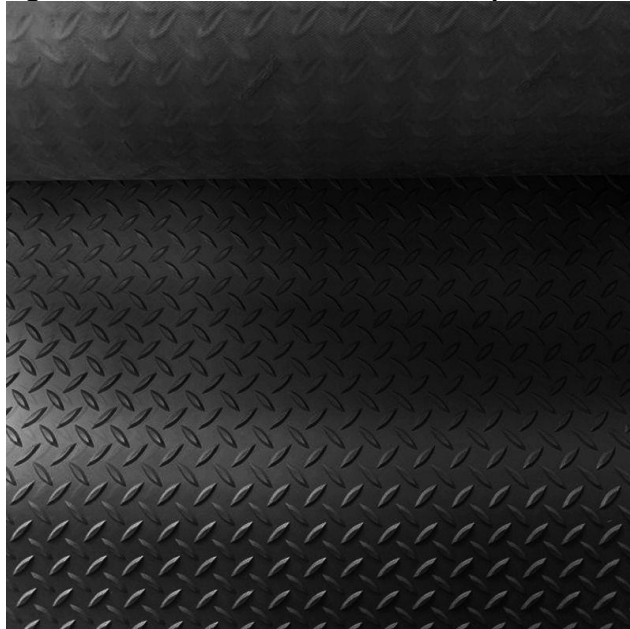
Figura 18 – Piso de madeira de ônibus



Fonte: Grife bus (2021).

Para o revestimento das chapas são utilizados borracha ou PVC conforme Figura 19.

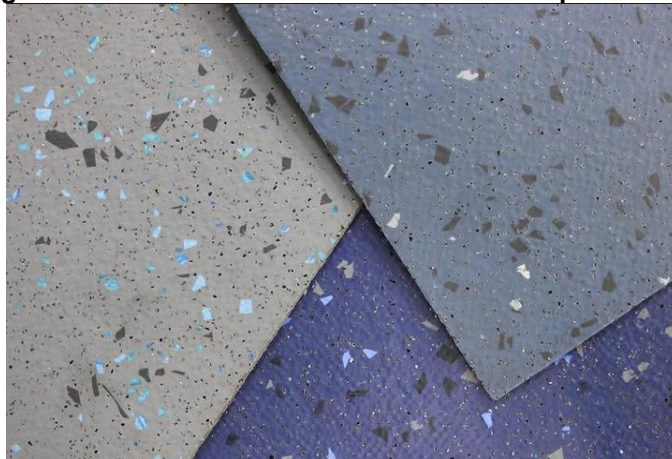
Figura 19 – Revestimento de borracha para ônibus



Fonte: JC Decor (2021).

Existe ainda o revestimento de piso com um material denominado Taraflex ou Ecoflex Tarabus, representado na Figura 20, antiderrapante e que permite uma maior segurança quando o piso interno é molhado, por exemplo em dias chuvosos. Com alta gramatura possuem altíssima resistência a danos e são formulados para garantir que o passageiro não escorregue. Também possuem baixa manutenção podendo durar até 20 anos sendo geralmente das cores cinza e azul.

Figura 20 – Revestimento Taraflex ou Ecoflex para ônibus



Fonte: Grife bus (2021).

A análise das normas técnicas assim como dos materiais que são utilizados no mercado para a fabricação de pisos de ônibus são informações fundamentais para o desenvolvimento do projeto.

2.4.2 Sistema de transporte coletivo urbano em Curitiba

O transporte público coletivo implementado em Curitiba faz uso de uma rede integrada de transporte. Essa rede, construída sob o conceito de *Bus Rapid Transit* (BRT) foi implementada em 1974 e serviu de referência para diversas outras grandes cidades ao redor do mundo. De acordo com o *Global BRT Data*, em 2021, o sistema BRT é aplicado em 179 cidades distribuídas entre os cinco continentes, com um fluxo diário de mais de 33 milhões de passageiros (GLOBAL BRT DATA, 2021).

No caso de Curitiba, esse sistema permite que usuários de ônibus tenham a possibilidade de utilizar mais de uma linha com um pagamento único, além de propiciar a maior agilidade de tráfego em determinadas linhas. Segundo a empresa Urbanização de Curitiba S/A (URBS), as linhas são divididas em:

Expresso Ligeirão: veículos que trafegam em vias exclusivas, chamadas de canaletas, que portam estações de embarque e desembarque em nível através de uma estrutura chamada estação-tubo. Os ônibus pertencentes a essa linha realizam poucas paradas para permitir conexões entre pontos mais distantes de forma rápida (URBS, 2021b).

Expresso: veículos que conectam os terminais de integração ao centro da cidade, também utilizando as canaletas para permitir tráfego mais rápido (URBS, 2021b).

Linha Direta (Ligeirinho): veículos com paradas em média a cada três quilômetros, que, assim como os anteriores, realizam embarque e desembarque em estações-tubo (URBS, 2021b).

Interbairros: veículos que conectam bairros e terminais. São caracterizados por não cobrirem a região central da cidade (URBS, 2021b).

Alimentador: veículos que ligam os terminais de integração aos bairros de cada região (URBS, 2021b).

Troncal: veículos que conectam os terminais de integração ao Centro de Curitiba, utilizando vias compartilhadas (URBS, 2021b).
















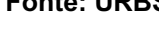

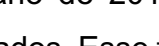
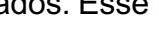
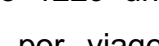

Circular Centro: veículo tipo microônibus que tem como função abranger a região central, fazendo a conexão entre seus principais pontos atrativos (URBS, 2021b).

Convencional: assim como os alimentadores, esses veículos cobrem os bairros, porém realizam a conexão diretamente ao Centro da cidade, sem integração por terminais (URBS, 2021b).

Linha Turismo: tendo como ponto de partida o centro da cidade, essa linha compreende os principais pontos turísticos de Curitiba (URBS, 2021b).

A Figura 21 apresenta características dos veículos supracitados com suas respectivas capacidades, linhas e frotas em circulação atualmente.

Figura 21 – Categoria das linhas de ônibus em Curitiba

Categoria de Linhas	Tipos de Veículo	Capacidade dos Veículos	Frota Operante		Quantidade de Linhas
			Subtotal	Total	
EXPRESSO LIGERÃO	BIARTICULADO 	250	44	44	03
EXPRESSO	BIARTICULADO 	230/250	97	128	05
	ARTICULADO 	170	31		
LINHA DIRETA	ARTICULADO 	150	38	219	15
	PADRON 	110	181		
INTERBAIRROS	ARTICULADO 	140	91	102	08
	PADRON 	100	1		
	HÍBRIDO 	79	10		
ALIMENTADOR	ARTICULADO 	140	71	425	129
	COMUM 	85	325		
	MICRO ESPECIAL 	70	29		
TRONCAL	ARTICULADO 	140	5	77	16
	COMUM 	85	59		
	HÍBRIDO 	79	10		
	MICRO ESPECIAL 	70	3		
CONVENCIONAL	COMUM 	85	102	217	74
	HÍBRIDO 	79	10		
	MICRO ESPECIAL 	70	102		
	MICRO 	40	3		
CIRCULAR	MICRO 	40	5	5	01
TURISMO	DOUBLE-DECK 	65	12	12	01
TOTAL			1.229	251	

Fonte: URBS (2021b).

Segundo a URBS, no ano de 2019, em dias úteis, houve uma média de 1.365.615 passageiros transportados. Esse fluxo se deu com cerca de 14.166 viagens por dia. Com frota operante de 1229 unidades, isso representa uma média de aproximadamente 96 usuários por viagem e aproximadamente 1111 pessoas transportadas em um dia útil por ônibus (URBS, 2021c).

A partir dos dados adquiridos nesta seção e nas anteriores do presente capítulo, faz-se necessária a realização de um estudo de *benchmarking* para que se possa identificar produtos existentes atualmente no mercado e que sirvam de referencial para o projeto.

2.5 Benchmarking de dispositivos com tecnologia piezoelétrica

A utilização e viabilidade de superfícies que utilizem materiais piezoelétricos para a geração de energia ainda é material de estudo ao redor do mundo. Por esse motivo os projetos existentes costumam ter características peculiares a depender do caso em que são utilizados e carecem, por vezes, de dados que permitam a análise completa da efetividade da solução. Para a análise das soluções existentes atualmente é utilizado o processo de *benchmarking*. Os dados coletados são apresentados no Quadro 1.




No Anexo A há uma seleção de patentes referentes a dispositivos piezoelétricos. O objetivo é realizar uma pesquisa básica nas bases do *Latipat*, *Espacenet*, USPTO, *Patentscope* além do INPI com as palavra-chave “piezo” e “bus” para analisar se há alguma patente de sistemas piezoelétricos aplicados em ônibus com intuito de gerar energia elétrica. A análise e as informações demonstraram que apenas a patente de Huh (2004) foi aplicava em ônibus urbanos. O Anexo A apresenta a primeira página de cada patente consultada.

2.5.1 Análise do *benchmarking*

Para o *benchmarking* foram pesquisados dispositivos tendo como ator do processo de compressão do piezoelétrico o passo dos transeuntes em áreas de grande fluxo de pessoas. Observa-se que os dispositivos apresentam dimensões semelhantes de superfície. Além disso, nota-se que as aplicações desses dispositivos apresentam, em todos os casos, implementação em pisos estáticos. Por fim, os dispositivos analisados demonstram grande durabilidade, sendo superior ao tempo médio de uso de ônibus urbanos.

Tomou-se, como referência para o projeto, o objetivo de atingir ou superar os valores de potência elétrica do dispositivo da fabricante *Waydip*.

Quadro 1 – Benchmarking de dispositivos com tecnologia piezoelétrica

				
Fabricante	<i>Waydip</i>	<i>Sustainable energy floor</i>	<i>Sound Power</i>	<i>Pavegen Tiles</i>
Dimensões da superfície	40x40cm	75x75cm ou 50x50cm	50x50cm	50x50cm
Potência média (por passo)	10W	7W	0,1W	5W
Aplicações	Áreas com alto fluxo para pedestres, faixas de pedestres, passarelas, estações de transporte público	Calçadas e áreas com alto fluxo de pessoas, terminais de avião, quadras esportivas, shopping centers, estações ferroviárias, escritórios e condomínios.	Escadas de emergência	Estações de trem, aeroportos, shopping centers e espaços públicos.
Vida útil estimada(anos)	20	20	20	20
Preço (US\$)	451,5	1693	270,9	395
Fonte	Solban e Moussa (2019)	Solban e Moussa (2019)	Solban e Moussa (2019)	Solban e Moussa (2019)

Fonte: Autoria própria (2022).

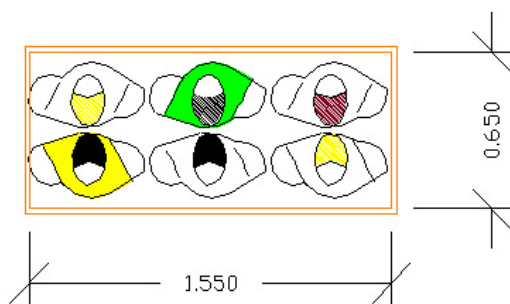
2.6 Análise de implementação com placas piezoelétricas comerciais

Esta seção tem como objetivo fazer uma pré-análise de implementação de placa piezoelétrica comercial para demonstrar a possível viabilidade do projeto de forma econômica e técnica.

Para a análise, será utilizado como base o item apresentado do *benchmarking*, da marca *Waydip* com dimensões 40 cm x 40 cm, potência média por passo de 10W, vida útil estimada de 20 anos e preço de 451,5 dólares. Também, toma-se como premissa o item 6.3.1 da norma NBR 15570 (2021) que diz que a área de ocupação de um passageiro em pé deve ser de 0,167 m².

A capacidade de passageiros em um ônibus tipo comum é de 85 passageiros no total (31 sentados + 54 em pé), o que resulta, conforme Figura 22, em 6 passageiros por metro quadrado URBS (2021a).

Figura 22 – Distribuição de passageiros em 1 m²



Fonte: URBS (2021a).

Os dados apresentados pela URBS sobre a capacidade de passageiros em um metro quadrado vão ao encontro do que a norma NBR 15570 (2021) apresenta.

2.6.1 Cálculos

Tomando como base as informações apresentadas dos dados da cidade de Curitiba, onde, em média, 1111 passageiros utilizam um ônibus nos dias úteis, foi realizado o cálculo de viabilidade para uma placa, supondo que cada passageiro dê, em média, seis passos em uma placa. A equipe buscou ser conservadora na quantidade de passos, já que um passageiro pode pisar mais vezes no dispositivo.

A equação (11) demonstra a quantidade de energia elétrica que uma placa pode gerar por passo (E_{passo}).

$$E_{\text{passo}} = \frac{2 \text{ s} \times 10 \text{ W}}{\text{passo}} = \frac{20 \text{ Ws}}{\text{passo}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,006 \frac{\text{Wh}}{\text{passo}} \quad (11)$$

Então, a energia média gerada em um dia é apresentada na equação (12).

$$E_{\text{total}} = 0,006 \frac{\text{Wh}}{\text{passo}} \times 1111 \text{ passageiros} \times 6 \frac{\text{passos}}{\text{passageiro}} = 40 \text{ Wh} \quad (12)$$

Conforme a equação (12) uma placa tem o potencial de gerar 40 Wh de energia em um ônibus.

Conforme pode ser observado é necessária uma grande quantidade de passageiros pisando em uma placa e para isso é necessário garantir que todos esses passageiros pisem na placa. Em um corredor de ônibus comum é possível adicionar 54 placas.

De acordo com a Copel (2021) a tarifa de energia (TE) convencional para o grupo B1 – Residencial com imposto é de R\$ 0,42991 o kWh (R\$/kWh).

Multiplicando o resultado de 0,04 kWh da equação (12) pela tarifa da Copel tem-se um resultado financeiro gerado por uma placa de R\$ 0,02 por dia em energia.

No dia 08 de dezembro de 2021 o dólar americano estava cotado a R\$ 5,53 (UOL, 2021). Multiplicando o valor de USD 451,5 pelo preço do dólar, o custo total da placa em reais é de R\$ 2496,80.

Conforme a equação (13) tem-se o período necessário para se pagar o investimento de uma placa aplicada em um ônibus.

$$\text{Periodo} = \frac{2496,80 \text{ reais}}{0,02 \left(\frac{\text{reais}}{\text{dia}} \right)} = 124841 \text{ dias} \quad (13)$$

Com esse fluxo de passageiros, aplicando uma placa comercial em um ônibus, serão necessários 124841 dias, ou 342 anos, tempo aproximado para se pagar o custo de investimento da placa.

Devido a pesquisa realizada pela equipe não encontrar informações sobre a massa do dispositivo tomado como referência, não será possível calcular a energia necessária para se transportar o peso do dispositivo *Waydip* no ônibus e, assim saber, se ele produz energia elétrica suficiente para carregá-lo mais um excedente para se alimentar os componentes elétricos do ônibus, buscando avaliar sua implementação tecnicamente.

2.6.2 Conclusões da análise de implementação com placas comerciais

Apesar dos dados adotados como base para os cálculos não se pode garantir que todos os passageiros pisem seis vezes em uma placa. Haverá placas que levarão maior tempo para se pagar o investimento, pois há a possibilidade de nenhum passageiro nunca pisar em uma das 54 placas.

Com isso, os produtos do *benchmarking* não são viáveis economicamente, mesmo colocando as placas em posições do piso do ônibus estrategicamente escolhidas para que garanta com que todos os passageiros pisem, em média, seis vezes em cada placa. As posições do piso de um ônibus que podem possuir um maior fluxo de passageiros são as regiões do piso das escadas nas portas de entrada e saída, na região da entrada e saída da catraca, na parte do piso onde o passageiro descansa os pés para se sentar e pode haver outra região na qual necessita um estudo de análise de fluxos de passageiros, algo que não é o objetivo desse trabalho.

Não foi possível avaliar tecnicamente devido à falta de informações.

A empresa *Pavegen*, citada no *benchmarking*, é atualmente, conforme Solban e Moussa (2019) uma das maiores e mais conhecidas empresas em nível mundial na aplicação de pisos que convertem energia cinética em energia elétrica através da utilização de tecnologia piezoelétrica. A empresa possui muitas aplicações com grandes parceiros comerciais como *Mitsubishi*, Google entre outros e apresentam bons resultados em suas aplicações (PAVEGEN, 2022).

Porém, como pode ser observado, nos dados do *benchmarking* a potência por passo é 50% menor que os da *Waydip* o tornando também inviável nos cálculos da seção 2.6.1. Devido a essa divergência do que é apresentado pela *Pavegen* com os cálculos realizados na seção 2.6.1 faz-se necessário o projeto de um dispositivo com

tecnologia piezoelétrica para análise da viabilidade técnica e econômica de aplicação em ônibus urbanos elétricos.

2.7 Análise dos requisitos para aplicação em conjuntos dinâmicos

Para o objeto de estudo do projeto, é necessário avaliar como seria o comportamento do dispositivo em um conjunto dinâmico. Esse estudo se dá por conta do dispositivo ser responsável por um consumo de energia para que seja movimentado. O valor gasto pelo dispositivo como “peso morto” deverá ser suprido para que a ideia seja considerada viável tecnicamente. No caso do dispositivo projetado, o peso será influenciado majoritariamente pelo material utilizado para o piso, então, para efeito dos cálculos iniciais, a massa dos cristais piezoelétricos pode ser desprezada, e os demais componentes da parte elétrica também tem baixa influência no peso morto do dispositivo, portanto não são considerados também. Dessa forma, utilizando o material compensado naval objetivado no projeto, toma-se como exemplo uma placa de 2200 x 1600 x 20 mm (GASÔMETRO, 2021).

A chapa encontrada tem uma massa de 47,6 kg. A densidade do material é, então, determinada na equação (14).

$$\rho = \frac{47 \text{ kg}}{2 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}} = 73,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (14)$$

Supondo que no projeto sejam utilizadas duas placas com a mesma espessura de 20 mm, com dimensões de, aproximadamente, 1000 mm x 500 mm. O volume das placas é apresentado na equação (15).

$$V = 2 \times (1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}) = 0,2 \text{ m}^3 \quad (15)$$

Isso resulta em uma massa de 14,69 kg para as chapas, conforme a equação (16).

$$m = 73,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,2 \text{ m}^3 = 14,69 \text{ kg} \quad (16)$$

Portanto, o cálculo do gasto energético do ônibus pode ser realizado com base no acréscimo percentual do peso de um ônibus elétrico tipo *padron* com a utilização

de uma placa piezoelétrica. Segundo a norma NBR 15570 (2021), o peso bruto total para o chassi-plataforma de um ônibus tipo *padron* deve ser de, no mínimo 16 toneladas. Utilizando este valor, tem-se um acréscimo por placa piezoelétrica de aproximadamente 0,09% conforme equação (17).

$$Ac_p = \frac{14,69 \text{ kg}}{16000 \text{ kg}} = 0,09\% \quad (17)$$

A frota de Curitiba é composta por 1543 ônibus que percorrem 217.360 km por dia útil (URBS, 2021c). Isso significa um percurso médio de 140 km por ônibus, em um período de 10 horas em média, o que significa que cada ônibus percorre em média 14 km a cada hora.

Segundo catálogo da BYD, um ônibus tipo *padron* elétrico da empresa tem autonomia de até 250 km e uma bateria com capacidade de 324 kWh. Considerando uma autonomia menor, de apenas 200 km, o consumo médio de um ônibus elétrico é, então, de 1,6 kWh/km, conforme equação (18).

$$C_{\text{médio}} = \frac{324 \text{ kWh}}{200 \text{ km}} = 1,6 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \quad (18)$$

Então, com o percurso de 140 km, há um consumo médio de 224 kWh por ônibus. Portanto, o consumo energético para cada placa será de 179,2 Wh, conforme equação (19).

$$m = 0,09\% \times 224000 \text{ Wh} = 201,6 \text{ Wh} \quad (19)$$

Para um dispositivo de massa de aproximadamente 14,7 kg, o valor de energia elétrica gerada pela placa deverá ser superior aos 201,6 Wh gastos com o peso morto do dispositivo para o seu movimento durante o percurso dos veículos.

2.8 Caracterização da oportunidade

A oportunidade é caracterizada pela observação do crescimento potencial do mercado de veículos elétricos frente às demandas atuais de energia e da aplicação de tecnologias piezoelétricas para geração de energia. Atualmente, observa-se nos

veículos elétricos a necessidade de uma geração complementar de energia haja vista que o processo de recarga da bateria se dá de forma substancialmente mais lenta que o abastecimento de veículos tradicionais com combustíveis fósseis.

A produção de energia elétrica que ocorre nos materiais piezoelétricos por conta do efeito da energia cinética nos veículos coletivos pode permitir, ainda, a utilização do potencial de energia gerada pelos usuários que, em condições normais, é desperdiçada.

Os sistemas piezoelétricos examinados no *benchmarking* não reportam aplicações em veículos de transporte coletivo.

Com isso, surge a oportunidade de se desenvolver um sistema piezoelétrico dedicado que deve ser avaliado técnica e economicamente para este tipo de aplicação. Esta decisão é suportada pelos resultados observados na seção 2.6.1 e da escassa quantidade de dados a respeito da utilização de cristais piezoelétricos em aplicações para ônibus urbanos.

3 PROJETO INFORMACIONAL

Este capítulo tem como objetivo colher informações para buscar clarificar pontos-chaves do projeto que a equipe irá desenvolver. Para conseguir as informações é necessário considerar a análise crítica do *benchmarking* realizado no Capítulo 2. Após análise de mercado é conduzido o levantamento das necessidades dos clientes. Com as informações levantadas pelos clientes, a equipe irá definir os requisitos que o produto deve ter e, então, utilizando a ferramenta Casa da Qualidade para auxiliar a equipe na análise dos requisitos, serão realizadas as especificações técnicas do produto. Com esses dados obtidos, o projeto terá as informações técnicas necessárias para o início de sua concepção.

3.1 Levantamento das necessidades dos clientes

Esta seção tem como objetivo levantar as necessidades de potenciais clientes, buscando compreender suas intenções e desejos no produto que irá ser projetado. É importante destacar que a partir do “*know-how*” deles, pode-se também conhecer as possíveis limitações e dificuldades que podem ocorrer durante o projeto.

Existem várias técnicas de se obter informações de clientes sendo as mais conhecidas a entrevista individual ou em grupo com um roteiro de perguntas pré-definidas, uma observação direta do processo ou produto principal no qual o projeto irá ser inserido ou então por questionários elaborados para o público-alvo.

3.1.1 Técnica utilizada para obter informações e descrição dos clientes

A equipe optou pelo método de entrevista individual devido à complexidade das questões técnicas do projeto que necessitam ser conhecidas e, também, pela troca de conhecimento que uma entrevista pode gerar. As entrevistas foram realizadas com três funcionários de uma montadora de ônibus sendo eles um gerente e dois diretores, todos com grande conhecimento no segmento de ônibus híbridos/ elétricos. As entrevistas completas podem ser observadas nos apêndices A, B e C.

3.1.2 Necessidades dos clientes

Com o resultado das entrevistas, pode-se entender as dificuldades que os clientes possuem no emprego de componentes ou dispositivos para geração de energia elétrica em ônibus e entender os pontos-chaves para que o projeto possua ter êxito. O Quadro 2 elenca as principais necessidades apontadas pelos clientes, além do valor do consumidor atribuído para cada item. Esse valor representa o grau de importância que o cliente atribui ao item, tendo uma escala de 1 a 10.

Quadro 2 – Necessidades dos clientes

Necessidade	Valor do consumidor
Baixo peso	10
Segurança contra riscos elétricos	10
Deve haver compatibilidade magnética	10
Gerar diferença de potencial suficiente	10
Parte elétrica não pode se encontrar com linhas de combustível	10
Alimentar sistemas auxiliares de baixa tensão (direção, radiadores, iluminação, entre outros)	10
Reduzir energia elétrica gerada pelos acessórios do motor diesel (alternador)	9
Fácil instalação e manutenção no piso	9
Compatível com piso de madeira naval + Taraflex	8
Proteção contra água (blindagem)	8
Suportar altas variações de temperatura	8
Suportar vibrações	7
Longa vida útil	7
Bom custo-benefício	7

Fonte: Autoria própria (2022).

O quadro de necessidades dos clientes evidencia que os pontos mais importantes a serem objetivados na concepção do projeto são o baixo peso, segurança contra riscos elétricos, compatibilidade magnética, diferença de potencial suficiente, por conta do valor máximo atribuído pelo cliente.

3.2 Requisitos do produto

Conforme apresentado na seção 3.1.2 as necessidades dos clientes são expressas de forma informal. Com os dados coletados o projetista deve transformar as questões levantadas em formato técnico, com linguagem de engenharia e buscar criar um parâmetro através de unidade e tendência o que foi coletado. No Quadro 3 encontram-se listados os requisitos levantados com suas unidades de medida e tendências.

Observa-se então, tomando como exemplo a necessidade de baixo peso apresentada no Quadro 2, determina-se como requisito a massa, tendo como unidade mensurada o quilograma, e sendo a sua tendência decrescente. Ou seja, o objetivo é de o produto ser o mais leve possível.

Quadro 3 – Requisitos do produto

Requisito	Unidade mensurada	Tendência
Blindagem contra água	%	↗
Corrente elétrica	A	↗
Vida útil	Anos	↗
Área	cm ²	–
Tempo de instalação	Horas	↘
Tempo de manutenção	Horas	↘
Tempo de limpeza	Horas	↘
Compatibilidade eletromagnética	Hz	–
Frequência de vibrações	Hz	↘
Massa	kg	↘
Frequência de manutenção	Mensal	↘
Altura do dispositivo	mm	–
Tolerância dimensional	mm	–
Resistência a corrosão	mm ²	↗
Suportar peso	N	↗
Rigidez do conjunto montado	N/mm ²	↗
Resistência a deformação	N/mm ²	↗
Número de peças	nº	–
Gradiente de temperatura	°C	↗
Custo	R\$	↘
Faixa de tensão	V	–
Energia gerada	Wh	↗

Fonte: Autoria própria (2021).

3.3 Casa da qualidade

Casa da qualidade é uma ferramenta utilizada para correlacionar as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto. Com a ferramenta obtém-se informações ordenadas onde os projetistas podem observar quais são as relações com maior e menor importância / peso para o projeto. Com isso os projetistas têm a visão de em qual relação devem atuar com maior afinco e esforço.

O Quadro 4 mostra o desenvolvimento da Casa da Qualidade. O resultado obtido da importância relativa foi utilizado para a elaboração posterior da tabela de especificações do produto.

A energia gerada é o item de maior importância relativa, seguido pela vida útil e corrente elétrica. Os mesmos itens também possuem grande dificuldade técnica, ou seja, são os itens que devem ser priorizados no projeto.

3.4 Especificações do produto

O quadro de especificações do produto é um documento no qual se busca traçar objetivos com uma ordem hierárquica para um projeto de acordo com a análise das informações obtidas na Casa da Qualidade. Com esse documento se obtém uma classificação dos itens selecionado para o projeto, os requisitos de cada item, seus objetivos e metas, suas tendências, um método de sensoriamento do objetivo e a saída indesejável que se pretende evitar no item.

O resultado das especificações do produto é demonstrado no Quadro 5. Os valores são determinados pela equipe de projeto em função das necessidades dos clientes e dos cálculos realizados na seção 2.7. Como o cálculo do peso morto determinou uma energia consumida de aproximadamente 201,6 Wh, a energia mínima para o projeto é arbitrada como 210 Wh. Essa energia será utilizada para alimentar sistemas auxiliares de baixa tensão do veículo, como, por exemplo: luzes, campainhas, sensores, entre outros. A massa é considerada de no máximo 15 kg por conta dos cálculos realizados do consumo do dispositivo, que teve o valor de 14,69 kg como base.

Quadro 4 – Casa da qualidade

Necessidades dos clientes (N.C)	Importância	Requisitos de projeto (R.P)																					
		Massa	Compatibilidade magnética	Faixa de tensão	Corrente elétrica	Tempo de instalação	Tempo de manutenção	Tempo de limpeza	Blindagem contra água	Gradiente de temperatura	Frequência de vibrações	Suportar peso	Vida útil	Custo	Área	Altura do dispositivo	Frequência de manutenção	Rigidez do conjunto montado	Número de peças	Tolerância dimensional	Energia gerada	Resistência a corrosão	Resistência a deformação
Baixo peso	10	●							○			●	△	●	●	△		△	●		●		△
Segurança contra riscos elétricos	10		●	●	●				●	△	△		●	●			●		●	●	●	●	
Deve haver compatibilidade magnética	10		●	●	○				△		△		△	△				△		●			
Gerar diferença de potencial suficiente para "empurrar a energia gerada" para a bateria	10	○	△	●	●								○	△							●		
Parte elétrica não pode se encontrar com linhas de combustível	10		○	○	●				○												△		
Alimentar sistemas auxiliares de baixa tensão (direção, radiadores, iluminação, etc)	10	●	●	●	●					△				○	△						●		
Diminuir energia elétrica gerada pelos acessórios do motor diesel (alternador)	9	●		○						△				○							●		
Facil instalação e manutenção no piso	9	○		△		●	●	●			●	△	●	●	●	●	●	△	●	●		●	●
Compatível com piso de madeira naval + taralex	8	●				○	△	●	●		●	●	●	△		●	●	○	●			●	●
Proteção contra água (blindagem)	8		△	△		△	●	●					●	△		●		○			●		
Suportar altas variações de temperatura	8		△			△				●			●			○			●				●
Suportar vibrações	7	△	●			△					●	△	●			○	●		●				●
Longa vida útil	7	●	●			○	△	○	●		●	●	●	●		●	●	●	●	●		●	●
Bom custo benefício	7	●		●	●	●	●	●	●	△	△	●	○	●	●	●	●	△	●	○	●	●	●
Importância Absoluta		523	452	497	534	212	231	237	430	108	306	304	554	500	264	226	486	176	493	390	604	441	424
Importância Relativa		4	9	6	3	20	18	17	11	22	14	15	2	5	16	19	8	21	7	13	1	10	12
Dificuldade Técnica		5	5	5	5	2	2	1	4	3	4	2	4	5	1	1	3	3	4	2	5	3	3

Fonte: Autoria própria (2021).

Quadro 5 – Especificações do produto

Classif. CQ	Requisitos de projeto	Objetivo	Fonte	Tendência	Sensor	Saídas indesejáveis
1	Energia gerada	Mínimo de 210Wh	Cálculos	↗	Multímetro	Fornecer quantidade insuficiente de energia
2	Vida útil	Dez anos	<i>Benchmarking</i>	↗	Relógio	Falhas ou quebras antes do prazo estipulado
3	Corrente elétrica	Gerar no mínimo 30 Ampères	Entrevista	↗	Voltímetro	Baixo fluxo de cargas elétricas
4	Massa	Até 15 kg	Cálculos	↘	Balança	Peso morto que torne o projeto inviável
5	Custo	Até 1000 R\$	<i>Benchmarking</i>	↘	Valor	Produto inviável economicamente
6	Faixa de tensão	Entre 23,5 - 25 Volts	Entrevista	-	Voltímetro	Tensão fora da faixa objetivada para não haver sobre ou sob carregamento elétrico
7	Número de peças	Menor possível	Entrevista	-	Contagem	Elevado número de componentes
8	Frequência de manutenção	Maior que 1 mês	Entrevista	↘	Relógio	Baixa confiança do produto
9	Compatibilidade eletromagnética	Ser compatível com os componentes do ônibus	Entrevista	-	Teste EMC	Falhas causadas pela incompatibilidade com demais sistemas elétricos/ eletrônicos
10	Resistência a corrosão	Ausência de corrosão	Entrevista	↗	% da área oxidada	Falhas ou risco de segurança da parte elétrica
11	Blindagem contra água	Impedir 100% a infiltração de água	Entrevista	↗	Contagem	Oxidação do componente
12	Resistência a deformação	Maior que 5000 N/m ²	Entrevista	↗	Ensaio de compressão	Falhas ou quebras devidas à deformação
13	Tolerância dimensional	Respeitando a norma NBR 15570/21	Norma	-	Paquímetro	Fora dos padrões fornecidos pela norma
14	Frequência de vibrações	Suportar entre 0,6Hz e 7Hz	Entrevista	↘	Acelerômetro	Falhas ou quebras do dispositivo
15	Suportar peso	Suportar até 1200 N	Entrevista	↗	Dinamômetro	Falhas ou quebras do dispositivo
16	Área	De acordo com norma NBR 15570/21	Norma	-	Trena	Mal aproveitamento do espaço fornecido pelo ônibus
17	Tempo de limpeza	Máximo de 1 hora	Entrevista	↘	Cronômetro	Dificuldades de limpeza
18	Tempo de manutenção	No máximo de 3 horas	Entrevista	↘	Cronômetro	Atraso na manutenção dos ônibus
19	Altura do dispositivo	De acordo com norma NBR 15570/21	Norma	-	Trena	Altura interna do ônibus fora do estipulado pela norma
20	Tempo de instalação	No máximo 10 horas	Entrevista	↘	Cronômetro	Demora na instalação do dispositivo
21	Rigidez do conjunto	Maior que 2000 N/mm ²	Entrevista	↗	Ensaio de flexão	Falhas ou quebras do dispositivo
22	Gradiente de temperatura	Suportar entre - 2°C e 45°C	Entrevista	↗	Termômetro	Falhas dentro da temperatura objetivada

Fonte: Autoria própria (2021).

3.5 Resultados do projeto informacional

Após a realização do levantamento das necessidades dos clientes e obtenção das especificações do produto, tem-se um objetivo determinado para o presente projeto. Será desenvolvido um dispositivo acoplável ao piso de madeira com Taraflex em ônibus urbanos elétricos para fornecimento de energia. Como meta foram objetivados alguns valores a serem buscados pela equipe.

Optou-se pela criação de um protótipo de piso piezoelétrico em razão dos pisos comerciais não possuírem aplicação em sistemas dinâmicos como o de um ônibus. Outro fator que levou à decisão de se criar um protótipo foi o alto custo das placas de piso piezoelétricas comerciais conforme observado na seção 2.5. O objetivo da equipe é tentar reduzir esse custo para que se torne um projeto com maior viabilidade econômica.

A massa das placas é um fator crucial para o sucesso do projeto. Criando um protótipo consegue-se controlar melhor essa variável, buscando garantir um peso ideal para que se atinja a viabilidade técnica das placas.

Com base nos custos estimados e na massa que o dispositivo acrescentaria ao veículo, foi determinada uma energia mínima de 210 Wh para que houvesse um aproveitamento maior que o gasto energético gerado pelo peso morto do veículo.

4 PROJETO CONCEITUAL

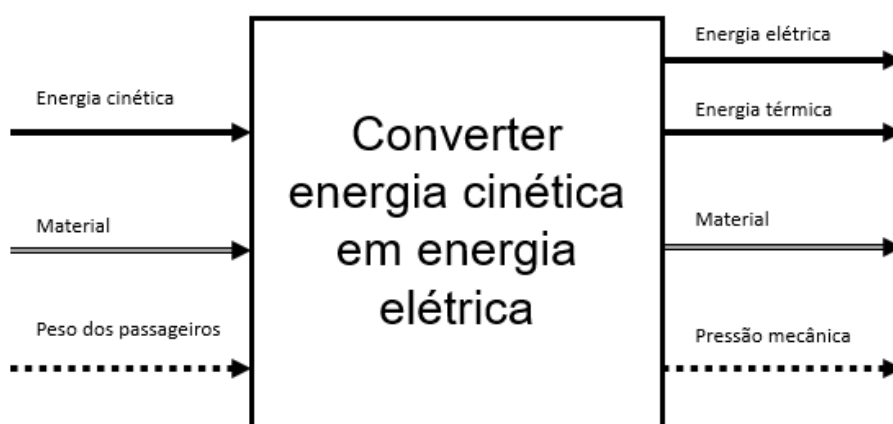
A metodologia de Pahl *et al.* (2007) diz que é vantajoso para o desenvolvimento de um projeto utilizar uma metodologia, pois ajuda o projetista a ter inúmeras opções de ideias e o ajuda a conceber uma solução adequada.

O projeto conceitual é uma das etapas mais importante para um projeto (FORELLINI, 2002). Esta etapa gera concepções para o produto a partir das necessidades dos clientes e busca atendê-las da melhor maneira possível, desde que, não sejam impedidas por limitações de recursos e restrições no projeto. No final o resultado do projeto conceitual deve ser a concepção do produto, o qual deve atender a função global a seguir.

4.1 Função global

A função global tem como objetivo relacionar a função principal do projeto com as entradas e saídas do sistema, como demonstrado na Figura 23.

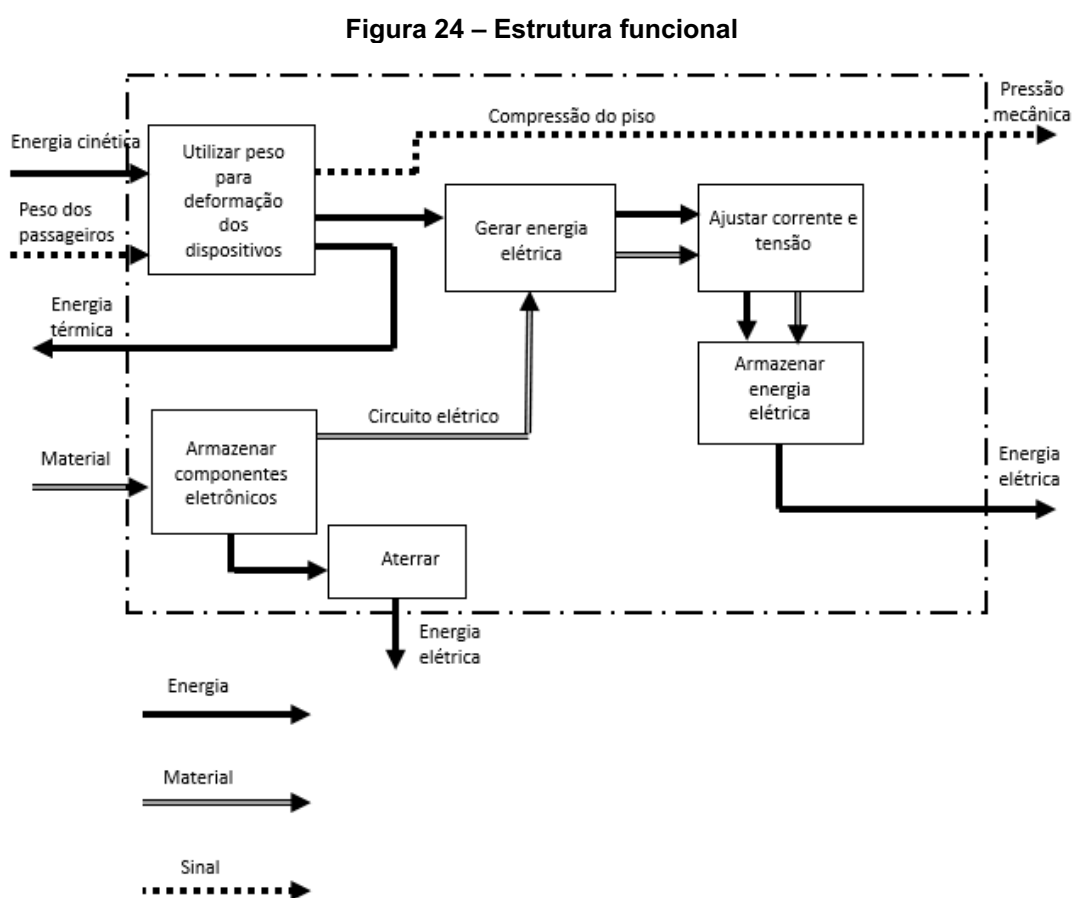
Figura 23 – Função global



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2 Estrutura funcional

Na etapa de estrutura funcional a função global da seção 4.1 é decomposta em diferentes níveis com funções mais específicas, de forma a facilitar a compreensão do processo e das possíveis soluções a serem aplicadas no projeto. A Figura 24 apresenta as funções determinadas para a geração da solução.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.3 Geração de soluções

A etapa de geração de soluções é discutida com base nas funções apresentadas como deve ser a forma e o que devem fazer as soluções de cada função. No Quadro 6 são apresentadas as funções primárias e secundárias da estrutura funcional.

Quadro 6 – Funções da estrutura funcional

Função global		Converter energia cinética em energia elétrica
F1		Utilizar peso para deformação do dispositivo
	F1.1	Absorver impacto do peso
	F1.2	Repetição do impacto
	F1.3	Retornar piso à posição inicial
F2		Armazenar componentes elétricos
F3		Aterrar
F4		Gerar energia elétrica
	F4.1	Transmissão da energia
F5		Ajustar corrente e tensão
F6		Armazenar energia elétrica

Fonte: Autoria própria (2022).

Para o projeto a abordagem utilizada consistirá na elaboração de soluções singulares para cada função, devido a condições restritivas para aplicações em pisos de ônibus. Para cada função será descrita uma breve explicação das soluções determinadas pela equipe para cada subfunção apresentada no Quadro 6.

4.3.1 Função 1: utilizar peso para deformação do dispositivo

Para a primeira função da estrutura é necessária a análise de três subfunções de forma a se obter um produto viável técnica e economicamente. Primeiramente, é estudada a absorção do impacto causado pelo peso dos transeuntes contra o dispositivo. Para isso, foi determinada pela equipe a utilização de um compensado de madeira naval, ou material semelhante, de dimensões 30 cm x 30 cm. Esses materiais apresentam características mecânicas suficientes para suportar os impactos sofridos pelo dispositivo.

Também, é necessária a análise de uma solução para a geração contínua de energia após o primeiro impacto realizado pelos passageiros. Para isso, foi determinado o uso de molas de compressão que possibilitam um aumento no número de impactos da superfície contra os materiais piezoelétricos e, também, seu retorno à posição inicial, para cessar o contato com os cristais.

4.3.2 Função 2: armazenar componentes elétricos

Os componentes elétricos do circuito requerem armazenamento à parte do sistema de impacto do piso com os cristais piezoelétricos, por conta da fragilidade dos materiais. No entanto, em função da necessidade de uma altura padronizada para os pisos dos veículos, este compartimento precisará ser posicionado no mesmo nível do compartimento dos cristais e da superfície de contato. Por esse motivo, a equipe determinou que fosse desenvolvido um espaço conectado horizontalmente ao que servirá para o movimento de impacto.

4.3.3 Função 3: aterrar circuito elétrico

Para o aterramento do circuito é utilizado um sistema TN com o polo negativo do sistema conectado à carroceria do veículo. Esse aterramento permite um aumento na corrente do circuito, evitando problemas de transmissão elétrica com o sistema elétrico do veículo. Também, evita descarregamento constante da bateria, que acarretaria na perda da energia obtida com a compressão dos piezoelétricos, além de garantir a segurança dos usuários.

4.3.4 Função 4: gerar energia elétrica

Para a transmissão da energia obtida com a compressão dos materiais é determinada a utilização de um circuito elétrico misto. Nesse sistema, os cristais serão conectados em paralelo em diferentes linhas que são interligadas em série, otimizando a tensão do sistema e a corrente transmitida pelo circuito, com o objetivo de reduzir a diferença entre essa corrente e a do sistema elétrico, permitindo a transmissão da energia para o veículo.

4.3.5 Função 5: ajustar corrente e tensão

Na produção do circuito eletrônico serão utilizados retificadores de sinais, de forma a transformar o sinal elétrico alternado gerado no dispositivo em contínuo, atendendo assim às necessidades do sistema elétrico do veículo.

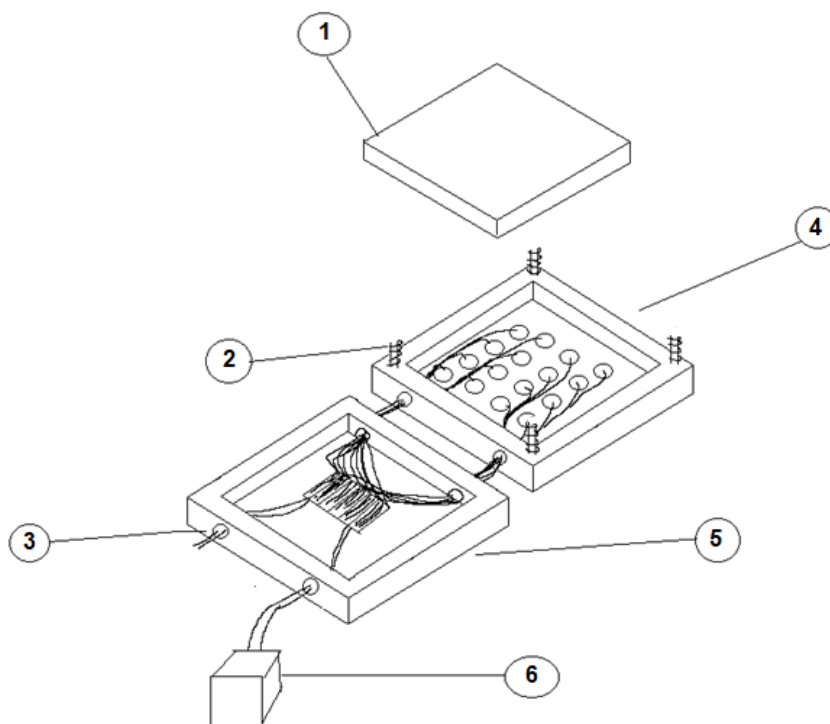
4.3.6 Função 6: armazenar energia elétrica

Para o armazenamento será utilizada uma bateria conectada ao sistema elétrico do ônibus para que seja possível acumular a energia elétrica gerada pelo dispositivo.

4.4 *Layout da solução*

Por fim, a equipe desenvolveu, com base nas soluções parciais determinadas para cada função, uma concepção para o dispositivo, em forma de esboço inicial, conforme a Figura 25.

Figura 25 – *Layout da solução*



Fonte: Autoria própria (2022).

O Quadro 7 apresenta a descrição dos componentes e partes mais relevantes da ideia apresentada na Figura 25.

Quadro 7 – Descrição dos componentes do *layout* da solução

Ref. Figura 25	Descrição
1	Superfície de contato
2	Molas de suspensão da superfície de contato
3	Conexão entre fios elétricos do circuito com o veículo
4	Compartimento de instalação dos cristais piezoelétricos
5	Compartimento de armazenamento dos componentes elétricos do circuito
6	Bateria

Fonte: Autoria própria (2022).

4.5 Considerações sobre a solução obtida

A solução foi obtida por princípios de soluções individuais para cada subfunção do sistema, haja vista a escassez de opções encontradas atualmente para a realização de dispositivos semelhantes. Ela é desenvolvida de forma a otimizar a geração de energia através do processo de repetição do impacto. O compartimento de armazenamento dos componentes elétricos precisa estar separado do local em que ocorrerão os esforços de impacto para manutenção da vida útil do dispositivo.

A partir da solução concebida pela equipe, a próxima etapa é o projeto preliminar, em que será desenvolvido o desenho da solução com os devidos estudos sobre restrições de projeto e premissas que permitam tornar o dispositivo funcional.

5 PROJETO PRELIMINAR

Após a geração da solução teórica para o produto é realizada a etapa de projeto preliminar, em que é desenvolvida a concepção do protótipo a ser construído. Após análise inicial dos propagadores de restrição, das premissas do projeto e da definição e dimensionamento dos componentes a serem utilizados na construção da solução. Por fim, a concepção é validada a partir da construção o protótipo funcional do dispositivo.

5.1 Propagadores de restrição

Uma das dificuldades de se desenvolver um projeto onde se vá produzir um protótipo físico é o conhecimento dos propagadores de restrição. São eles que definirão os limites ou valores exatos de todas as variáveis contidas no projeto. O Quadro 8 demonstra os propagadores de restrição identificados no projeto.

Quadro 8 – Propagadores de restrição

Propagador de restrição	Elemento influenciado
Dimensões do dispositivo de impacto	Dimensões de fixação e estrutura
Fuga de corrente	Circuito elétrico
Componentes comerciais	Cristais piezoelétricos

Fonte: Autoria própria (2022).

Nas próximas seções serão descritos os propagadores de restrição mencionados.

5.1.1 Características do dispositivo de impacto

O dispositivo de impacto é um dos fatores mais importantes do projeto. Isso se deve ao fato que os cristais piezoelétricos precisam ser acionados ciclicamente para que haja a diferença de potencial elétrica e, assim, gere energia elétrica. Para isso, faz-se necessário criar um dispositivo que garanta que todos os piezoelétricos instalados no projeto sejam impactados ao mesmo tempo. Isso exige uma precisão nas dimensões determinadas pela equipe que permita o impacto simultâneo no centro

de cada cristal. Assim, esse é um propagador de restrição com grande dificuldade de ser tratado.

5.1.2 Fuga de corrente

Fugas de corrente são um dos principais causadores pelo desperdício de energia elétrica. Além disso, a fuga de corrente pode causar danos graves aos aparelhos elétricos como curto circuitos, choques elétricos e incêndios (REVISTA POTÊNCIA, 2020).

As fugas de corrente são provocadas por emendas malfeitas, fios desencapados, isolação velha ou pelo defeito no equipamento (FOX LUX, 2022a).

Devido à dificuldade em se encontrar fugas de corrente em circuitos elétricos de um protótipo, esse propagador de restrição pode prejudicar a performance do projeto, já que os cristais piezoelétricos geram energia elétrica com baixa corrente e tensão e qualquer fuga de corrente pode implicar uma perda considerável de energia na apresentação dos resultados.

5.1.3 Componentes comerciais

O elemento principal desse projeto são os cristais piezoelétricos. São eles os responsáveis pela geração de energia elétrica e o foco desse estudo. No comércio há uma limitação de variedade de cristais piezoelétricos. São poucos os formatos, dimensões e diferenças de potência entre os cristais disponíveis. Para esse projeto é inviável utilizar um cristal piezoelétrico fabricado em laboratório. Por isso, irá se utilizar apenas os disponíveis comercialmente.

5.2 Premissas do projeto

Para a estrutura será utilizado o compensado naval ou semelhante. Para os cristais piezoelétricos, serão utilizados os disponíveis comercialmente, com preferência para o formato circular.

Na parte elétrica serão utilizados elementos disponíveis comercialmente, com montagem do circuito elétrico realizado pela equipe, buscando atender os requisitos do projeto.

5.3 Definição dos componentes

Será abordada nesta seção a descrição das especificações dos componentes comerciais utilizados.

5.3.1 Componentes elétricos

Esta seção tem como objetivo especificar todos os componentes elétricos utilizados no projeto e uma breve descrição do seu funcionamento no dispositivo.

5.3.1.1 Cabo elétrico de cobre com bitola de 0,2 mm²

Para o projeto foi utilizado um cabo elétrico de cobre com bitola de 0,2 mm² com revestimento de PVC sintético conforme Figura 26.

Figura 26 - Cabo elétrico de cobre bitola 0,2mm²



Fonte: Autoria própria (2022).

A escolha desse cabo ocorre pela sua flexibilidade e necessidade de baixa resistência elétrica à corrente gerada pelos piezoelétricos, o que leva a utilizar um cabo com bitola reduzida.

5.3.1.2 LED amarelo/ vermelho Ø5mm 2V 20mA

A palavra LED significa *Light Emitting Diode*, onde traduzido para o português significa Diodo Emissor de Luz. O LED é um componente eletrônico semicondutor, composto de cristal semicondutor de silício ou germânio. O LED emite luz quando uma corrente elétrica o percorre. Ele é um componente bipolar, que dois terminais chamados ânodo e catodo. Conforme esteja polarizado, determina a passagem ou de corrente elétrica, a qual ocasiona emissão de luz (MATTEDE, 2022d).

Para o projeto, foi selecionada uma unidade de LED Amarelo com diâmetro de 5mm, tensão de 2V e corrente de 20mA que será instalada no circuito elétrico e um vermelho, para testes com as mesmas especificações do amarelo conforme, Figura 27.

Figura 27 – LED amarelo/ vermelho Ø5mm 2V 20mA



Fonte: Filipeflop (2022).

O LED no projeto tem a função de demonstrar o acúmulo de energia elétrica no capacitor. Essa energia será descarregada no LED para que o acenda.

5.3.1.3 Ponte retificadora DF06 1A x 600v

Uma ponte retificadora é um componente eletrônico onde se tem quatro diodos retificadores em um único encapsulamento. É utilizada para transformar a tensão alternada gerada pela pastilha piezoelétrica em tensão contínua.

No projeto foi determinada a utilização de uma ponte retificadora do modelo DF06G 1A x 600V conforme Figura 28.

Figura 28 – Ponte retificadora DF06 1A x 600V



Fonte: Autoria própria (2022).

Essa especificação deve-se à baixa corrente emitida pelas pastilhas piezoelétricas (ordem de mA) e baixa tensão.

5.3.1.4 Pastilha piezoelétrica circular Ø35 mm

A pastilha piezoelétrica é um dispositivo que converte a pressão mecânica em energia elétrica. Foi utilizada no projeto uma pastilha piezoelétrica circular com diâmetro de 35 mm composta por um disco de latão e um disco cerâmico central composto de Titanato de Bário. Ao realizar uma pressão mecânica no centro (onde está o Titanato de Bário) para deformá-lo, é gerada uma diferença de potencial elétrico. Assim, a carga elétrica é transmitida do Titanato de Bário para o latão e vice e versa. A pastilha piezoelétrica que será utilizada pode ser vista na Figura 29.

Figura 29 – Pastilha piezoelétrica circular Ø35 mm



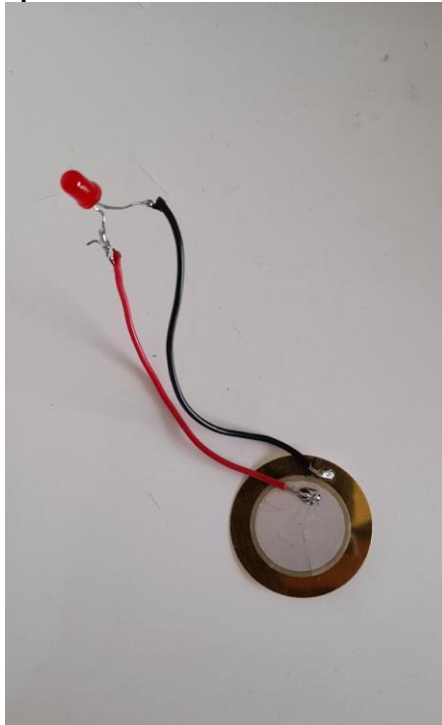
Fonte: Recicomp (2022).

Para o projeto serão utilizadas 36 pastilhas piezoelétricas com diâmetro de 35 mm com as seguintes características:

- a) Frequência ressonante (kHz): 4,6 +/- 0,5kHz;
- b) Impedância ressonante (Ohm): 300 máx.;
- c) Capacitância (NF): 20,0 +/- 30% [1 kHz];
- d) Tipo de saída do sinal: analógica;
- e) Diâmetro da pastilha piezo: 35 mm;
- f) Peso: 1g aprox.

Realizou-se um teste para avaliar a potência de uma unidade de pastilha com base no trabalho realizado por Sousa *et al.* (2018). Para o teste, foi conectada uma pastilha piezoelétrica aos terminais de um LED vermelho de 5 mm conforme Figura 30.

Figura 30 – Pastilha piezoelétrica conectada a um LED vermelho de 5 mm



Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme observado pela equipe ao flexionar pressionando ou impactar a pastilha piezoelétrica o LED se acendia com a corrente alternada gerada pelo cristal piezoelétrico. Porém, observou-se que o LED somente acendia quando a deformação

era de compressão (por impacto ou flexão). No retorno ao formato original o LED se apagava o que leva a uma perda de energia.

Então, com o intuito de se aproveitar a energia desperdiçada, foi realizado um segundo teste manual. Para esse teste, a pastilha piezoelétrica foi conectada aos terminais de uma ponte retificadora de DF06 1A X 600v e esta ponte ao LED vermelho de 5 mm, conforme Figura 31.

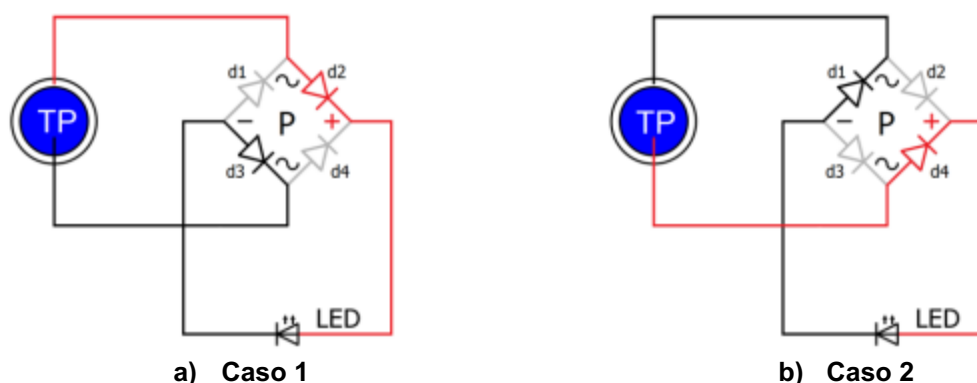
Figura 31 – Pastilha piezoelétrica conectada a ponte retificadora e ao LED



Fonte: Autoria própria (2022).

Foi possível observar que a pastilha piezoelétrica ao ser impactada ou flexionada no seu centro foi capaz de gerar energia elétrica suficiente para acender o LED tanto na compressão quanto na expansão do movimento. Somente após o término do movimento que o LED se apagou. Isso se deve a função da ponte retificadora que tem como objetivo converter tensão/ corrente alternada em tensão/ corrente contínua, fazendo o efeito chamado retificação de onda completa conforme pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 – Esquema elétrico de uma pastilha piezoelétrica conectada a ponte retificadora e ao LED



Fonte: Sousa *et al.* (2018).

Conforme Sousa *et al.* (2018), TP é o cristal ou transdutor piezoelétrico, componente que gera corrente alternada, P é a ponte retificadora que transforma corrente alternada em contínua e o LED é o componente que receberá a corrente contínua gerada.

Na Figura 32-a, uma corrente alternada é gerada pela parte de latão do cristal piezoelétrico, no qual passa pelo diodo d2, transformando em corrente contínua com sinal positivo e então passando pelo LED. Para o sinal negativo, é gerada uma corrente alternada pela parte cerâmica do cristal piezoelétrico, passando pelo diodo (d3), que transforma a corrente em contínua negativa e então passando pelo LED fechando o circuito. Os diodos d1 e d4 tem a função de bloquear a passagem de corrente. Na Figura 32-b tem-se o mesmo princípio, porém a polarização do cristal piezoelétrico é invertida (Sousa *et al.*, 2018).

Além de a ponte retificadora ajudar aproveitar a energia tanto na expansão quanto na compressão, o objetivo desse trabalho é acumular a energia gerada pelos cristais piezoelétricos em um capacitor. Com a transformação da tensão e corrente alternada para contínua, é possível utilizar um capacitor eletrolítico circular para acúmulo de energia.

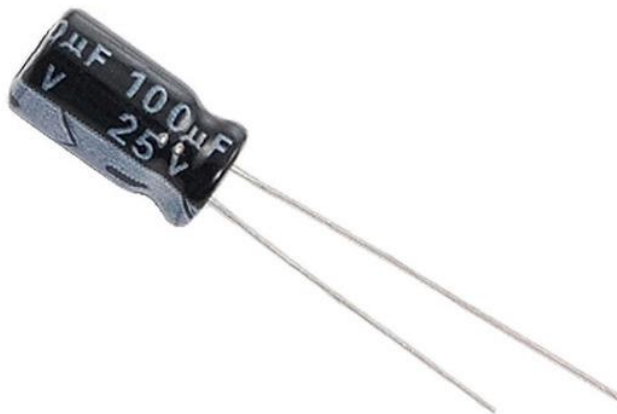
5.3.1.5 Capacitor eletrolítico circular de alumínio 100 μ F x 25V;

Um capacitor eletrolítico é um elemento reativo que reage à passagem da corrente elétrica devido ao acúmulo de cargas elétricas, fazendo dele um componente elétrico com capacidade de armazenar energia. Após esse acúmulo é possível descarregar a energia armazenada no circuito elétrico desejado (MATTEDE, 2022c).

Para o projeto, foi selecionado um capacitor com capacitância de $100\ \mu\text{F}$ x 25V como pode ser visto na Figura 33.

Isso se deve à necessidade de carregar o capacitor rapidamente, já que a corrente elétrica emitida pela pastilha piezoelétrica é baixa.

Figura 33 – Capacitor eletrolítico circular de alumínio $100\ \mu\text{F}$ x 25V



Fonte: Mercado livre (2022).

5.3.1.6 Resistor elétrico 1000Ω 5% $1/4\text{W}$

Resistores elétricos são componentes eletrônicos manufaturados a partir de materiais dielétricos que possuem grande resistência elétrica. Os resistores têm a função de restringir ou limitar o fluxo de cargas elétricas da conversão de energia elétrica em energia térmica. Com isso, são capazes de reduzir a passagem de corrente elétrica em um circuito (HELERBROCK, 2022).

Foi selecionado para o projeto um resistor elétrico de 1000Ω 5% $1/4\text{W}$ conforme Figura 34.

Figura 34 – Resistor elétrico 1000Ω 5% 1/4W



Fonte: Shopee (2022).

Foi adicionado, em conjunto, um potenciômetro de 2000Ω, para se regular a passagem de corrente conforme desejo do operador.

5.3.1.7 Potenciômetro linear KB 16 mm 2000Ω eixo L20 sem chave

Potenciômetros são resistores de elevada precisão que permitem variar o valor de resistência elétrica por meio de um eixo. São empregados para permitir mudanças do regime de operação de um equipamento. Podem ser utilizados por exemplo para aumentar ou reduzir o nível da intensidade de um aparelho sonoro. Possui três terminais, que são controlados a partir de um eixo giratório, o qual é responsável por ajustar a resistência do dispositivo (MATTEDE, 2022e). O componente pode ser visto na Figura 35.

Figura 35 – Potenciômetro linear KB 16 mm 2000Ω eixo L20 sem chave Arsolcomp



Fonte: Eletropeças (2022c).

Para o projeto foi utilizado o Potenciômetro linear KB 16 mm 2000Ω eixo L20 sem chave Arsolcomp. Em conjunto com o resistor elétrico mencionado na seção 5.3.1.6 tem a função de variar a passagem de corrente elétrica para o LED. De acordo com testes conduzidos com o multímetro digital, a combinação do potenciômetro com o resistor resultou em uma resistência elétrica que pode variar de 0 a 640 Ohms finais no circuito. Com isso, se garante que o LED não irá queimar com a descarga da energia elétrica acumulada no capacitor e controlar-se a luminosidade dele, podendo deixar o LED mais tempo acesso, se comparado à ligação direta no resistor.

5.3.1.8 Placa fenolite perfurada 10x20 cm PP-D (PD-9)

Placa fenolite é um material laminado utilizado para isolamento elétrico. É utilizado para se fazer o circuito eletrônico através de solda de um conjunto de componentes eletrônicos.

Para o projeto foi utilizada uma placa fenolite perfurada 10x20 cm conforme Figura 36.

Figura 36 – Placa fenolite perfurada 10x20 cm PP-D(PD-9)



Fonte: Autoria própria (2022).

O componente será utilizado para a montagem e soldagem dos componentes eletrônicos do projeto.

5.3.1.9 Estação de solda Toyo TS-900

O ferro de soldar ou estação de solda é um dispositivo elétrico que transforma corrente elétrica em calor, fornecido através de uma resistência elétrica, no qual se consegue unir duas partes metálicas por meio da solda (FOX LUX, 2022b). O componente pode ser visto Figura 37.

Figura 37 – Estação de solda Toyo TS-900



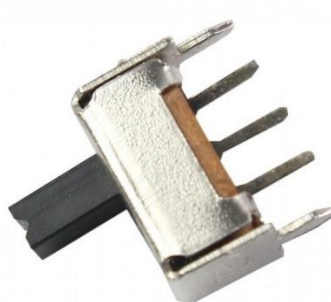
Fonte: Autoria própria (2022).

Para o projeto, foi utilizada a estação de solda da marca Toyo modelo TS-900 de 127V, potência de 50W e temperatura ajustável com valor máximo de 450°C.

5.3.1.10 Chave HH com três terminais com haste micro 180

A chave HH de alavanca com três posições é um componente eletrônico utilizado para aplicações de comutação. Serve para controlar o fluxo de eletricidade que passa por um circuito onde se ativa ou desativa por uma alavanca mecânica, operada manualmente (TREINAMENTO24, 2022). O componente pode ser visto Figura 38.

Figura 38 – Chave HH com três terminais com haste micro 180



Fonte: Usinainfo (2022).

Para o projeto, foi utilizada uma chave HH com três terminais com haste micro 180 que tem a função de permitir a descarga a energia elétrica acumulada pelo capacitor para o LED.

5.3.1.11 Barra de pinos BPSC-40 1x40 Metaltex

Barra de pinos é um componente utilizado para efetuar ligação entre uma porta de saída de um determinado equipamento e a porta de entrada de outro. Existem conectores machos que são os pinos e conectores fêmeas que são os orifícios onde se encaixam os pinos. É um componente essencial para realizar montagem de placas eletrônicas e circuitos (CROMATEK, 2022). O componente pode ser visto na Figura 39.

Figura 39 – Barra de pinos BPSC-40 1X40 Metaltex



Fonte: Eletropeças (2022a).

Para o projeto, foi utilizada barra de pinos BPSC-40 1X40 Metaltex a qual será soldado na placa perfurada.

5.3.1.12 Conector header para PCI MCS-40 1x40 Metaltex

O conector *header* é o componente macho da barra de pinos conforme Figura 40.

Figura 40 – Conector *header* para PCI MCS-40 1x40 Metaltex



Fonte: Eletropeças (2022b).

Para o projeto, foi utilizado o conector *header* para PCI MCS-40 1x40 Metaltex. Ele será conectado à fiação elétrica dos cristais piezoelétricos e à barra de pinos mencionada na seção anterior.

5.3.1.13 Multímetro digital Minipa ET-2040

O multímetro digital é um equipamento eletrônico em que sua função é medir algumas grandezas elétricas como por exemplo corrente elétrica (alternada ou contínua), tensão elétrica (alternada ou contínua), resistência elétrica, temperatura entre outras grandezas (MATTEDE, 2022b). O multímetro digital no projeto utilizado pode ser visto na Figura 41.

Figura 41 – Multímetro digital Minipa ET-2040

Fonte: Autoria própria (2022).

Foi utilizado o multímetro digital da marca Minipa modelo ET-2040 para medir a tensão e a corrente contínua geradas pelo dispositivo.

5.3.1.14 Multímetro Digital Multi Meter DT-830B

Foi utilizado um segundo multímetro digital no projeto. O objetivo é demonstrar os valores de tensão e corrente elétrica no capacitor e no LED, ou seja, cada multímetro medirá uma propriedade elétrica simultaneamente. Ele pode ser visto na Figura 42.

Figura 42 – Multímetro Digital Multi Meter DT-830B



Fonte: Autoria própria (2022).

Foi utilizado o multímetro digital da marca Digital Multi Meter modelo DT-830B. No projeto ele será utilizado para medir tensão e/ ou corrente contínua gerados pelo projeto.

5.3.2 Componentes estruturais e mecânicos

Esta seção tem como objetivo especificar todos os componentes mecânicos utilizados no projeto e uma breve descrição do seu funcionamento dentro do dispositivo.

5.3.2.1 Madeira MDF

A madeira MDF (fibras de média densidade) é um produto composto de material uniforme na qual não possui camadas. É o resultado de aglutinação de fibras de madeira com resina sintética. É um material com característica de ser mais manuseável, devido sua constituição de fibras compactas e não orientadas, no qual

possibilita realizar trabalhos de pintura, colagem de lâminas e vernizes. A madeira MDF possui as seguintes características (HENN, 2019):

- a) Assemelha-se à madeira em sua manuseabilidade;
- b) Pode ser cortado em vários sentidos e suporta trabalhos de usinagem;
- c) Pode receber a aplicação de todos os tipos de revestimento;
- d) Não sofre com a variação de temperatura;
- e) É resistente;
- f) Ecologicamente sustentável;
- g) Absorve a umidade com mais facilidade.

Para o projeto será utilizado a madeira MDF em vez da madeira naval devido à disponibilidade comercial de compra, facilidade de trabalho de marcenaria e custo mais baixo quando comparado à naval. Toda a parte estrutural do projeto utilizará esse tipo de material.

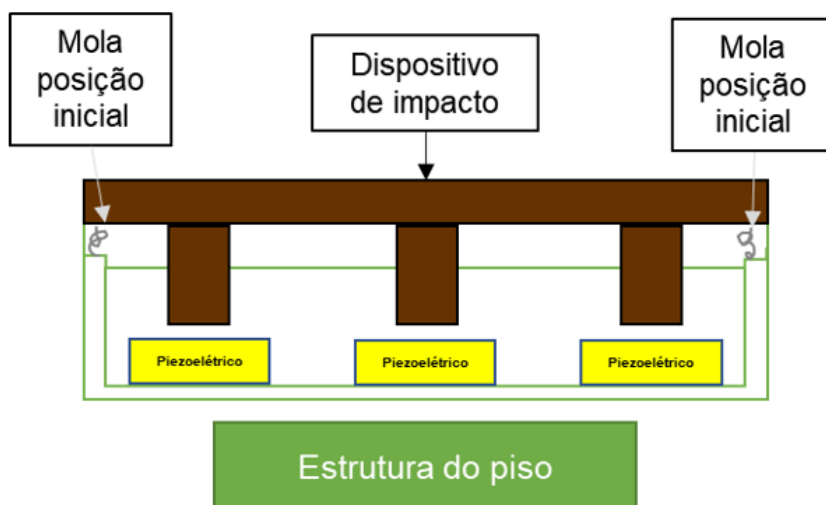
5.3.2.2 Mola helicoidal 3110

Uma mola é um objeto flexível onde possui capacidade de armazenar energia mecânica onde possui diversas aplicações, desde uma caneta até em conjunto de suspensões automobilísticas.

São objetos que tem como objetivo dar impulso ou resistência a outras peças, imprimindo movimentos, amortecendo pancadas, que deve reagir quando solicitada. Possuem alto potencial elástico com as seguintes características: deformação ocasionada por uma determinada força (flecha), não deforma de forma permanente (rigidez), capacidade de serem flexionadas, dobradas (flexibilidade), entre outros (NASCIMENTO, 2022). Para o projeto foram utilizadas quatro molas helicoidais 3110.

As molas serão empregadas no projeto com o objetivo de auxiliar o movimento do dispositivo que impacta o piezoelétrico. A mola será instalada em cada um dos quatro cantos da estrutura na sua posição inicial (não deformada) conforme Figura 43.

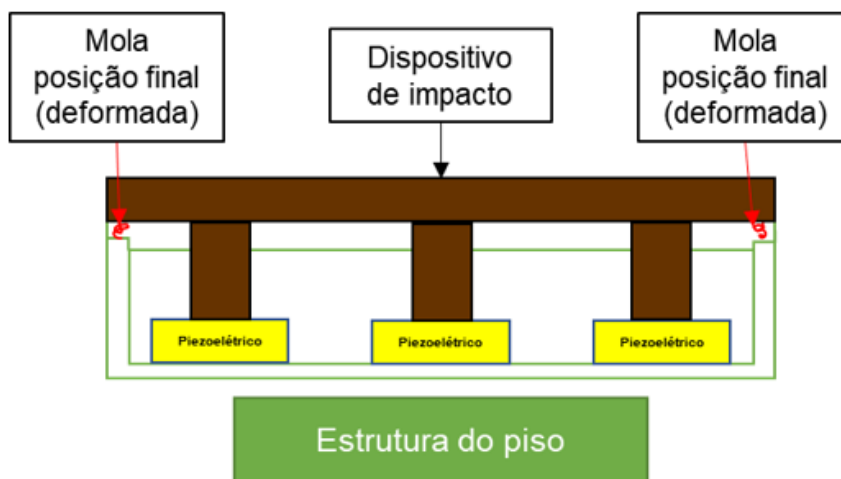
Figura 43 – Posição de instalação inicial (não deformada) da mola helicoidal



Fonte: Autoria própria (2022).

Quando o dispositivo de impacto for pressionado pelo passo do usuário a mola deve contrair (deformar) conforme Figura 44.

Figura 44 – Posição de instalação final (deformada) da mola helicoidal



Fonte: Autoria própria (2022).

Com as molas, é possível garantir que quando o dispositivo de impacto for acionado (pressionado) pelo usuário, o mesmo conseguirá impactar os cristais piezoelétricos e após retirada a pressão, ele volte para a posição inicial para um próximo ciclo de funcionamento.

5.4 Concepção dimensionada

Para o desenvolvimento da concepção determinada pela equipe foi utilizado o *software SolidWorks*. O programa possibilita uma melhor visualização do projeto e estudos que viabilizam a construção posterior do protótipo e testes preliminares do projeto.

Nesta seção serão apresentados brevemente os componentes mais importantes da ideia que permitem à equipe a construção do protótipo físico, sendo apresentado ao final o desenho completo do dispositivo.

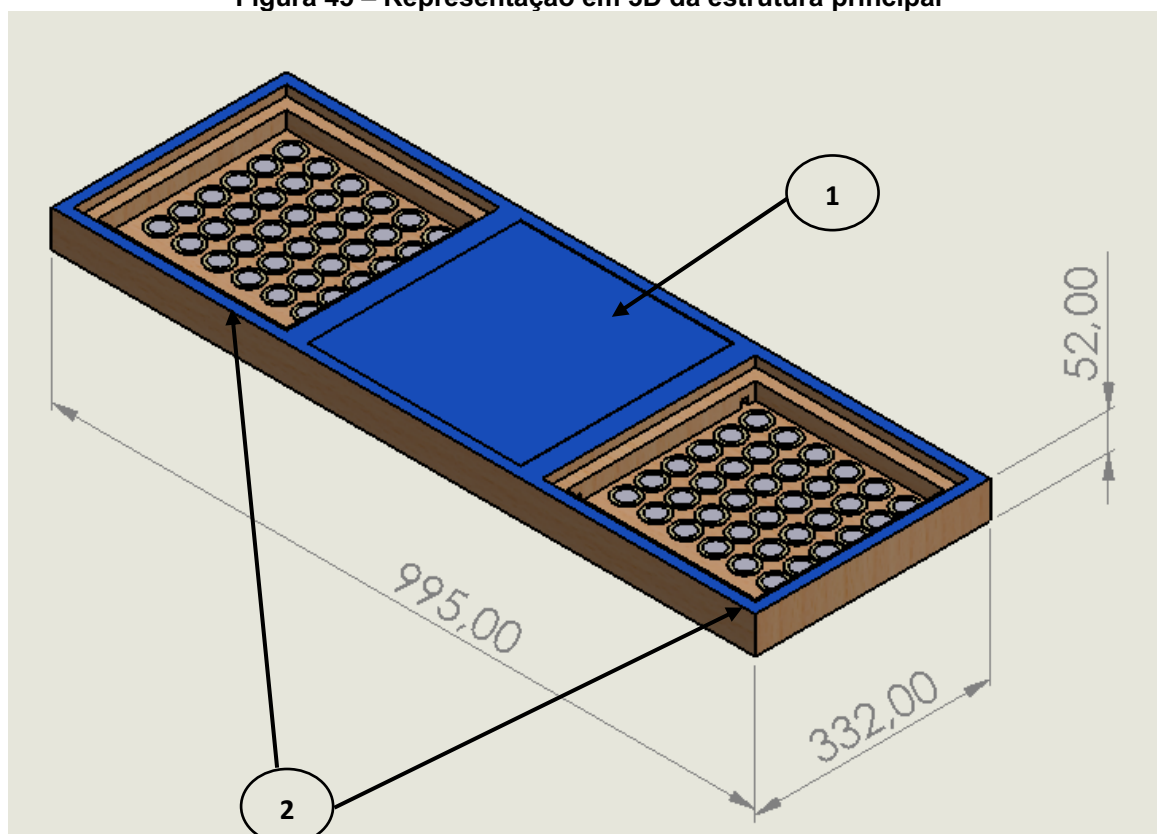
5.4.1 Estrutura

A estrutura da concepção é apresentada na Figura 45 e precisa compreender dois espaços distintos:

- 1) Para o armazenamento do núcleo do circuito elétrico;
- 2) Para a disposição dos cristais piezoelétricos e condições que possibilitem a execução do movimento causado pelos passos dos passageiros.

Para efeito prático, os espaços são dispostos em mesmo nível, de forma a simplificar a organização do circuito e facilitar manutenções periódicas. Desta forma, a Figura 45 apresenta o conceito desenvolvido pela equipe para a estrutura principal da solução, com a representação do piso de Taraflex que será disposto sobre o dispositivo.

Figura 45 – Representação em 3D da estrutura principal



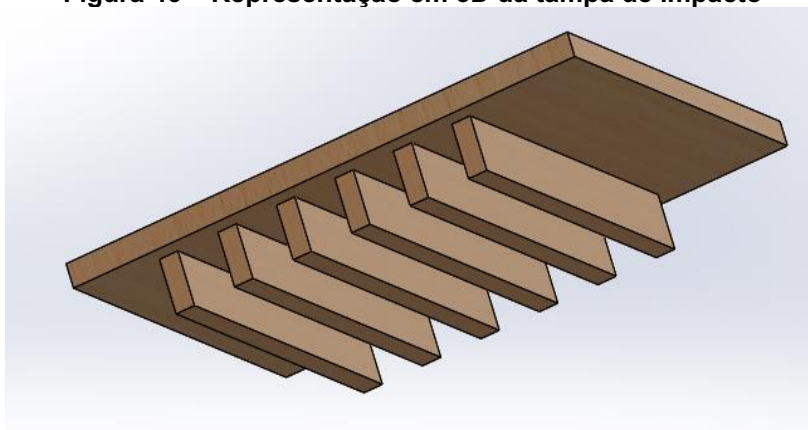
Fonte: Autoria própria (2022).

A disposição dos cristais piezoelétricos se dá de forma a permitir um impacto uniforme ao longo da superfície. O espaço central tem como objetivo armazenar a malha elétrica do circuito, permitindo uma disposição homogênea dos fios ao longo da superfície. Cada dispositivo comportará dois espaços com a disposição de 36 cristais em cada, ocupando uma área de 300 mm x 300 mm.

5.4.2 Tampa e peças de impacto

Para o impacto da tampa com os cristais piezoelétricos, foram desenvolvidas componentes de impacto. Cada tampa comporta seis elementos de mesma dimensão que impactarão uma linha de seis cristais simultaneamente. A Figura 46 apresenta o desenho da tampa com os elementos de impacto fixadas.

Figura 46 – Representação em 3D da tampa de impacto



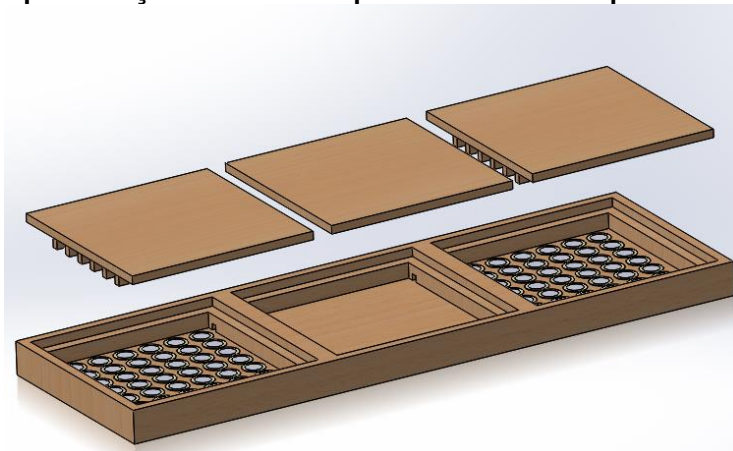
Fonte: Autoria própria (2022).

A disposição dos elementos é de grande importância na efetividade do dispositivo, haja vista que a energia gerada dependerá diretamente do seu impacto com os cristais. As dimensões necessitam de uma precisão dimensional maior que as dos demais componentes do projeto.

5.4.3 Concepção completa

Após a finalização do desenvolvimento dos componentes do projeto, a concepção é montada. A Figura 47 demonstra a estrutura completa, com a tampa de impacto aberta.

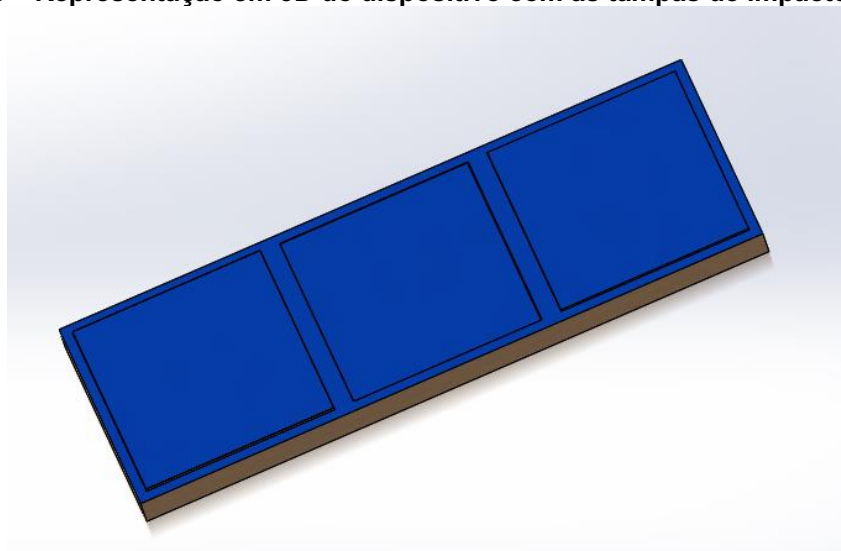
Figura 47 – Representação em 3D do dispositivo com as tampas de impacto abertas



Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 48 apresenta o dispositivo em sua posição com a tampa fechada, com a representação da superposição da camada de Taraflex do piso do ônibus. Posteriormente, será apresentado o desenvolvimento do desenho dos componentes elétricos a serem empregados na estrutura.

Figura 48 – Representação em 3D do dispositivo com as tampas de impacto fechadas



Fonte: Autoria própria (2022).

5.4.4 Concepção aplicada em ônibus urbano elétrico *Padron*

Com a concepção do projeto já realizada, faz-se necessário demonstrar os locais no piso do ônibus em que a equipe acredita serem os melhores para a instalação do dispositivo concebido.

Para isso, a equipe utilizou um modelo de ônibus urbano elétrico *Padron* disponível no simulador *Proton Bus Simulator* para demonstrar os locais de aplicação. Na Figura 49 pode ser vista a aplicação no piso da porta de entrada de um ônibus e no piso de um dos assentos dianteiros.

Figura 49 – Representação do dispositivo instalado na porta de entrada e no piso do assento de um ônibus.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na Figura 50 pode ser vista a representação de um passageiro entrando no ônibus e pisando no dispositivo localizado na porta de entrada.

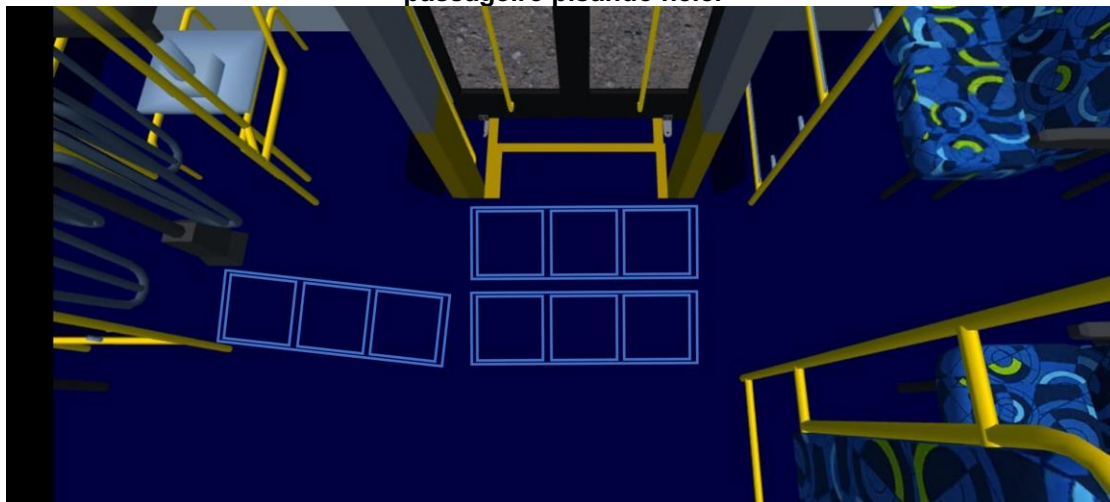
Figura 50 – Representação do dispositivo instalado na porta de entrada de um ônibus com um passageiro pisando nele.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na Figura 51 pode ser visto o dispositivo aplicado na região da catraca e da porta de saída central do ônibus.

Figura 51 – Representação do dispositivo instalado na porta de entrada de um ônibus com um passageiro pisando nele.



Fonte: A autoria própria (2022).

Conforme pode ser visto, o dispositivo pode ser aplicado praticamente em todos os locais do piso de um ônibus. Porém, conforme já mencionado pela equipe, há necessidade de um estudo para identificar os melhores locais de instalação com o objetivo de se garantir com que todos os passageiros pisem no dispositivo a fim de se obter a máxima eficiência do mesmo.

Após a finalização do desenho e estudos sobre o dispositivo, a ideia pode ser desenvolvida com a produção do protótipo físico e realização de testes preliminares. A próxima etapa será de construção do protótipo físico a partir da concepção desenvolvida no presente capítulo. O apêndice D apresenta os desenhos técnicos dos componentes desenvolvidos na fase de concepção dimensionada.

6 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO E TESTES PRELIMINARES

Com a conclusão das etapas de projeto conceitual e projeto preliminar, a próxima etapa do projeto é a fabricação do protótipo funcional do tipo prova de conceito. O protótipo é necessário para realizar todos os testes necessários para obtenção de dados fornecidos por ele. Com os dados obtidos, faz-se uma avaliação deles para realizar alterações caso seja necessário.

Este capítulo tem como objetivo descrever o processo de fabricação do protótipo, seus desafios e possíveis diferenças das peças manufaturadas considerando os modelos projetados no CAD. No final, serão realizados testes funcionais e de desempenho.

6.1 Estratégia de confecção

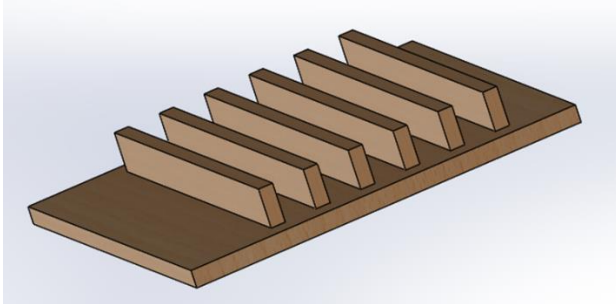


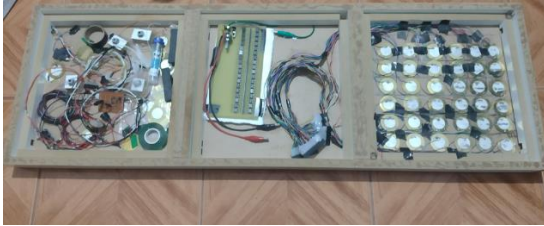
Foi necessário terceirizar com um marceneiro o processo de fabricação e montagem de toda parte estrutural em MDF do dispositivo, conforme projeto realizado no CAD.

A equipe ficou responsável pela montagem dos componentes eletrônicos e mecânicos, gerando assim o dispositivo completo.

6.2 Conjuntos

Esta seção tem como objetivo demonstrar uma comparação dos modelos em CAD versus os conjuntos montados, conforme pode ser visto no Quadro 9.

Quadro 9 – Comparação modelo em CAD versus conjuntos montados

Modelo em CAD	Protótipo
	
	

Fonte: Autoria própria (2022).

6.3 Descrição das etapas de montagem do protótipo

Para a montagem do protótipo a equipe planejou o seguinte passo a passo conforme a seguir:

1. Instalação dos cristais piezoelétricos na parte estrutural e soldagem dos cabos elétricos;
2. Montagem do dispositivo de impacto dos cristais piezoelétricos;
3. Soldagem dos componentes eletrônicos do circuito elétrico na placa perfurada;
4. Conexão da placa eletrônica com os cabos elétricos dos cristais piezoelétricos.

Cada um dos itens listados será descrito a seguir.

6.3.1 Instalação dos cristais piezoelétricos na parte estrutural e soldagem dos cabos elétricos

Foram instalados 36 cristais piezoelétricos no compartimento projetado, conforme Figura 52.

Figura 52 – Instalação dos cristais piezoelétricos na parte estrutural



Fonte: Autoria própria (2022).

A instalação dos cristais na madeira é realizada com a utilização de uma fita de dupla face para efetuar a união da parte metálica dos cristais piezoelétricos com a base da estrutura de madeira MDF.

Após a instalação, foi realizada a soldagem dos cabos elétricos nos cristais com o objetivo de testar o formato de circuito elétrico misto, a fim de realizar um teste para saber se ligando os cristais piezoelétricos a esse circuito misto (paralelo + série) em conjunto a uma única ponte retificadora, destinada a carregar um capacitor eletrolítico. A equipe decidiu realizar esse teste preliminar com o intuito de economizar na quantidade de cabos elétricos e pontes retificadoras, pois, conforme apresentado anteriormente no teste com um único cristal piezoelétrico ligado a uma ponte retificadora, em caso de o teste obter um resultado positivo, é possível economizar 35 pontes retificadoras. Os resultados do teste preliminar serão apresentados na seção 6.3.2.1.

6.3.2 Montagem do dispositivo de impacto dos cristais piezoelétricos

Para a montagem do dispositivo de impacto, foi necessário, primeiramente, realizar o alinhamento dos elementos de impacto com os cristais, conforme Figura 53.

Figura 53 – Alinhamento das peças de impacto nos cristais piezoelétricos



Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme pode ser visto na Figura 53, foram instaladas as molas de auxílio do movimento de impacto nas extremidades do compartimento destinado ao movimento de compressão.

Após o alinhamento, os elementos de impacto foram fixados na tampa de pisar. O resultado pode ser visto na Figura 54.

Figura 54 – Colagem da tampa de pisar com as peças de impacto



Fonte: Autoria própria (2022).

O resultado da montagem do dispositivo de impacto pode ser visto na Figura 55.

Figura 55 – Resultado da montagem do dispositivo de impacto



Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme demonstrado no modelo em CAD e na Figura 55, o piso é dividido em três partes. Nas duas extremidades se encontram os compartimentos onde serão dispostos os cristais piezoelétricos onde receberam o impacto da tampa. O

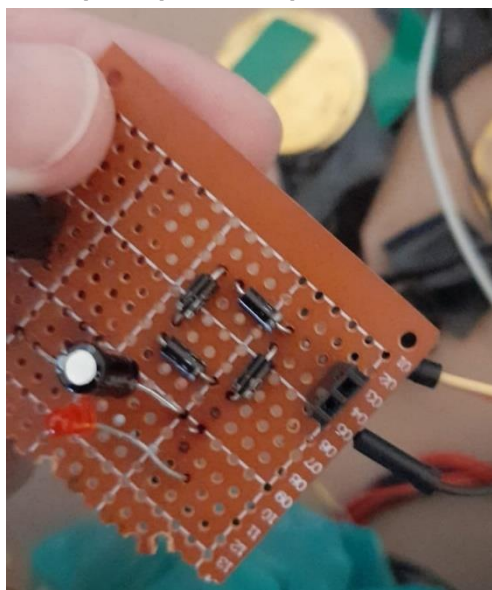
compartimento central será utilizado para o armazenamento dos componentes eletrônicos. Para a construção do protótipo, a equipe decidiu apenas instalar 36 cristais piezoelétricos em uma das extremidades.

6.3.2.1 Teste preliminar do dispositivo com circuito misto

Foi montada uma mini placa perfurada para testar o funcionamento do circuito elétrico misto instalado nos cristais piezoelétricos. Para o teste foram utilizados quatro diodos 1N4007 para montagem da ponte retificadora, um capacitor eletrolítico e um LED vermelho 5 mm.

Os cabos positivos e negativos resultantes do circuito elétrico misto dos 36 cristais piezoelétricos foram conectados a ponte retificadora instalada na placa conforme Figura 56.

Figura 56 – Mini placa perfurada para teste de circuito misto



Fonte: A autoria própria (2022).

O teste não produziu os resultados esperados. Não foi possível carregar o capacitor e conseqüentemente acender o LED aplicando pressão por impacto aos 36 cristais piezoelétricos.

Devido a esse resultado, refez-se o circuito elétrico de saída de energia dos cristais, soldando dois cabos de energia (um em cada polo do cristal) para cada um dos 36 cristais piezoelétricos conforme pode ser visto na Figura 57.

Figura 57 – Novo circuito elétrico de saída de energia dos cristais piezoelétricos



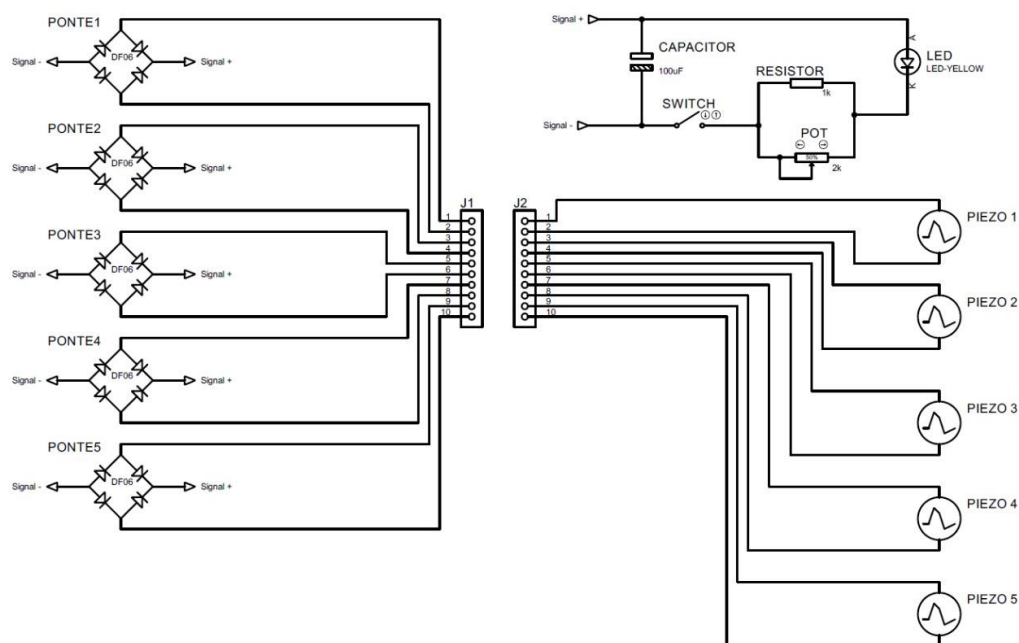
Fonte: Autoria própria (2022).

Cada cristal agora possui dois cabos elétricos: um soldado no metal e outro na parte cerâmica do cristal. Cada dupla de cabos conecta-se aos terminais de sinal alternado da ponte retificadora. Como há 36 cristais piezoelétricos no projeto, então faz-se necessário na placa do circuito elétrico ser ter 36 pontes retificadoras, ou seja, uma para cada cristal piezoelétrico.

6.3.3 Soldagem dos componentes eletrônicos na placa perfurada

Para o dimensionamento da placa eletrônica do circuito, foi utilizado o *software* Proteus 8.6. O desenho esquemático do circuito está demonstrado na Figura 58.

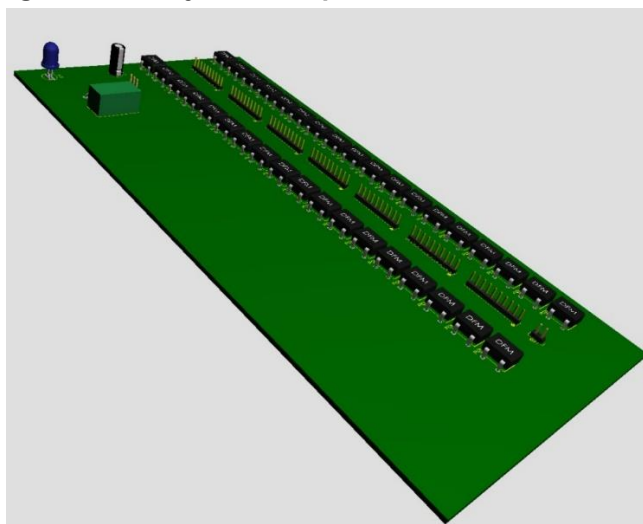
Figura 58 – Circuito eletrônico do projeto



Fonte: Autoria própria (2022).

O desenho do projeto em 3D da placa eletrônica do circuito está demonstrado na Figura 59.

Figura 59 – Projeto 3D da placa eletrônica do circuito



Fonte: Autoria própria (2022).

A placa perfurada foi utilizada para a soldagem dos componentes do circuito eletrônico. Na placa são soldadas as 36 pontes retificadoras, o barramento de pinos,

o capacitor eletrolítico, o resistor elétrico, o potenciômetro, a chave HH e o LED amarelo.

O sinal de tensão alternada do acionamento dos cristais piezoelétricos é retificado pela ponte H para uma saída contínua transformando a tensão alternada em contínua. O sinal de todas as 36 pontes é ligado em paralelo, gerando assim um único sinal somado de tensão contínua positiva. Essa tensão está em paralelo com o capacitor, o qual é carregado. Também em paralelo ao capacitor está a carga representada pelo LED. Em série no circuito está o resistor em conjunto com o potenciômetro para controle da descarga de energia do capacitor para o LED e uma chave de liga/ desliga do circuito.

O resultado da soldagem dos componentes eletrônicos na placa perfurada pode ser visto na Figura 60.

Figura 60 – Placa eletrônica com os componentes soldados



Fonte: Autoria própria (2022).

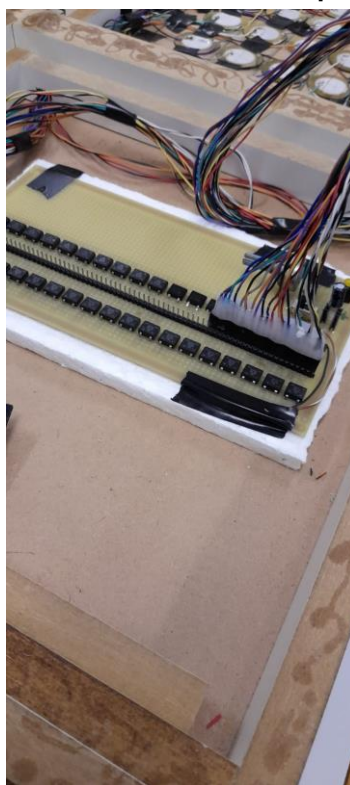
Foi utilizada uma placa de poliestireno com o intuito de isolar as soldas realizadas na parte inferior da placa com a estrutura de madeira. Após a soldagem

foram realizados testes de continuidade elétrica utilizando o multímetro para garantir o funcionamento de todos os componentes.

6.3.4 Conexão da placa eletrônica com os cabos elétricos dos cristais piezoelétricos

Foi elaborado um chicote de fio elétricos, com uma ponta soldada nos cristais piezoelétricos e a outra em um barramento de pino do tipo fêmea. Este é conectado em um barramento do tipo macho que está soldado na placa. Cada par de pino na placa vai para respectivos polos de entrada alternada de uma ponte H. Assim, o circuito dos polos do piezoelétrico com os polos da ponte H é fechado. Essa conexão pode ser vista na Figura 61. Para auxiliar no isolamento dos fios no chicote, a equipe optou pela utilização de cola quente.

Figura 61 – Placa eletrônica com os componentes soldados

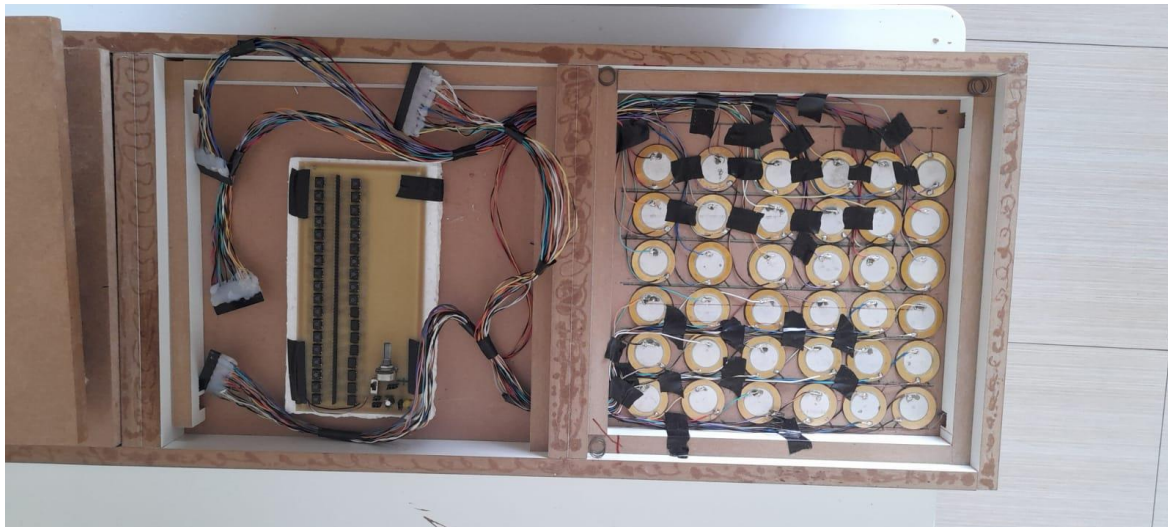


Fonte: Autoria própria (2022).

6.4 Conclusão da etapa de construção do protótipo

Após todas as etapas construtivas descritas, o protótipo do dispositivo de geração de energia elétrica por efeito piezoelétrico finalizado pode ser visto na Figura 62.

Figura 62 – Protótipo do dispositivo de geração de energia elétrica por efeito piezoelétrico



Fonte: Autoria própria (2022).

O funcionamento do protótipo na prática é realizado da seguinte forma: a energia é gerada com a pressão (dos pés) no piso que faz o acionamento dos cristais piezoelétricos, carregando o capacitor. Ao acionar a chave de liga/ desliga, havendo energia no capacitor, essa energia é descarregada no LED acionando.

7 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as metodologias de testes aplicadas pela equipe e os resultados obtidos, além da discussão destes dados.

7.1 Metodologia para obtenção dos resultados

Conforme observado na seção 2.5, uma das formas de análise de desempenho é medir a potência elétrica gerada pelo dispositivo pela quantidade de passos de uma pessoa no dispositivo.

Com isso, a fim de comparar o protótipo construído com o *benchmarking* apresentado, resolveu aplicar duas metodologias para obtenção dos resultados.

A primeira, semelhante ao apresentado no *benchmarking*, foram analisados os resultados de tensão, corrente e potência elétrica pela quantidade de passos de uma pessoa.

A segunda, utilizando um peso e uma altura fixada pela equipe, buscou analisar os resultados de tensão, corrente e potência elétrica através de uma força de impacto vertical.

Para a aplicação comercial, o estudo com o método dos passos permite uma simulação da variação de força aplicada pelos passageiros do ônibus. No entanto, para facilitar a repetibilidade do estudo, a equipe opta pela utilização do segundo método, por conta da maior consistência dos resultados devido ao maior controle nos valores da energia potencial que impactará o dispositivo.

7.2 Metodologia 1 - Resultados obtidos pelo método de passos

A presente seção tem como objetivo explicar a forma de como foram coletados os dados elétricos medidos e a forma como foram realizados os testes no protótipo, utilizando o método de passos de uma pessoa.

7.2.1 Medição da força de um passo

Para obter os resultados pelo método de passos de uma pessoa, semelhante ao apresentado pelos produtos pesquisados no *benchmarking* mediu-se, de forma aproximada, o valor de carga de um passo de uma pessoa, utilizando uma balança, conforme Figura 63.

Figura 63 – Teste de peso aproximado de um passo de uma pessoa



Fonte: Autoria própria (2022).

Com a massa, multiplicando pela força gravitacional aproximada de $9,81 \text{ m/s}^2$ (HALLIDAY *et al*, 2016) se obtém a força em Newtons.

Porém, houve uma grande dificuldade para se chegar a um resultado satisfatório, pois, em um passo, há variação de força aplicada pela perna e altura, fazendo que, conseqüentemente, haja variação da massa e então força peso.

Foram realizadas cinco medições de massa e calculadas a força peso conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Medições de força peso

Medição	Massa (m) encontrada por passo (kg)	Força peso ($P = m \cdot g$) $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (N)
1	15	145,15
2	20	196,2
3	17	166,77
4	22	215,82
5	13	127,53
Média	17,4	170,70

Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme pode ser observado há uma grande variação de força peso pelo método utilizado pela equipe. Com isso, a média aritmética do valor da carga será utilizada como referência.

Conforme apresentado na seção 2.4.1.4, para efeito de comparação o item 6.3.1 da norma NBR 15570 (2021) o peso médio por pessoa considerado para dimensionamento de carga de um piso em um ônibus é de 667 N.

7.2.2 Medição de tensão e corrente elétrica pela metodologia 1

Após obtenção da força média de um passo, foram realizadas as medições de corrente elétrica utilizando um Multímetro digital Minipa ET-2040 e um multímetro digital da marca Digital Multi Meter DT-830B para obter os dados de tensão elétrica. Com esses dados é possível calcular a potência elétrica do dispositivo.

A equipe examinou três cenários: i) 30 passos; ii) 50 passos; iii) 100 passos.

Repetidas de forma sequencial e realizadas pela mesma pessoa. Para cada cenário, foram realizadas dez repetições.

Foram realizadas as medições de tensão no capacitor e corrente elétrica no LED de forma simultânea além de tensão no LED, em um outro conjunto de medidas.

Com os dados de tensão no LED, será aplicada a lei de ohm, aplicando a resistência do circuito elétrico que é de 670 Ohms, nos valores medidos para se encontrar as correntes elétricas teóricas. Com a média desses valores, será calculada a potência elétrica por passo no LED.

7.2.3 Medição de tensão elétrica no capacitor, corrente elétrica no LED e cálculo de potência elétrica no capacitor pela metodologia 1

De forma prática, após a aplicação dos passos são medidos os dados de tensão elétrica armazenada no capacitor com a chave desligada. Após colher este dado, aciona-se a chave liga/ desliga para medir a corrente elétrica no LED e verificar se o mesmo acende ou não.

Para a obtenção de tensão elétrica foi realizada a medição utilizando a função de tensão contínua do multímetro. Para a obtenção de corrente, foi realizada a medição utilizando a função de corrente contínua.

A Tabela 4 apresenta os resultados da tensão medida no capacitor com a chave desligada e a corrente elétrica no LED com a chave ligada após 30, 50 e 100 passos. Ou seja, nos três cenários propostos pela equipe.

Tabela 4 – Resultados de tensão no capacitor e corrente no LED

Med.	Tensão capacitor (V)			Corrente LED (mA)		
	Chave desligada			Chave ligada		
	30 passos	50 passos	100 passos	30 passos	50 passos	100 passos
1	4,93000	6,32000	8,65000	1,01000	2,75000	3,26000
2	5,15000	6,95000	8,15000	1,70000	1,79000	4,33000
3	6,26000	6,39000	8,04000	2,54000	2,65000	2,18000
4	5,56000	6,75000	10,14000	2,72000	2,68000	2,15000
5	6,71000	6,37000	9,70007	3,32000	2,67000	3,17000
6	6,68000	6,78000	6,85000	2,92000	3,10000	2,48000
7	6,57000	7,10000	10,52000	1,31000	2,88000	1,66000
8	5,90000	6,18000	8,44000	1,30000	3,21000	2,08000
9	5,71000	6,90000	7,15000	2,50000	2,60000	3,67000
10	5,62000	6,20000	9,15000	1,40000	1,80000	3,26000
Média	5,91000	6,59000	8,69000	2,07000	2,61000	2,82000

Fonte: Autoria própria (2022).

Com a média dos resultados, foi calculada a potência elétrica no LED dessa medição, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Potência elétrica no capacitor (W)

Passos	Tensão capacitor (V) Medida	Corrente LED (A) Medida	Potência total (W) P = V*I	Potência por passo (W)
30	5,91000	0,00207	0,01223	0,00040
50	6,59000	0,00261	0,01719	0,00034
100	8,69000	0,00282	0,02450	0,00024

Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme pode ser observado nos resultados, a potência elétrica por passo no capacitor é muito reduzida, se comparada aos exemplos apresentados no *benchmarking*.

7.2.4 Medição de tensão elétrica no LED, corrente elétrica teórica no LED e cálculo de potência elétrica no LED pela metodologia 1

Para a medição de tensão no LED, após a aplicação da pressão por passos são colhidos os dados ligando a chave. A corrente elétrica utilizada será a teórica, conforme a Lei de Ohm (MATTEDE, 2022a) de acordo com a equação (20).

$$I = \frac{V}{R} \quad (20)$$

Onde I é a corrente elétrica teórica, V é a tensão no LED e R é a resistência elétrica do circuito que no caso desse projeto é de 670 Ohms.

Para a obtenção de tensão, realizou-se a medição utilizando a função de tensão contínua do multímetro digital.

A Tabela 6 apresenta os resultados da tensão medida no LED após 30, 50 e 100 passos. Ou seja, nos três cenários propostos pela equipe.

Tabela 6 – Resultados de tensão medida no LED e corrente elétrica teórica

Med.	Tensão LED (V)			Corrente LED (A)		
	Medida - Chave ligada			Teórica		
	30 passos	50 passos	100 passos	30 passos	50 passos	100 passos
1	1,72000	1,75000	1,80000	0,00250	0,00260	0,00270
2	1,70000	1,79000	1,70000	0,00250	0,00270	0,00250
3	1,76000	1,65000	1,73000	0,00260	0,00240	0,00260
4	1,68000	1,68000	1,76000	0,00250	0,00250	0,00260
5	1,74000	1,67000	1,69000	0,00260	0,00250	0,00250
6	1,70000	1,77000	1,74000	0,00250	0,00260	0,00260
7	1,67000	1,88000	1,73000	0,00250	0,00280	0,00260
8	1,74000	1,68000	1,80000	0,00260	0,00250	0,00270
9	1,78000	1,60000	1,70000	0,00270	0,00230	0,00250
10	1,73000	1,80000	1,72000	0,00260	0,00270	0,00250
Média	1,72000	1,73000	1,74000	0,00250	0,00260	0,00260

Fonte: Autoria própria (2022).

Com a média dos resultados, foi calculada a potência elétrica no LED conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Potência elétrica no LED (W)

Passos	Tensão LED (V) Medida	Corrente LED (A) Teórica	Potência total (W) $P = V \cdot I$	Potência por passo (W)
30	1,72000	0,00250	0,00430	0,00010
50	1,73000	0,00260	0,00450	0,00010
100	1,74000	0,00260	0,00450	0,00001

Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme pode ser observado, a potência elétrica medida no LED é muito menor que a no capacitor e, também, se comparada aos dados obtidos de potência elétrica por passo no *benchmarking*.

7.3 Metodologia 2 - Resultados obtidos pelo método de impacto de uma força vertical determinada

Esta seção tem como objetivo explicar a forma de como foram coletados os dados elétricos e a forma como foram realizados os testes no protótipo, utilizando uma técnica de impacto utilizando uma força vertical determinada.

7.3.1 Medição da massa para impacto

Conforme observado na seção 7.2, um passo pode ter uma grande variação nos valores de força e isso pode comprometer os resultados obtidos. Uma forma de se obter os dados a partir do protótipo é determinar uma massa conhecida a uma altura fixa posicionada. Soltando essa massa contra o piso do protótipo há o impacto e, assim, acionam-se os cristais piezoelétricos.

A ideia da equipe foi colocar pedra com formato de paralelepípedo dentro de uma sacola plástica suficientemente resistente para aguentar o peso. A equipe decidiu que a massa deveria ser de dez quilogramas. Para isso foram adicionadas cinco pedras tipo paralelepípedos dentro da sacola. Com o auxílio de uma balança, obteve-se o valor da massa. Também foi determinado que a altura para soltar a massa para impactar o piso seja de aproximadamente 13 centímetros. As medições realizadas são apresentadas na Figura 64.

Com a massa de dez quilogramas, multiplicando pela força gravitacional aproximada de $9,81 \text{ m/s}^2$ (HALLIDAY *et al*, 2016) e pela distância de 0,13 m se obtém uma energia potencial gravitacional de 12,75 Joules.

Com esse método se garante que todo o impacto no piso não terá variação de força peso, o que traz mais confiabilidade nos resultados medidos.

Figura 64 – Aferição de medidas para impacto**a) Medição de altura****b) Medição de massa**

Fonte: Autoria própria (2022).

7.3.2 Medição de tensão e corrente elétrica pela metodologia 2

Após obtenção da força, foram realizadas as medições de corrente elétrica utilizando um Multímetro digital Minipa ET-2040 e um multímetro digital da marca Digital Multi Meter DT-830B para obter os dados de tensão elétrica. Com esses dados é possível calcular a potência elétrica do dispositivo.

A equipe decidiu criar três cenários, um com 30 acionamentos por impacto, outro com 50 e outro com 100 acionamentos por impacto, repetidas de forma sequencial e realizadas pela mesma pessoa para se garantir a altura de 13 centímetros estipulada pela equipe. Para cada cenário, foram realizadas dez repetições.

Foram realizadas as medições de tensão no capacitor e corrente elétrica no LED de forma simultânea, além de tensão no LED, em um outro conjunto de medidas.

Com os dados de tensão no LED, associados à Lei de Ohm, e a resistência do circuito elétrico que é de 670 Ohms nos valores medidos encontram-se as correntes elétricas teóricas. Com a média desses valores, pode-se calcular a potência elétrica por passo no LED.

7.3.3 Medição de tensão elétrica no capacitor, corrente elétrica no LED e cálculo de potência elétrica no capacitor pela metodologia 2

De forma prática, após o impacto da massa contra o piso obtém-se os dados de tensão elétrica armazenada no capacitor, com a chave desligada. Após colher o valor, aciona-se a chave liga/ desliga para medir a corrente elétrica no LED e verificar se o mesmo acende ou não.

Para a obtenção de tensão, realizou-se a medição utilizando a função de tensão contínua do multímetro e, para a obtenção de corrente, foi realizada a medição com a função de corrente contínua.

A Tabela 8 apresenta os resultados da tensão medida no capacitor com a chave desligada e a corrente elétrica no LED com a chave ligada após 30, 50 e 100 impactos.

Tabela 8 – Resultados de tensão no capacitor e corrente no LED

Med.	Tensão capacitor (V)			Corrente LED (mA)		
	Chave desligada			Chave ligada		
	30 vezes	50 vezes	100 vezes	30 vezes	50 vezes	100 vezes
1	6,78000	8,25000	9,84000	2,85000	2,49000	4,20000
2	5,77000	6,79000	9,90000	2,83000	2,22000	3,89000
3	6,07000	6,65000	9,83000	2,39000	2,82000	4,56000
4	5,80000	8,48000	10,83000	2,58000	2,67000	3,33000
5	6,10000	7,55000	12,63000	2,69000	2,78000	3,66000
6	5,76000	6,86000	11,52000	2,10000	2,24000	4,25000
7	6,40000	6,65000	9,89000	2,35000	2,42000	3,22000
8	4,70000	8,08000	12,04000	2,19000	2,89000	4,12000
9	5,87000	6,78000	9,98000	2,47000	2,24000	3,94000
10	5,48000	8,42000	10,58000	2,18000	2,34000	3,40000
Média	5,87000	7,45000	10,7000	2,46000	2,51000	3,86000

Fonte: Autoria própria (2022).

Com a média dos resultados calculou-se a potência elétrica no LED dessa medição conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Potência elétrica no capacitor (W)

Nº de impactos	Tensão capacitor (V)	Corrente LED (A)	Potência total (W) $P = V \cdot I$	Potência por impacto (W)
	Medida	Medida		
30	5,87000	0,00246	0,01444	0,00048
50	7,45000	0,00251	0,01870	0,00037
100	10,70000	0,00386	0,04130	0,00041

Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme pode ser observado nos resultados, a potência elétrica por passo no capacitor ainda é muito pequena se comparada aos exemplos apresentados no *benchmarking*. Porém, um pouco maior que os valores encontrados na seção 7.2.3.

7.3.4 Medição de tensão elétrica no LED, corrente elétrica medida no LED e cálculo de potência elétrica no LED pela metodologia 2

A medição de tensão no LED e corrente elétrica no LED após o impacto da massa ao piso ocorre ligando-se a chave.

Para a obtenção de tensão, foi realizada a medição com a função de tensão contínua do multímetro digital.

A Tabela 10 apresenta os resultados da tensão medida no LED após 30, 50 e 100 impactos da massa contra a tampa do protótipo. Ou seja, nos três cenários propostos pela equipe.

Tabela 10 – Resultados de tensão medida no LED e corrente elétrica teórica

Med.	Tensão LED (V)			Corrente LED (mA)		
	Medida - Chave ligada			Medido		
	30 vezes	50 vezes	100 vezes	30 vezes	50 vezes	100 vezes
1	1,79000	1,41000	2,22000	2,85000	3,63000	1,65000
2	1,74000	1,67000	1,70000	2,83000	2,95000	0,36000
3	1,78000	1,69000	1,60000	2,39000	3,20000	4,18000
4	1,69000	1,74000	1,71000	2,58000	0,34000	1,28000
5	1,74000	1,71000	1,69000	2,69000	2,33000	0,47000
6	1,69000	1,65000	1,69000	2,10000	4,51000	3,35000
7	1,77000	1,64000	1,61000	2,35000	2,40000	3,38000
8	1,68000	1,70000	1,71000	2,19000	1,30000	6,34000
9	1,69000	1,67000	1,69000	2,47000	2,18000	4,12000
10	1,39000	1,69000	1,66000	2,18000	4,46000	3,40000
Média	1,70000	1,66000	1,73000	2,46000	2,73000	2,85000

Fonte: Autoria própria (2022).

Com a média dos resultados calculou-se a potência elétrica no LED conforme Tabela 11.

Tabela 11 – Potência elétrica no LED (W)

Nº de impactos	Tensão LED (V) Medida	Corrente LED (A) Medida	Potência total (W) $P = V \cdot I$	Potência por impacto (W)
30	1,70000	0,00246	0,00418	0,00013
50	1,66000	0,00273	0,00453	0,00009
100	1,73000	0,00285	0,00493	0,00004

Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme pode ser observado, a potência elétrica medida no LED é muito menor que a no capacitor. Também, os valores neste caso, são inferiores aos encontrados no *benchmarking*.

7.3.5 Discussão dos resultados

A equipe acredita que os baixos resultados se devem ao fato de que os cristais piezoelétricos utilizados no protótipo, que foram adquiridos comercialmente são, em questão de performance elétrica, muito inferiores aos utilizados nos dispositivos examinados no *benchmarking*. Pode-se inferir que: i) ou os resultados do *benchmarking* são extremamente otimistas; ii) ou seus cristais piezoelétricos têm suas propriedades físico-químicas modificadas, sendo assim uma forma de melhorar sua performance quando comparados ao cristal comercial utilizado pela equipe.

Uma questão levantada pela equipe é que os produtos contidos no *benchmarking* podem apresentar limitações na medição de potência elétrica, pois há grande variação de força em um passo. Conforme observado pela equipe e pela literatura apresentada, quanto maior a força de impacto, mais energia elétrica os cristais piezoelétricos geram.

Um outro ponto no projeto é que foi identificada uma fuga de tensão elétrica no capacitor, pois quando ocorriam as medições com o multímetro, em vez do valor de tensão contínua estabilizar, ele começava a cair. A equipe não conseguiu identificar a origem da fuga, já que na fase de montagem o capacitor foi trocado duas vezes.

7.3.6 Custo da fabricação do dispositivo protótipo

Na Tabela 12 são apresentados os custos de matéria-prima, serviços e demais custos gerados para a fabricação do dispositivo.

Como pode ser observado o custo total para a construção do protótipo do dispositivo foi de R\$ 598,40 reais. Alguns materiais, como o multímetro digital Minipa e ferro de solda, não são contabilizados pois foram emprestados pela equipe junto à universidade.

Tabela 12 – Custo para fabricação do dispositivo protótipo

Custo de peças e serviço do protótipo				
Item	Quantidade	Custo unitário	Total	
Barra de pinos BPSC-40 1x40 Metaltex	2	R\$ 0,90	R\$	1,80
Cabo elétrico de cobre com bitola de 0,2 mm ²	3	R\$ 28,20	R\$	84,60
Capacitor eletrolítico circular de alumínio 100µF x 25V	2	R\$ 2,10	R\$	4,20
Chave HH com três terminais com haste micro 180	1	R\$ 2,65	R\$	2,65
Cola Cianocrilato moveleiro Tekbond 20g	1	R\$ 5,50	R\$	5,50
Conector header para PCI MCS-40 1x40 Metaltex	2	R\$ 3,50	R\$	7,00
Fio de estanho Soft Metais para solda 1,0 mm	2	R\$ 8,50	R\$	17,00
Fita dupla face acrílica Tekbond 12 mm x 2 m	2	R\$ 12,90	R\$	25,80
Poliestireno	1	R\$ 3,99	R\$	3,99
LED amarelo/ vermelho Ø5 mm 2V 20mA	2	R\$ 0,18	R\$	0,36
Marcenaria - Construção da estrutura	1	R\$ 200,00	R\$	200,00
Mola helicoidal 3110	4	R\$ 5,00	R\$	20,00
Multímetro Digital Multi Meter DT-830B	1	R\$ 58,70	R\$	58,70
Pastilha piezoelétrica circular Ø35 mm	36	R\$ 1,80	R\$	64,80
Placa fenolite perfurada 10x20 cm PP-D(PD-9)	1	R\$ 30,00	R\$	30,00
Ponte retificadora DF06 1A x 600v	36	R\$ 1,90	R\$	68,40
Potenciômetro linear KB 16 mm 2000Ω eixo L20 sem chave Arsolcomp	1	R\$ 3,50	R\$	3,50
Resistor elétrico 1000Ω 5% 1/4W	1	R\$ 0,10	R\$	0,10
Total geral			R\$	598,40

Fonte: Autoria própria (2022).

7.3.7 Viabilidade para aplicação em um ônibus urbano elétrico tipo *Padron*

Com os dados apresentados, é possível conduzir os mesmos cálculos apresentados na seção 2.6.1. A partir dos resultados de potência elétrica gerada pelo protótipo com 36 cristais piezoelétricos, para os cálculos, será considerada a maior potência elétrica encontrada no capacitor por passo e em caso de o resultado não ser

positivo nela, conseqüentemente, não será positivo o cálculo utilizando a potência elétrica no LED. O valor utilizado de potência elétrica será o de 0,00040W por passo.

Tomando como base os mesmos dados da seção 2.6.1 e substituindo o valor de potência elétrica gerado pelo dispositivo no capacitor, a equação (21) demonstra a quantidade de energia elétrica que uma placa pode gerar por passo (E_{passo}).

$$E_{\text{passo}} = \frac{2 \text{ s} \times 0,0004 \text{ W}}{\text{passo}} = \frac{0,0008 \text{ Ws}}{\text{passo}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 2 \times 10^{-7} \frac{\text{Wh}}{\text{passo}} \quad (21)$$

Então, a energia média gerada em um dia é apresentada na equação (22).

$$\begin{aligned} E_{\text{total}} &= 2 \times 10^{-7} \frac{\text{Wh}}{\text{passo}} \times 1111 \text{ passageiros} \times 6 \frac{\text{passos}}{\text{passageiro}} \\ &= 0,0015 \text{ Wh} \end{aligned} \quad (22)$$

Conforme a equação (22) uma placa tem o potencial de gerar 0,0015 Wh de energia elétrica durante a operação de um ônibus por dia.

É importante também, na avaliação da viabilidade do projeto, analisar a energia gasta pelo protótipo construído. A massa aferida do protótipo foi de 10 kg. Conforme realizado na seção 2.7, o cálculo deste acréscimo é apresentado na equação (23) e tem-se um acréscimo por protótipo de aproximadamente 0,06% para a massa do veículo.

$$Ac_p = \frac{10 \text{ kg}}{16000 \text{ kg}} = 0,06\% \quad (23)$$

Portanto, utilizando-se a equação (19) com o valor de massa aferido para o protótipo, o consumo energético para cada placa será de 134,4 Wh conforme a equação (24).

$$m = 0,06\% \times 224000 \text{ Wh} = 134,4 \text{ Wh} \quad (24)$$

O valor de energia elétrica gerada pela placa deverá ser superior aos 134,4 Wh. Com o valor de energia gerada por dia na equação (22), tem-se um déficit de energia de 134,3985 Wh segundo a equação (25) que torna o protótipo inviável tecnicamente.

$$E_{def} = 134,4 \text{ Wh} - 0,0015 \text{ Wh} = 134,3985 \text{ Wh} \quad (25)$$

De acordo com a Copel (2021) a tarifa de energia (TE) convencional para o grupo B1 – Residencial com imposto é de R\$ 0,42991 o kWh (R\$/kWh).

Com o valor obtido de $1,5 \times 10^{-6}$ kWh da equação (22) multiplicado pela tarifa da Copel não se gera resultado financeiro. Consequentemente, o projeto não se paga.

7.3.8 Validação das especificações do produto

Após a finalização dos testes com o protótipo, com os dados disponíveis, pode-se avaliar se o dispositivo atende ou não os requisitos de projeto. O Quadro 10 apresenta o resultado das especificações do produto.

Alguns objetivos não puderam ser avaliados devido à necessidade de um período maior de avaliação ou por falta de equipamentos de medição. Outro ponto relevante é que muito dos ensaios técnicos necessários para validar alguns dos requisitos são ensaios destrutivos e, como a equipe possuía apenas um protótipo, esses ensaios não puderam ser realizados.

O fator de maior importância para esse projeto era o de gerar uma grande quantidade de potência elétrica, tanto para alimentar algum sistema elétrico do ônibus, quando para gerar energia suficiente para vencer o peso do próprio protótipo. Conforme pode-se observar nos resultados, a potência gerada foi reduzida significativamente, não atingindo os requisitos de projeto. É possível afirmar que tecnicamente e economicamente esse projeto não é viável, assim como os produtos analisados na seção 2.5.

Quadro 10 – Validação das especificações do produto

Classif. CQ	Requisitos de projeto	Objetivo	Tendência	Requisito contemplado?
1	Energia gerada	Mínimo de 210Wh	↗	Não
2	Vida útil	Dez anos	↗	Provavelmente sim. Dispositivo se mostrou robusto nos testes. Faltou ensaio de fadiga.
3	Corrente elétrica	Gerar no mínimo 30 Ampères	↗	Não
4	Massa	Até 15 kg	↘	Sim, 10 kg
5	Custo	Até 1000 R\$	↘	Sim, R\$ 598,40
6	Faixa de tensão	Entre 23,5 - 25 Volts	-	Não
7	Número de peças	Menor possível	-	Sim
8	Frequência de manutenção	Maior que um mês	↘	Provavelmente sim. Dispositivo se mostrou robustos nos testes. Faltou maior tempo para testes.
9	Compatibilidade eletromagnética	Ser compatível com os componentes do ônibus	-	Provavelmente não. Faltou acesso ao laboratório de medição.
10	Resistência a corrosão	Ausência de corrosão	↗	Provavelmente não. Faltou maior proteção aos componentes.
11	Blindagem contra água	Impedir 100% a infiltração de água	↗	Não
12	Resistência a deformação	Maior que 5000 N/m ²	↗	Provavelmente sim. Dispositivo se mostrou robusto nos testes. Faltou equipamento para teste e ensaio adequado.
13	Tolerância dimensional	Respeitando a norma NBR 15570/21	-	Sim
14	Frequência de vibrações	Suportar entre 0,6Hz e 7Hz	↘	Provavelmente sim. Dispositivo se mostrou robusto nos testes. Faltou equipamento para teste e ensaio adequado.
15	Suportar peso	Suportar até 1200 N	↗	Provavelmente sim. Dispositivo se mostrou robusto nos testes. Faltou realização de ensaio de compressão.
16	Área	De acordo com norma NBR 15570/21	-	Sim
17	Tempo de limpeza	Máximo de 1 hora	↘	Sim
18	Tempo de manutenção	No máximo de 3 horas	↘	Sim
19	Altura do dispositivo	De acordo com norma NBR 15570/21	-	Sim
20	Tempo de instalação	No máximo 10 horas	↘	Sim
21	Rigidez do conjunto	Maior que 2000 N/mm ²	↗	Provavelmente sim. Projeto se mostrou robusto no teste. Faltou realização de ensaio de rigidez.
22	Gradiente de temperatura	Suportar entre -2°C e 45°C	↗	Provavelmente sim. Projeto se mostrou robusto. Faltou ensaio de temperatura.

Fonte: Autoria própria (2022).

7.4 Vídeo demonstrativo do funcionamento do protótipo

Foi produzido um vídeo demonstrando o funcionamento do protótipo desenvolvido pela equipe com uma breve descrição do funcionamento e das metodologias aplicadas para geração de energia. O vídeo pode ser encontrado na plataforma Youtube através do link: <https://youtu.be/NF6qQS7aKug>

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 Conclusão

A tendência mundial é buscar cada vez mais que todos os meios de transporte sejam movidos por fontes energéticas limpas e renováveis. O sistema de transporte coletivo utilizando ônibus será o grande impactado nessa mudança mundial. A energia elétrica deverá ser o “combustível” que alimentará as forças motrizes desse tipo de veículo. Devido a isso, o mundo necessitará cada vez mais de fontes renováveis e alternativas de geração de energia.

A tecnologia piezoelétrica pode ser uma dessas alternativas. Conforme visto no Capítulo 2 e no projeto desenvolvido pela equipe, há geração de energia elétrica de forma limpa e renovável. Porém, pode não ser o suficiente no momento. Esse tipo de tecnologia precisa ainda ser muito trabalhada e desenvolvida por pesquisadores e empresas, para se atingir níveis de geração de energia consideráveis para se utilizar em um ônibus urbano por exemplo. Também foi possível estabelecer as condições de operação de um ônibus urbano tipo *Padron* elétrico.

Com a investigação de produtos já existentes no mercado, para buscar compreender as soluções que esse tipo de produto pode entregar em situações de operação semelhantes ao que o projeto se aplica, conduziu-se uma pesquisa com os funcionários de uma montadora de ônibus, para colher dados para o desenvolvimento do projeto para saber quais são os requisitos de projeto.

Com os dados requisitos de projeto estabelecidos, foi possível conceber um projeto conceitual, o que resultou um projeto preliminar.

Utilizando-se o *software SolidWorks* para produzir a concepção dimensionada foi possível construir um protótipo. Com a realização dos testes, foi possível cumprir o objetivo específico de verificar as viabilidades técnica e econômica de uso de sistemas piezoelétricos em conjuntos dinâmicos.

Os resultados financeiros para a concepção do protótipo foram satisfatórios, pois o valor ficou abaixo dos encontrados no *benchmarking*.

Porém, os resultados de viabilidade técnica e econômica apresentaram limitações. A geração de energia é insuficiente para os objetivos da concepção. A potência elétrica gerada pelo dispositivo acendeu apenas um LED. Isso torna inviável

a aplicação desse tipo de tecnologia com base no projeto desenvolvido pela equipe. Os dispositivos do *benchmarking* também se apresentaram inviáveis para aplicação em ônibus urbanos elétricos, conforme apresentado pela equipe, mas os resultados são consideravelmente superiores aos observados nos testes com cristais piezoelétricos comerciais.

O objetivo geral proposto pela equipe de desenvolver o projeto e protótipo de dispositivo modular com capacidade de geração de energia elétrica por efeito piezoelétrico para respectivo estudo da viabilidade de sua implementação em ônibus urbanos elétricos foi, portanto, cumprido. De fato, o desenvolvimento do projeto e protótipo foram cumpridos e gerou-se energia elétrica com esse protótipo, mas os resultados não foram suficientes para a instalação em ônibus urbanos elétricos.

8.2 Recomendações para trabalhos futuros

Esta seção apresenta uma lista de quais pontos notados pela equipe devem ser observados em caso de desenvolvimento de futuros projetos sobre o tema.

- 1- Cristais piezoelétricos vendidos comercialmente não produzem uma quantidade satisfatória de energia elétrica para aplicação em ônibus urbanos elétricos tipo *Padron*. A equipe acredita que materiais piezoelétricos aprimorados em laboratório possam ser mais eficazes, pois os produtos apresentados no *benchmarking* possuem cristais com tecnologia própria. A equipe sugere para trabalhos futuros que seja utilizado nesse tipo de aplicação cristais piezoelétricos com tecnologia e fabricação em laboratório para se obter um melhor desempenho.
- 2- A equipe projetou e concebeu todo o circuito elétrico de forma “artesanal”. Para trabalhos futuros o ideal é contratar uma empresa para a realização desta etapa do projeto. Assim, há uma garantia maior de que não haverá fuga de energia e pode-se encontrar uma solução melhor de conversão, armazenamento e transmissão de energia elétrica;
- 3- O sistema de impacto é a parte fundamental do projeto. A forma desenvolvida pela equipe não foi a mais eficaz. Sugere a implementação de métodos mais aprimorados de impactar os cristais piezoelétricos, permitirão uma geração maior de energia elétrica;

- 4- O método apresentado no *benchmarking* para saber o desempenho desse tipo de dispositivo com a utilização de passos não é apropriado. A equipe sugere que a melhor metodologia para se obter resultados confiáveis é a apresentada pela equipe na seção 7.3, com uma força constante e conhecida impactando o piso a partir de uma altura determinada.
- 5- A instalação de tecnologia de um piso com cristais piezoelétricos em um ônibus urbano, seja ele movido por combustível fóssil ou energia elétrica, tem que ser em pontos estratégicos, como por exemplo escadas ou o piso localizado sob a catraca de pagamento do ônibus, para que se garanta que todos os passageiros que utilizarem o ônibus pisem mais de uma vez sobre o piso com os cristais piezoelétricos. A equipe sugere que para trabalhos futuros seja feito um estudo de quais são esses pontos estratégicos, com o objetivo de se garantir o máximo desempenho de pisos com cristais piezoelétricos nesse tipo de aplicação.

Observando-se esses pontos, os próximos trabalhos a serem desenvolvidos relacionados a este tópico terão maior potencial de sucesso.

BORGES, R. Definição de transporte coletivo urbano. **Câmara dos deputados**, 2006. Disponível em: <https://bd.camara.leg.br/bd/handle/bdcamara/1720>. Acesso em: 30 set. 2021.

BP. **Statistical review of world energy**. Londres, 2021. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Acesso em: 09 out. 2021.

BUENDIA, J.; *et al.* **Liquid piezo element for the field of acoustics and electromagnetic compatibility (EMC)**. Depositante: Patentscope; Casalonga, Axel; Buendia, Jose, *et al.* WO/2011/098676, Concessão: 18 ago. 2011. Disponível em: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2011098676&_cid=P12-KW1C9W-44715-1. Acesso em: 23 out. 2021.

CADY, W. G. **An introduction to the theory and applications of electromechanical phenomena in crystals**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1964.

CASTELLANO, D. Lançamento do ônibus 100% elétrico que irá circular na linha Circular Centro a partir dos próximos dias. **Prefeitura municipal de Curitiba**. 02 out. 2018. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/linha-circular-centro-testa-onibus-100-eletrico-e-com-poluicao-zero/47802>. Acesso em: 29 set. 2021.

CERAMTEC. **Conceitos básicos da tecnologia piezocerâmica**: princípio de funcionamento piezoelétrico, perovskite e polarização. Nova Odessa, 2013. Disponível em: <https://www.ceramtec.com.br/materiais-ceramicos/piezoceramicos/basicos/>. Acesso em: 09 out. 2021.

CHABILAN, O. Buses on the road to cleaner tomorrows? **Skeleton technologies**. 10 jan. 2018. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://www.skeletontech.com/skeleton-blog/buses-on-the-road-to-cleaner-tomorrows>. Acesso em: 29 set. 2021.

COPEL. **Taxas e tarifas**. 2021. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas/>. Acesso em 09 dez 2021.

CORNELSEN, I. Hibribus polui 90% a menos que os modelos convencionais, que têm somente motor a diesel. **Globo**. 28 set. 2012. 1 fotografia, color. Disponível em: <http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2012/09/onibus-que-poluem-90-menos-comecam-circular-em-curitiba.html>. Acesso em: 29 set. 2021.

CROMATEK. **Barras de pinos**. 1 fotografia, color. 2022. Disponível em: <https://cromatek.com.br/conectores/barras-de-pinos/>. Acesso em: 26 mar. 2022.

EATWELL, G. P.; PARRELLA, Michael, J.; MACHACEK, Steven, L. **Piezo speaker for improved passenger cabin audio systems**. Depositante: Patentscope; Noise Cancellation Technologies, Inc. WO1997017818, Depósito: 15 maio 1997, Concessão: 22 abr. 1997. Disponível em: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO1997017818&_cid=P12-KW1C9W-44715-1. Acesso em: 23 out. 2021.

ELETROPEÇAS. **Barra de pinos simples 180° metaltex BPSC-40**. 1 fotografia, color. 2022a. Disponível em: <https://www.eletopecas.com/Produto/barra-de-pinos-simples-180-metaltex-bpsc-40>. Acesso em: 26 mar. 2022.

ELETROPEÇAS. **Conector header para PCI metaltex MCS-40**. 1 fotografia, color. 2022b. Disponível em: <https://www.eletopecas.com/Produto/conector-header-para-pci-metaltex-mcs-40>. Acesso em: 26 mar. 2022.

ELETROPEÇAS. **Potenciômetro de carvão sem chave linear 16 mm L-20 1K**. 1 fotografia, color. 2022c. Disponível em: <https://www.eletopecas.com/Produto/potenciometro-de-carvao-sem-chave-linear-16mm-l-20-1k>. Acesso em: 19 mar. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional – ano base 2020**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 11 out. 2021.

ESPAENET. **Patent search**. Munique, 2021. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/040684967/publication/KR20090015397A?q=ti%20all%20%22piezo%22%20AND%20ta%20all%20%22bus%22&queryLang=en>. Acesso em: 21 out. 2021.

FENABRAVE. **Emplacamentos 2021**. São Paulo, 2021. Disponível em: <http://www.fenabrave.org.br/Portal/conteudo/emplacamentos>. Acesso em: 09 out. 2021.

FILIFEFLOP. **LED difuso 5 mm amarelo x10 unidades**. 1 fotografia, color. 2022. Disponível em: <https://www.filife flop.com/produto/led-difuso-5mm-amarelo-x10-unidades/>. Acesso em: 19 mar. 2022

FOX LUX. **Como identificar fugas de corrente.** 2022a. Disponível em: <https://www.foxlux.com.br/blog/dicas/como-identificar-fugas-de-corrente/>. Acesso em: 05 mar. 2022.

FOX LUX. **Ferro de soldar: circuito e funcionamento.** 1 fotografia, color. 2022b. Disponível em: <https://www.foxlux.com.br/blog/foxlux-2/ferro-de-soldar/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

GLOBAL BRT DATA. **Principais indicadores por região.** Santiago, 2021. Disponível em: <https://brtdata.org/>. Acesso em: 13 out. 2021.

GÖHLICH, D.; *et al.* Design of urban electric bus systems. **Cambridge university press**, Cambridge, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/dsj.2018.10>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/design-science/article/design-of-urban-electric-bussystems/1C0E4AA05F6E1F8A545E13F6A8D2DE>. Acesso em: 23 out. 2021.

GRIFE BUS. **Passadeiras para ônibus e van.** São Paulo, 2021. Disponível em: <https://grifebus.com.br/pisos-passadeiras-para-onibus-van/#superhd>. Acesso em: 02 out. 2021.

HALLIDAY, D.; *et al.* **Fundamentos de Física - Vol. 3 – Eletromagnetismo.** 10. ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521632092/epubcfi/6/36%5B%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter27%5D!/4/516/4%4054:98>. Acesso em: 23 out. 2021.

HALLIDAY, D.; *et al.* **Fundamentos de Física - Vol. 1 – Mecânica.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HENN. **MDF ou MDP: entenda as diferenças entre esses materiais.** 20 set. 2019. Disponível em: <https://henn.com.br/pt/blog/post/mdf-ou-mdp#:~:text=MDF%20%E2%80%93%20Medium%20Density%20Fiberboard%20ou,d e%20madeira%20com%20resina%20sint%C3%A9tica>. Acesso em: 27 mar. 2022.

HUH, J. G. **Shock absorbing system for seats of bus.** Depositante: Patentscope; Hyundai Motor Company. KR1020040046841, Depósito: 28 nov. 2002, Concessão: 06 ago. 2004. Disponível em: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=KR604435&_cid=P12-KW1C9W-44715-1. Acesso em: 23 out. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INTELECTUAL. **Consulta à base de dados do INPI**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController>. Acesso em: 21 out. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Data and statistics**. Paris, 2021. Disponível em: [iea.org/data-and-statistics](https://www.iea.org/data-and-statistics). Acesso em: 09 out. 2021.

JC DECOR. **Piso ônibus emborrachado preto**. Belo Horizonte, 2021. Disponível em: https://www.jcdecor.com.br/piso-onibus-emborrachado-preto?gclid=Cj0KCQjwwY-LBhD6ARIsACvT72MpNtnUAWO8n7RQPnt7J07-R6NHavB1VGwBzBifYtlJiyNBETkc6rYaAl3wEALw_wcB. Acesso em: 11 out. 2021.

KENJI, U. Introduction to Piezoelectric Actuators and Transducers. **International center for actuators and transducers**, Centre County, jun. 2003.

LATIPAT ESPACENET. **Patent search**. Munique, 2021. Disponível em: https://lp.espacenet.com/searchResults?submitted=true&locale=es_LP&DB=lp.espacenet.com&ST=advanced&TI=&AB=piezo+and+bus&FTXT=&PN=&AP=&PR=&PD=&PA=&IN=&CPC=&IC=. Acesso em: 21 out. 2021.

LEE, D. G. **Apparatus for reducing air swirl in radiator room of bus in accordance with vehicle speed or air velocity in cases where radiator grill is arranged at rear side of bus**. Depositante: Patentscope; Hyundai Motor Company. KR1020060069631, Depósito: 17 dez. 2004, Concessão: 18 out. 2006. Disponível em: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=KR861192&_cid=P12-KW1C9W-44715-1. Acesso em: 23 out. 2021.

LIN, J.; *et al.* **Control method for commercial vehicles using fuel batteries**. Depositante: Patentscope; Xiamen Golden Dragon Bus Co., Ltd. CN106627214, Depósito: 29 nov. 2016, Concessão: 30 out. 2018. Disponível em: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN198341489&_cid=P12-KW1C9W-44715-1. Acesso em: 23 out. 2021.

LOBO, R. Tarifa dos trólebus do corredor São Mateus-Jabaquara fica mais cara neste domingo (26). **Viatrolebus**. 25 jan. 2020. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://viatrolebus.com.br/2020/01/tarifa-do-trolebus-do-corredor-sao-mateus-jabaquara-fica-mais-cara-neste-domingo-26/>. Acesso em: 30 set. 2021.

MATTEDE, H. Lei de Ohm. **Mundo da elétrica**. 2022a. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/lei-de-ohm/>. Acesso em: 09 abr. 2022.

MATTEDE, H. Multímetro! O que é? Para que serve? **Mundo da elétrica**. 2022b. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/multimetro-o-que-e-para-que-serve/>. Acesso em: 26 mar. 2022.

MATTEDE, H. O que é capacitor eletrolítico? Quais as suas características? **Mundo da elétrica**. 2022c. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-capacitor-eletrolitico-quais-suas-caracteristicas/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

MATTEDE, H. O que é um LED? **Mundo da elétrica**. 2022d. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-led/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

MATTEDE, H. Potenciômetro – O que é e como funciona! **Mundo da elétrica**. 2022e. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/potenciometro-o-que-e-como-funciona/#:~:text=Os%20potenci%C3%B4metros%20s%C3%A3o%20usados%20nos,controle%20de%20luminosidade%20das%20imagens>. Acesso em: 19 mar. 2022.

MERCADO LIVRE. **Capacitor 100uf**. 1 fotografia, color. 2022. Disponível em: <https://lista.mercadolivre.com.br/capacitor-100uf>. Acesso em: 19 mar. 2022.

MIKHANOSHIN, V. V. **Piezo electric element for installation on flexible base structure**. Depositante: Espacenet; Federalnoe Gosudarstvennoe Byudzhetnoe Obrazovatelnoe Uchrezhdenie Vysshego Obrazovaniya Morskoy Gos. RU2643941C1, Depósito: 19 out. 2016, Concessão: 06 fev. 2018. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DRU2643941C1>. Acesso em: 23 out. 2021.

MOB CEARÁ. Manaus receberá mascarello granvia "padron" para pronta entrega. **Mob Ceará**. 19 dez. 2019. Disponível em: https://www.mobceara.com/2019/12/manaus-recebera-mascarello-granvia_17.html. Acesso em: 30 set. 2021.

NASCIMENTO, C. J. Z. Molas. **InfoEscola**. 1 fotografia, color. 2022. Disponível em: <https://www.infoescola.com/mecanica/molass/>. Acesso em: 27 mar. 2022.

ÔNIBUS elétrico: Conheça mais sobre esse tipo de transporte. **Novo varejo**. São Paulo. 13 mar. 2020. Disponível em: <https://novovarejo.com.br/onibus-eletrico-conheca-mais-sobre-esse-tipo-de-transporte/>. Acesso em: 29 set. 2021.

PAHL, G.; *et al.* **Engineering design: a systematic approach**. Londres: Springer, 2007.

PARK, D. S. **Leveling control apparatus using piezo electric element of the merchandise of high express bus**. Depositante: Espacenet; Hyundai Motor Co Ltd. KR20090015397, Depósito: 8 ago. 2007, Concessão: 12 fev. 2009 Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DKR20090015397A>. Acesso em: 23 out. 2021.

CASE studies. **Pavegen**. 2022. Disponível em: <https://www.pavegen.com/en/case-studies>. Acesso em: 21 maio 2022.

PERRICHON, C. A.; *et al.* **Gel - paint piezo technology for eradicating electromagnetic pollution and static currents**. Depositante: Patentscope; Dossmann, Gérard; Casalonga Josse; Perrichon, Claude Annie, *et al.* WO/2012/076764, Concessão: 14 jun. 2012. Disponível em: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2012076764&_cid=P12-KW1C9W-44715-1. Acesso em: 23 out. 2021.

RECICOMP. **Pastilha piezoelétrico 35 mm**. 1 fotografia, color. 2022. Disponível em: <https://www.recicomp.com.br/produtos/pastilha-piezoelétrico-35mm/>. Acesso em: 19 mar 2022.

REVISTA POTÊNCIA. Como constatar se há fuga de corrente no imóvel. **Potencia Portal**. 12 mai. 2020. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/portal-potencia/instalacoes-eletricas/como-constatar-se-ha-fuga-de-corrente-no-imovel/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

RODRIGUES, T. L. **Gerador de energia piezoelétrico**. 2017. Monografia – Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade de Brasília, Gama, 2017. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/20102/1/2017_TatianeLucioRodrigues.pdf. Acesso em: 30 out. 2021.

SANTOS, J. C. **Avaliação do efeito direto de discos piezoelétricos**. 2017. Trabalho de conclusão de curso – Centro de ciências exatas e tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017. Disponível em: https://www2.ufrb.edu.br/bcet/components/com_chronoforms5/chronoforms/uploads/tcc/20190415204522_2017.1_-_TCC_Joab_Dos_Santos_-_Avaliao_do_Efeito_Direto_de_Discos.pdf. Acesso em: 23 out. 2021.

SÃO PAULO. **Portaria ARTESP - 21, de 29 de novembro de 2004**. Aprova as Especificações Técnicas de Veículos Automotores de Transporte Coletivo de Passageiros Rodoviário e Urbano Intermunicipal. São Paulo. AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2004. Disponível em:

<https://www.diariodasleis.com.br/legislacao/federal/61150-aprova-as-especificacoes-tecnicas-de-veiculos-automotores-de-transporte-coletivo-de-passageiros-rodoviario-e-urbano-intermunicipal.html>. Acesso em: 29 out 2021.

SCHARINGER, J. F. *Padron*. **Lexicar Brasil**. 2014. Disponível em: <http://www.lexicabrasil.com.br/padron/>. Acesso em: 30 set. 2021.

SHOPEE. **Resistor cr25 1k ohm 1/4w 5% - 1000 peças**. 1 fotografia, color. 2022. Disponível em: <https://shopee.com.br/Resistor-Cr25-1k-Ohm-1-4w-5--1000-Pe%C3%A7as-i.537442058.13509639360>. Acesso em: 19 mar. 2022.

SILVA, A. P.; *et al*. **Piezoeletricidade**. 2009. Trabalho de integração – Departamento de Química, Universidade de Uberaba, Uberaba, 2009.

SOLBAN, M. M.; MOUSSA, R. R. Piezoelectric tiles is a sustainable approach for designing interior spaces and creating self-sustain projects. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Cairo, 2019. Doi:10.1088/1755-1315/397/1/012020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/397/1/012020/pdf>. Acesso em 12 out. 2021.

SOUSA, L. M.; *et al*. Geração de energia através da piezoeletricidade. In: 3º Congresso internacional de pesquisa, ensino e extensão. 2018, Anápolis.

UOL. **Dólar Comercial**. 2022. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/>. Acesso em 09 dez 2021.

URBS. **Dimensionamento da frota**. Curitiba, 2021a. Disponível em: <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte/33>. Acesso em: 09 dez. 2021.

URBS. **Rede integrada de transporte**. Curitiba, 2021b. Disponível em: <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>. Acesso em 30 set. 2021.

URBS. **URBS em números**. Curitiba, 2021c. Disponível em: <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/institucional/urbs-em-numeros>. Acesso em: 30 set. 2021.

USINAINFO. **Micro chave HH 3T 2 posições SS12d07**. 1 fotografia, color. 2022 Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/conectores-e-adaptadores/micro-chave-hh-3t-2-posicoes-ss12d07-7930.html>. Acesso em: 26 mar. 2022.

USPTO. **Us Patents**. Alexandria, 2021. Disponível em: <https://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnetahhtml%2FPTO%2Fsearch-adv.htm&r=0&f=S&l=50&d=PTXT&Query=ttl%2F%28piezoelectric+and+autobus%29>. Acesso em: 22 out. 2021.

WELSBY, D.; *et al.* Unextractable fossil fuels in a 1.5 °C world. **Nature**. Londres, v. 597, p. 230–234, fev./set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03821-8>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03821-8>. Acesso em: 03 out. 2021.

WIPO. **Patentscope**. Genebra, 2021. Disponível em: https://patentscope.wipo.int/search/en/result.jsf?_vid=P22-KV0Y8C-06632. Acesso em: 21 out. 2021.

APÊNDICE A – ENTREVISTA COM DIRETOR 1

Este apêndice contém o detalhamento da entrevista conduzida com o diretor de uma montadora de chassis de ônibus realizada pelos entrevistadores Leandro Gonçalves Xavier e Valter de Lima Antonio com o objetivo de colher informações técnicas para a realização do projeto.

Empresa: Montadora de chassis de ônibus

Data da entrevista: 22/10/2021

Cargo: Diretor da área de ônibus no Brasil - Responsável técnico (atual).

Trabalhou diretamente com os híbridos (anterior).

Qual o consumo energético elétrico do ônibus (híbrido / elétrico) tanto do motor a diesel quanto do motor elétrico em separado?

Para o sistema de 24V a demanda de corrente é em média de 30A (somente chassis – sistemas de controle, sem ar condicionado) mais 30A de carroceria (luzes). Para o ar condicionado varia de 70 a 100A.

Se 600V (tração do veículo) é semelhante a potência em diesel.

Qual o tipo de bateria utilizado?

Para 24V usa-se uma bateria de chumbo aço, gel e baterias seladas.

Para 600V usa-se uma bateria de *Lithium Ion*.

Em qual tensão e corrente o dispositivo deve gerar energia para que se possa alimentar o ônibus?

A geração do alternador é 28,3V (exceto USA). Porém, a tensão de operação é 24V (duas baterias de 12V em paralelo) sendo 24V em corrente contínua (sem frequência).

Como deveria ser a forma de transmissão da energia para a bateria do ônibus?

Se utilizar 24V é necessário pegar a especificação da bateria para saber a corrente.

Há uma frequência (ressonância, vibração) que possa impedir o projeto?

- Sim como vibração, temperatura e ambiente (pregos, parafuso, pessoas);
- Não é um ambiente controlado;
- O piso é lavado por água com VAP;
- Há muita poeira;
- Vibração para ruas acidentadas e segmento pesado. Problemas mecânicos.

Há algum fator elétrico/ eletrônico que possa impedir o projeto?

Quantidade de energia para ver se é relevante o benefício peso/ energia e o custo dos equipamentos.

Qual tipo de material é utilizado na parte elétrica? Chicotes, etc.

- Transmissão – Cobre.
- Isolamento – Plástico.
- Terminais – Aço inoxidável entre outros.

Quais os fatores de segurança que um projeto para ônibus híbrido/ elétrico precisa ter?

Para 24 ou 28v (baixa tensão), necessita ter fusível. Se não ligar direto a uma fonte de energia (bateria) o risco é menor.

Para 600V depende de fabricante para fabricante.

Qual tipo de blindagem contra sujeira, água é necessário usar no sistema de um ônibus elétrico/ híbrido?

Conectores são selados para que evite a entrada de água, porém, são caros. É utilizado tipo trava (sistema mecânico macho + fêmea).

Vibração em chicote tem que tomar cuidado pois é um sistema dinâmico. Tem que evitar quebras.

Como é a manutenção do piso?

Lavado e não é selado. Cada fornecedor possui configurações diferentes de bancos etc.

É possível desmontar somente o piso do corredor?

É possível. Tampas de inspeção em um híbrido deve ter no mínimo 6 tampas.

Quais limitações de ônibus híbrido/ elétrico?

Limitação na linha de 600V. Tente buscar fazer projeto na carroceria a ligação de energia.

Quais vantagens de híbridos/ elétricos?

Há mais vantagens para o sistema de iluminação. O ideal é fazer um projeto para sistemas auxiliares para não consumir da bateria de 600V. Se o alternador trabalha menos consome menos combustível. Calcular o tempo de economia em 1 ano, 10 anos. Cada lâmpada que acende consome diesel.

Quais desvantagens de híbridos / elétricos?

A complexidade nos ônibus da montadora. Nos encarroçadores é mais simples. Se falhou sistema ter uma fonte alternativa.

Qual a vida útil de híbridos/ elétricos do sistema elétrico?

Aproximadamente 12 a 15 anos do aspecto legal. Depende de vários fatores.

Há alguma informação adicional que seja relevante para a contribuição do projeto que não foi mencionada?

No momento não.

APÊNDICE B – ENTREVISTA COM DIRETOR 2

Empresa: Montadora de chassis de ônibus

Data da entrevista: 27/10/2021

Cargo: Diretor (atual) / Engenheiro de Vendas (anterior)

Qual o consumo energético elétrico do ônibus (híbrido / elétrico) tanto do motor a diesel quanto do motor elétrico em separado?

Aproximadamente 30% do movimento do consumo é elétrico e 70% do consumo por diesel. Para a recuperação de energia se tem os seguintes números:

- 76% da energia elétrica gerada vinha de frenagem;
- 10% pela recuperação de frenagem;
- 7% pela energia *downsizing*;
- 5% pelo sistema *stop and go*;
- 7% pela transmissão I-shift;
- 4% de eletrificação de outros componentes.

Qual o tipo de bateria utilizado? Qual a porcentagem que consome o sistema de 24V e 600V?

Tipo *Lithium Ion* 120kW de descarga e 90kW na carga em tensão de 600V. Peso de 193 kg. Sistema de *cooling e heating*. Necessário manter temperatura em no máximo a 35°.

Utiliza conversor DC/DC (de 600V para 24V) com potência de 7,5 kW.

Há duas baterias de 12v com 125A (todo sistema elétrico era 24V) que vinha do alternador.

Pode-se utilizar como fonte de armazenamento a bateria do veículo (12V). Da montadora são duas baterias em série. Talvez, seja necessário ligar em paralelo nas duas baterias,

Em qual tensão e corrente o dispositivo deve gerar energia para que se possa alimentar o ônibus?

Pode ligar em 12V ou 24V (se utilizar para alimentar sistemas auxiliares como radio, iluminação, entre outros).

Como deveria ser a forma de transmissão da energia para a bateria do ônibus?

O ideal seria transmitir para bateria (corrente tem que chegar continua na bateria, talvez precise de um conversor).

Há uma frequência (ressonância, vibração) que possa impedir o projeto?

Sim, tem que passar por um teste de compatibilidade magnética ou que possa causar o distúrbio na parte eletrônica do chassi.

Há algum fator elétrico/ eletrônico que possa impedir o projeto?

Problemas com água por cima e embaixo, golpe, choques, instalação não aparente, torção do chassi. Necessário consultar a norma europeia de ônibus híbridos/ elétricos.

Qual tipo de material é utilizado na parte elétrica? Chicotes, entre outros.

- Cobre com 0,75, 0,5 e 1,25 mm de espessura;
- Conectores devem ser selados para evitar entrar água;
- Cabo chicote protegido corrugado ou PVC.

Quais os fatores de segurança que um projeto para ônibus híbrido/ elétrico precisa ter?

Acima de 50 volts, todas as instalações elétricas estão sujeitas a norma NBR 5410.

Qual tipo de blindagem contra sujeira, água é necessário usar no sistema de um ônibus elétrico/ híbrido?

Além de uma manta térmica para não derreter os cabos.

Não roteia cabo elétrico junto com circuito de combustível (se o tubo combustível passa por um lado, o chicote tem que passar pelo outro).

Como é a manutenção do piso?

Estrutura metálica mais chapa de madeira naval (prova d'água) + Taraflex.
Antigamente usava-se chapa de alumínio.

É possível desmontar somente o piso do corredor?

Talvez, porém, deve-se checar se não danifica o Taraflex (Consultar encarregadora).

Nas tampas de inspeção é possível retirar tampa.

Quais limitações de ônibus híbrido/ elétrico?

- Investigar como instalar o piso (pois pode ter um custo alto).
- Peso é um ponto crítico.
- Ver com as empresas de operação.

Quais vantagens de híbridos/ elétricos?

- Projeto do TCC pode ser aplicado para qualquer veículo.
- Sistema de geração de energia do TCC pode servir para alimentar componentes elétricos como direção, radiadores elétricos (esses sistemas geram uma diferença de 5 a 6% do consumo de combustível diesel).
- Ajudar a reduzir o trabalho dos alternadores.

Quais desvantagens de híbridos / elétricos?

- Investimento inicial alto;

- Manutenção que exige mão de obra qualificada devido a segurança do sistema 600V;
- Autonomia;
- Arranque em rampa (Capacidade de rampa limitada pois há apenas duas engrenagens);
- Peso alto;
- Infraestrutura (cliente precisa de uma infraestrutura elétrica).
- Tempo de carga alto.

Qual a vida útil de híbridos/ elétricos do sistema elétrico?

É considerado de 10-15 anos (ônibus) e dez anos para baterias aproximadamente.

Há alguma informação adicional que seja relevante para a contribuição do projeto que não foi mencionada?

Carroceria pode ser mais bem avaliada. Carroceira conta com o sistema elétrico dos chassis via conexões próprias (via caixa de fusível – sistema de potência que consome energia). Os sensores retiram energia da BBM (sinais).

APÊNDICE C – ENTREVISTA COM GERENTE

Empresa: Montadora de chassis de ônibus

Data da entrevista: 25/10/2021

Cargo: Gerente de engenharia de vendas (atual)

Qual o consumo energético elétrico do ônibus (híbrido / elétrico) tanto do motor a diesel quanto do motor elétrico em separado?

Redução de 27 e 33% de consumo de diesel de um 4x2 com 13m de comprimento do mercado.

Motor elétrico com potência de 120kW acoplado a um motor diesel.

Até 27km/h é totalmente no modo elétrico e após entra o sistema diesel + elétrico até 60km/h. Na velocidade de cruzeiro motor elétrico recarrega e diesel opera.

Quando freia motor o sistema diesel + elétrico recarregando a bateria.

Qual o tipo de bateria utilizado? Qual a porcentagem que consome o sistema de 24V e 600V?

Sistema de 24V (geração de energia através de um alternador, painel, motor de arranque).

Uma bateria de *Lithium Ion* de 600V (compressor de ar, direção elétrica, ar condicionado, motor tração). Não funciona bem acima de 40 graus e nem abaixo de seis graus. (ou esfria ou esquentando). Motor elétrico liga o diesel quando “arranca”.

Somente uma bateria de 1m³ com sistema de refrigeração separado do diesel.

Em qual tensão e corrente o dispositivo deve gerar energia para que se possa alimentar o ônibus?

Híbrido plug in possui duas baterias com alimentação noturna ou pantógrafo.

Pantógrafo faz carregamento a cada 18 km até 380 kW e carrega em seis min.

Evolução híbrido plug in é o elétrico puro (pode ter até 380kw) – Leva até duas horas e meia para carregar. Se consegue deixar carregando a noite em uma tomada

de 380V. O carregamento pode ir até 150kW (de carro vai de 50-100kW). Trifásico de alta tensão (13 mil Volts).

Carregamento noturno faz a compensação das baterias (meia hora em carregador de 150kW).

Tempo de duração é de seis anos por bateria. Custo (quase metade custo do ônibus)

Novos ônibus até sete/ oito anos a duração das baterias. Pode utilizar com sistema fotovoltaico (precisa conversor AC/DC).

No híbrido atual a bateria é reciclada.

Como deveria ser a forma de transmissão da energia para a bateria do ônibus?

Ônibus atuais tem dois alternadores de 100A = 200A. A demanda energética real é de 70A com transmissão normal via caixa de fusível.

Os alternadores dos chassis têm 28V (projeto do TCC tem que ser nessa voltagem aproximadamente).

Há uma frequência (ressonância, vibração) que possa impedir o projeto?

Não há.

Obs.: Partida de veículos pesados (se o projeto for o de poder manter a bateria carregada durante a noite (não funcionamento) dá um business case). Bateria normal dura até três anos. As lacradas duram em média de um ano.

Há algum fator elétrico/ eletrônico que possa impedir o projeto?

Não há. Toda parte eletrônica está com 5V.

Obs.: Observar diferença de potencial se é suficiente para “empurrar energia gerada” para a bateria.

Qual tipo de material é utilizado na parte elétrica? Chicotes, etc.

Cobre.

Quais os fatores de segurança que um projeto para ônibus híbrido/ elétrico precisa ter?

Híbrido precisa de uma norma NBR. Oficina que lida com híbrido precisa de uma licença especial de acordo com a normal.

Risco de explosão de bateria.

Tem que manter a tensão em 24V. Se passar de 23,5-26V (ciclo de carregamento do alternador) tem que desligar o sistema do ônibus.

Com 22V consegue dar partida em um caminhão com temperatura ambiente (20 graus).

Qual tipo de blindagem contra sujeira, água é necessário usar no sistema de um ônibus elétrico/ híbrido?

Precisa de blindagem contra água.

A bateria do ônibus tem que estar aberta/ ventilada.

Como é a manutenção do piso?

Igual ônibus normal.

É possível desmontar somente o piso do corredor?

Com piso de madeira tem que trocar parcial/ total (99% dos ônibus são madeira). Por norma NBR somente madeira + Taraflex.

Quais limitações de ônibus híbrido/ elétrico?

Híbrido tem que transportar mesma quantidade de pessoas que um diesel. Então peso tem que buscar ser o mesmo. Buscar ter a mesma eficiência que o diesel.

Custo tem que ser relevante (tem que pagar em 12 anos).

Quais vantagens de híbridos/ elétricos?

Elétrico tem menos manutenção que o diesel. Somente componentes de chassis. Componentes elétricos podem ter manutenção devido as condições de piso não serem as melhores.

Quais desvantagens de híbridos / elétricos?

A velocidade com que as coisas evoluem é semelhante aos computadores por exemplo. Elas tendem a ficar obsoletas com o tempo devido ao avanço tecnológico pois a tecnologia ainda é muito recente.

Qual a vida útil de híbridos/ elétricos do sistema elétrico?

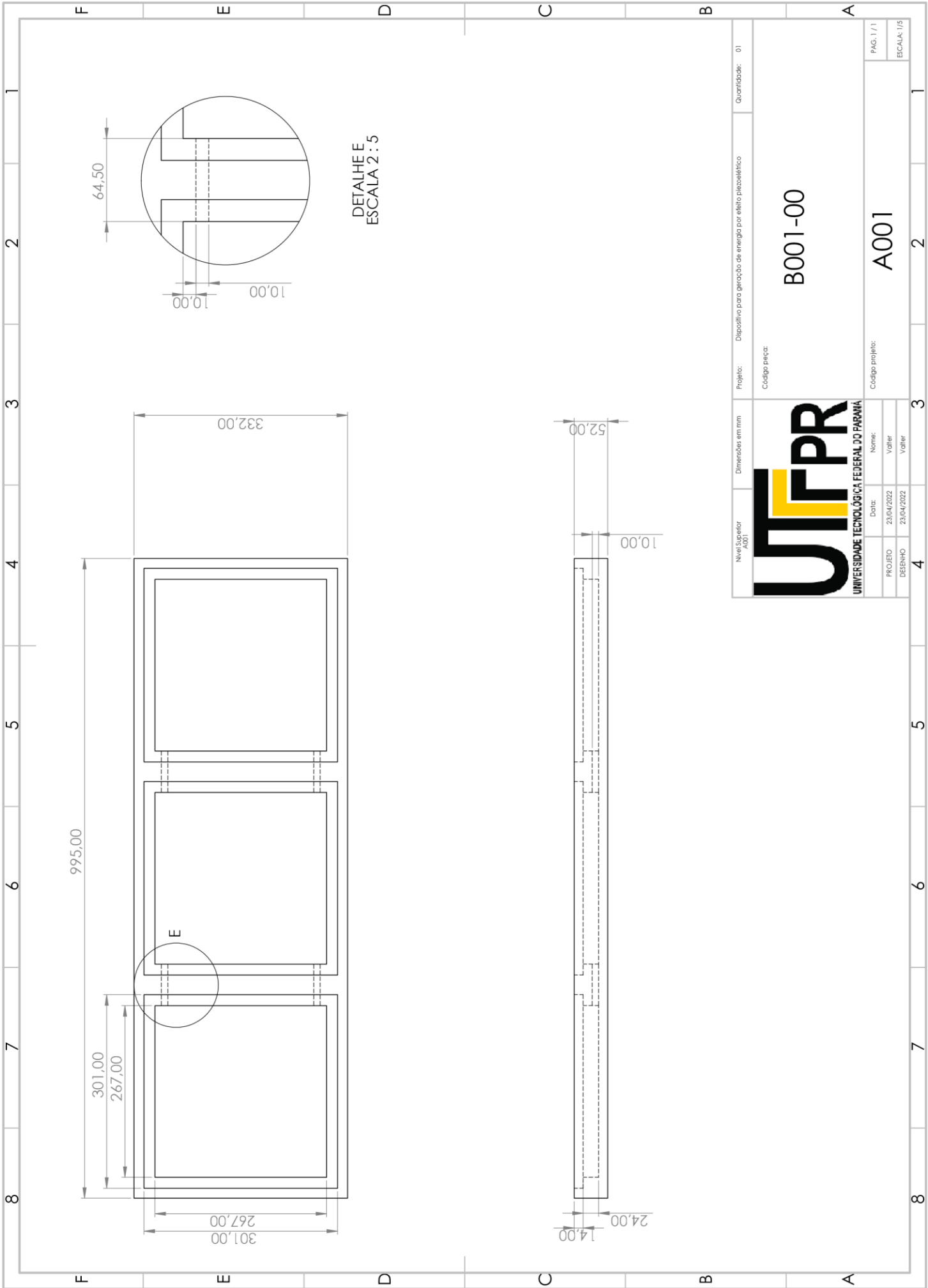
Entre 12 e 15 anos para pagar a conta com financiamento do governo de 12 anos e dois anos de carência.

Há alguma informação adicional que seja relevante para a contribuição do projeto que não foi mencionada?


Grande mercado de carregadores de 24V, chacras, trailers, motor home (8-9 mil W de potência).

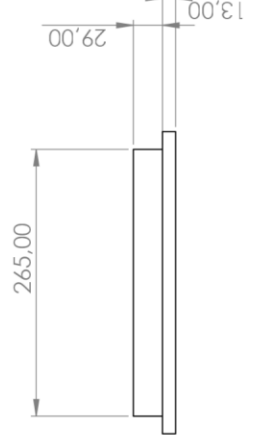
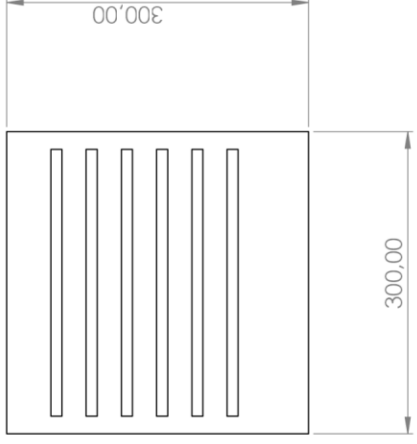
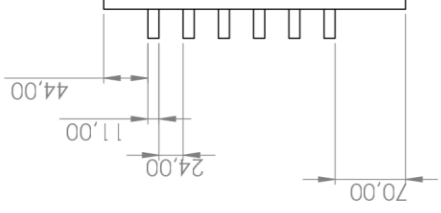
Tomada para deixar luzes do ônibus interna acessa para não usar bateria do ônibus (quando vai fazer uma limpeza ou manutenção).

APÊNDICE D – DESENHO DO DISPOSITIVO

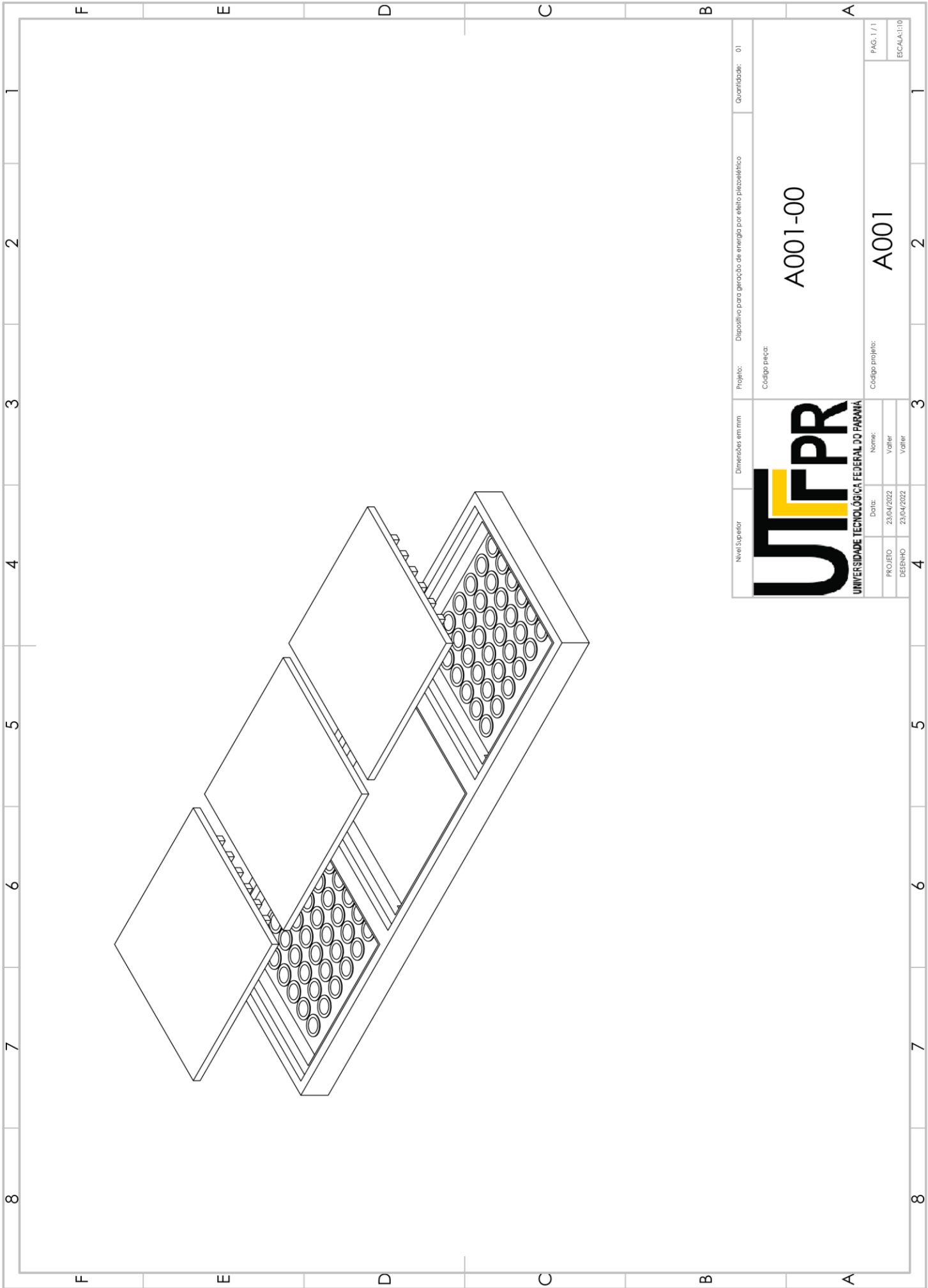



DETALHE E
ESCALA 2 : 5

Nível Superior A001	Dimensões em mm	Projeto: Dispositivo para geração de energia por efeito piezoelétrico	Quantidade: 01
			
PROJETO	Nome:	B001-00	
DESENHO	Data:	Código peça:	
	23/04/2022	A001	
	Valter	PAG. 1 / 1	
	Valter	ESCALA: 1/5	



Nível Superior A001	Dimensões em mm	Projeto: Dispositivo para gerenciamento de energia por efeito piezoelétrico	Quantidade: 01
		Código peça: B002-00	
PROJETO	DESENHO	Nome:	Código projeto:
23/04/2022	23/04/2022	Valter	A001
		Data:	PAG. 1 / 1
		23/04/2022	ESCALA: 1:5



Nível Superior	Dimensões em mm	Projeto:	Dispositivo para geração de energia por efeito piezoelétrico	Quantidade:	01
		Código peça:		A001-00	
		Código projeto:		A001	
PROJETO	DESENHO	Data:	Nome:	PAG. 1 / 1	
		23/04/2022	Valter	ESCALA: 1:10	
		23/04/2022	Valter		

ANEXO A – PATENTES

Nas páginas seguintes será apresentada a pesquisa ao registro de patentes abrangendo criações relacionadas ao tema deste projeto, ou seja, equipamentos que utilizam materiais piezoelétricos em ônibus.

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** (11) **2 643 941⁽¹³⁾ C1**(51) Int. Cl.
H01L 41/08 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC
H01L 41/08 (2006.01)

(21)(22) Application: 2016141237, 19.10.2016

(24) Effective date for property rights:
19.10.2016Registration date:
06.02.2018Priority:
(22) Date of filing: 19.10.2016

(45) Date of publication: 06.02.2018 Bull. № 4

Mail address:
690003, g. Vladivostok, ul. Verkhneportovaya, 50a,
MGU im. adm. G.I. Nevelskogo, TSOPIS(72) Inventor(s):
Mikhanoshin Viktor Viktorovich (RU)(73) Proprietor(s):
Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Morskoy gosudarstvennyj
universitet imeni admirala G.I. Nevelskogo"
(RU)(54) **PIEZO ELECTRIC ELEMENT FOR INSTALLATION ON FLEXIBLE BASE STRUCTURE**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: plurality of piezo elements mounted on a flexible base structure, made in a shaped three-dimensional package form and consisting of plate layers of a piezoelectric material, are connected to each other in the presence of their common terminal. In this case, the flexible base structure is the vehicle tire, there is additionally a stator with its excitation winding, layers of electrically conductive rubber each applied to the

surface of each of the wheel rims, a cylindrical anchor located in the stator coaxially with the air gap, with its excitation winding, rectifying miniature diodes on the internal surface of the bus, three-phase bridge diode rectifier and voltage matching device installed in the vehicle body.

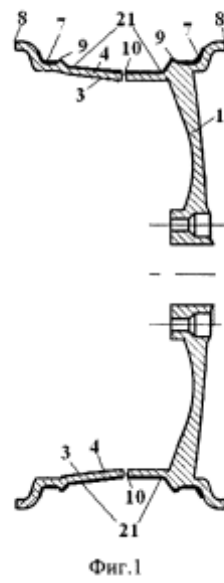
EFFECT: ensuring the possibility of obtaining an additional source of electricity on board the vehicle.

2 cl, 7 dwg

R U 2 6 4 3 9 4 1 C 1

R U 2 6 4 3 9 4 1 C 1

Fonte: Mikhanoshin (2018).




U 2 6 4 3 9 4 1 C 1

RU 2 6 4 3 9 4 1 C 1

Fonte: Mikhanoshin (2018).

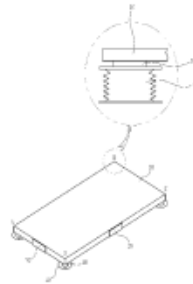
공개특허 10-2009-0015397

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2009-0015397 (43) 공개일자 2009년02월12일
(51) Int. Cl. B60D 31/00 (2006.01) B60R 5/00 (2006.01)	(21) 출원번호 10-2007-0079698 (22) 출원일자 2007년08월08일 심사청구일자 없음	(71) 출원인 현대자동차주식회사 서울 서초구 양재동 231 (72) 발명자 박동석 전북 진주시 덕진구 호성동 718번지 LG동아아파트 109동 1302호 (74) 대리인 황의만
전체 청구항 수 : 총 1 항		
(54) 압전소자를 이용한 고속버스 화물의 레벨링 능동제어장치		


(57) 요약

본 발명은 압전소자를 이용한 고속버스 화물의 레벨링 능동제어장치에 관한 것으로서, 고속버스 화물칸에 설치되는 화물적재 플레이트(20)와, 상기 화물적재 플레이트(20)의 사방 측면에 부착되어 회전 및 상하요동을 감지하는 레벨링 센서(20)와, 상기 화물적재 플레이트(10)의 사방 모서리부(A, B, C, D)의 하면에 각각 부착된 압전소자(30)와, 상기 압전소자(30) 들의 하단에 부착된 공압식 벨로우즈(40)로 이루어진 것을 특징으로 한다. 이와 같이 구성된 본 발명은 고속버스 화물칸 내에 화물적재 플레이트 위의 화물이 회전 및 상하요동을 레벨링 센서(20)에 의해 감지하여 압전소자의 측정치에 따라 공압식 벨로우즈(40)를 가압하여 상기 화물적재 플레이트(10)가 수평상태를 유지하도록 함으로써, 화물칸 내의 화물이 회전이나 상하요동에 의해 파손되는 현상을 방지하도록 하는 효과적인 발명이다.

도 1은 본 발명의 구성을 나타내는 단면도이다.



Fonte: Park (2009).

OfficeRepublic of Korea **Application Number**

1020020074877

Application Date

28.11.2002

Publication Number

1020040046841

Publication Date

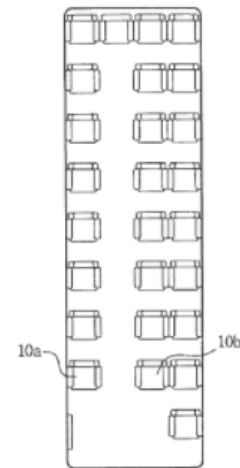
05.08.2004

Publication Kind

A

IPC

B60N 2/42

ApplicantsHYUNDAI MOTOR COMPANY
현대자동차주식회사**Inventors**HUH, JEONG GI
허정기**Agents**백남훈
이락수**Title****[EN]** SHOCK ABSORBING SYSTEM FOR SEATS OF **BUS**
[KO] 버스용 시트를 위한 완충 시스템**Abstract****[EN]**

PURPOSE: A shock absorbing system for seats of a **bus** is provided to minimize injuries of the passengers by buffering shock transmitted to passengers and the seats by moving inward the seats in a broadside collision with damping operations of a damper.

CONSTITUTION: The shock absorbing system for seats of a **bus** is composed of a rail and a seat moving device for moving left and right seats(10a,10b) of each seat row toward the center; dampers(31a,31b) connected to inner legs of left and right seats respectively and installed longitudinally along the rail; a compressed air chamber(32) installed between the dampers to perform damping operations of the dampers to the internal pneumatic pressure; a compressed air pump(34) for supplying the compressed air into the chamber through an injector(33) disposed to the compressed air chamber; a **piezo**-pressure sensor(35) attached and mounted to the outer lateral sides of the left and right seats to detect the degree of shock transmitted to the seats; a pneumatic sensor(36) installed in the compressed air chamber; and an ECU(Electronic Control Unit,37) for regulating the pneumatic pressure in the compressed air chamber by controlling the injector with receiving a pressure signal output from the **piezo**-pressure sensor and the pneumatic sensor.

© KIPO 2004

[KO] 본 발명은 버스 측면 충돌 시 시트에 가해지는 충격력을 흡수하는 버스용 시트를 위한 완충 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 덤퍼의 덤핑작동을 이용하여 측면 충돌로 인한 교통사고 발생시 시트를 안쪽으로 적절히 이동시켜 승객 및 시트에 전해지는 충격력을 완화시킴으로써, 승객의 피해를 최소화시킬 수 있도록 한 버스용 시트를 위한 완충 시스템에 관한 것이다.

Fonte: Huh (2004).

OfficeRepublic of Korea **Application Number**

1020040107472

Application Date

17.12.2004

Publication Number

1020060089631

Publication Date

22.06.2008

Grant Number

1008334000000

Grant Date

18.10.2008

Publication Kind

B1

IPC

F01P 5/08

CPC

F01P 5/08

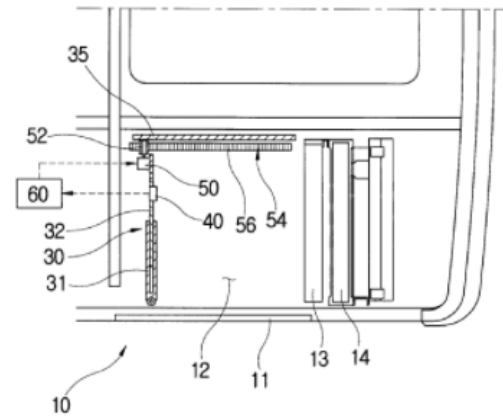
F01P 11/10

B80K 11/04

F01P 2001/005

F01P 2025/68

F01P 2050/22

ApplicantsHYUNDAI MOTOR COMPANY
현대자동차주식회사**Inventors**LEE, DONG GEUN
이동근**Agents**김석훈
이승환**Title****[EN]** APPARATUS FOR REDUCING AIR SWIRL IN RADIATOR ROOM OF **BUS** IN ACCORDANCE WITH VEHICLE SPEED OR AIR VELOCITY IN CASES WHERE RADIATOR GRILL IS ARRANGED AT REAR SIDE OF **BUS****[KO]** 버스차량 라디에이터 룸 내의 와류감소장치**Abstract****[EN]**

PURPOSE: An apparatus for reducing an air swirl in a radiator room of a **bus** is provided to prevent a degradation of cooling performance of an inter-cooler and a radiator even under the condition where operating velocity of the **bus** and air velocity and air flow direction vary.

CONSTITUTION: An apparatus comprises a front partition panel(30) having an adjustable length; a **piezo**-electric element(40) mounted on one side of the front partition panel so as to check the degree of swirl of air introduced through a radiator grill(11); a step motor(50) mounted on an inner surface of the front partition panel so that the rotation direction is controlled by the control of a controller(80) in accordance with the value measured by the **piezo**-electric element; and a guide(54) for guiding the linear motion of the front partition panel when the step motor operates.

© KIPO 2008

[KO] 본 발명은 라디에이터를 통해 공기가 유입되도록 하기 위한 라디에이터 그릴이 차량의 후방측면에 마련될 경우에 차속이나 풍속에 따라서 라디에이터 전방의 일부 위치에서 공기의 와류현상이 발생되는 것을 방지하기 위한 버스차량 라디에이터 룸 내의 와류감소장치에 관한 것으로,

Fonte: Lee (2006).

<p>Publication Number WO/2012/078784</p> <p>Publication Date 14.08.2012</p> <p>International Application No. PCT/FR2011/000001</p> <p>International Filing Date 04.01.2011</p> <p>IPC H04R 25/00 2006.1 F01P 11/04 2006.1 H01Q 17/00 2006.1</p> <p>IPC H01Q 17/002 H01Q 17/004</p> <p>Applicants PERRICHON, Claude, Annie [FR]/[FR] BUENDIA, José [FR]/[FR] GIRY, François [FR]/[FR] PICCALUGA, Pierre [FR]/[CH] FOCHESATO, Bruno [FR]/[ES] SCHULTZ, Christophe [FR]/[FR] PERRICHON, Cyrille [FR]/[FR]</p> <p>Inventors PERRICHON, Claude, Annie BUENDIA, José GIRY, François PICCALUGA, Pierre FOCHESATO, Bruno SCHULTZ, Christophe PERRICHON, Cyrille</p> <p>Agents DOSSMANN, Gérard Bureau D.A. Casalonga & Josse 8, Avenue Percier F-75008 Paris, FR CASALONGA JOSSE 8 avenue Percier 75008 PARIS, FR</p> <p>Priority Data PCT/FR 2010/000809 06.12.2010 FR PCT/FR 2010/000810 06.12.2010 FR</p> <p>Publication Language French [fr]</p> <p>Filing Language French [FR]</p> <p>Designated States View all</p>	<p>Title [EN] GEL - PAINT PIEZO TECHNOLOGY FOR ERADICATING ELECTROMAGNETIC POLLUTION AND STATIC CURRENTS [FR] TECHNOLOGIE PIEZO GEL - PEINTURE POUR ERADICHER LES POLLUTIONS ELECTROMAGNETIQUES ET LES COURANTS STATIQUES</p> <p>Abstract [EN] The invention relates to a gel or paint that can be spread over an item or used as a coating and facilitates the depollution of any heating system, parts, or mechanical housings of gearboxes or engines. The surfaces of machines, such as aeroplane wings, are protected from all pollution relating to electromagnetic charges or electrostatic currents triggered by the flight of the aeroplane in friction with the air. In this way, an eradication of the electromagnetic pollution generated by machines, the actual parts of the engine, and the combustion is definitively ensured by the simple applications of the eCRT gel or eCRT paints. The eCRT paint or gel piezo appliance can be used on all industrial machines or electric cables, industrial pipes, or the same types of products for household use. The invention can be used for cars, motorbikes, bicycles, buses, public machines, aeroplanes, boats, submarines, spacecrafts. The invention can also be applied to all types of engines, especially heat, electric or steam engines. The gel or paint can further be used in household environments, on walls or panels, enabling electromagnetic charges to be removed from electric or telecommunication networks (EDF), audio-visual appliances and all electronics, computers, printers, cameras and electronic management. [FR] Ce principe de gel ou de peinture étalée ou enrobée permet de façon facile de procéder à la dépollution de n'importe quel système de chauffage ou de pièces, ou carters mécaniques de boîtes de vitesse ou de moteurs. Les surfaces des machines, comme les ailes d'avion se voient protégées contre toutes les pollutions de charges électromagnétiques, ou de courants électrostatique engendrés par le vol de l'avion dans les frottements avec l'air. Ainsi une éradication des pollutions électromagnétiques générées par les machines, les pièces elles mêmes du moteur et les combustions est définitivement réglée par les simples applications du gel eCRT ou des peintures eCRT. Appareil de « piézo gel ou peinture eCRT » considère tous les usages de toutes les machines industrielles ou câbles électriques, tuyaux industriels, ou pour l'usage domestique des mêmes types de produits. Sont concernés les mondes de l'automobile, des motos, vélos, des bus, des engins publics, des avions, des bateaux, des sous marins, navette spatiale. Sont concernés aussi tous les moteurs, de tous types soit en particulier thermiques, électriques ou à vapeur. Dans les habitats usage domestique, le gel ou la peinture sur les murs ou les tableaux permet aussi d'évacuer les charges électromagnétiques des réseaux de télécommunication ou électriques (EDF), ou des appareils audio-vidéo et de toutes les électroniques, ordinateurs, imprimantes, appareils de photos, gestion électronique.</p>
--	---

Fonte: Perrichon *et al.* (2012).

<p>Publication Number W0/2011/098676</p> <p>Publication Date 18.08.2011</p> <p>International Application No. PCT/FR2010/000809</p> <p>International Filing Date 08.12.2010</p> <p>IPC H04R 25/00 2006.1</p> <p>CPC H04R 25/00</p> <p>Applicants BUENDIA, Jose [FR]/[FR] FLEBUS, Olivier [FR]/[FR] GIRY, François [FR]/[FR] PERRICHON, Claude, Annie [FR]/[FR] PICCALUGA, Pierre [FR]/[CH]</p> <p>Inventors BUENDIA, Jose FLEBUS, Olivier GIRY, François PERRICHON, Claude, Annie PICCALUGA, Pierre</p> <p>Agents CASALONGA, Axel Bureau Casalonga & Josse 8, avenue Percier F-75008 Paris, FR</p> <p>Priority Data PCT/FR2010/000092 09.02.2010 FR PCT/FR2010/000182 17.02.2010 FR</p> <p>Publication Language French [fr]</p> <p>Filing Language French [FR]</p> <p>Designated States View all</p> <p><i>Latest bibliographic data on file with the International Bureau</i></p>	<p>Title [EN] LIQUID PIEZO ELEMENT FOR THE FIELD OF ACOUSTICS AND ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) [FR] PIEZO LIQUIDE POUR LE DOMAINE DE L'ACOUSTIQUE ET DES CEM</p> <p>Abstract [EN] Measured sound pressure is an essential part of the world of acoustics. High-quality materials are used to make musical instruments, and, in sound reproduction, loudspeakers are used, the kinematics of which changes from digital electronics to an analog membrane system. Thus, sound generation and acoustic reproduction are both in the analog domain. In the conversion from the digital mode to the analog mode, it is normal that there is loss of electric energy in the loudspeaker coils. The invention relates to an apparatus which controls the electromagnetic compatibility [EMC] functions of all electronic apparatuses, and which, in electronics, performs an exceptional function of controlling electromagnetic compatibility [EMC] interferences. The features of sound are controlled using a biological approach without any comparison, with sensitive, high-performance, listening, without acoustic deterioration, and perfectly in phase with human biology. Electromagnetic and acoustic interferences are also usually controlled over all the audiovisual apparatuses. When used on board cars, buses, public work machinery, planes, boats, submarines, or space shuttles, the apparatus is perfectly suited for said machines, for the audio physiological condition which is self-controlled by the presence of said apparatus in all aspects pertaining to electromagnetic compatibility [EMC] and lost transmission. [FR] Le monde de l'acoustique est encadré par la pression sonore mesurée. Il est utilisé des matériaux nobles pour faire les instruments de musique et la reproduction du son utilise des haut-parleurs, une cinématique qui passe de l'électronique numérique à un système membranaire qui est analogique. Il apparaît, que ce soit à la création des sons ou à la reproduction acoustique, que nous sommes dans le domaine analogique. Du mode numérique au mode analogique, il est normal qu'il y ait une perte d'énergie électrique au niveau des bobines de haut-parleur. Cet appareil régule les fonctions CEM de tous les appareils électroniques et se place dans les électroniques, avec une fonction de régulation des pollutions, CEM, exceptionnelle. Les aspects sonores sont régulés avec une approche biologique sans aucune comparaison, avec une écoute sensible, performante, sans altération acoustique et parfaitement en phase avec notre biologie. Les agressions électromagnétiques et sonores sont aussi régulées communément sur tous les appareils vidéo audio. En mode embarqué automobile, bus, engins de travaux publics, avions, bateaux, sous-marins, navette spatiale, l'appareil est parfaitement adapté à ces machines, pour la condition audio physiologique, qui est auto régulée par la présence de cet appareil pour tout ce qui concerne les CEM et émissions perdues.</p>
--	---

Fonte: Buendia et al. (2011).

Publication Number

WO/1997/017818

Publication Date

15.05.1997

International Application No.

PCT/US1996/015323

International Filing Date

25.09.1996

Chapter 2 Demand Filed

22.04.1997

IPC

H04R 7/04 2006.1

H04R 17/00 2006.1

CPC

H04R 17/00

H04R 25/00

H04R 7/04

Applicants

NOISE CANCELLATION TECHNOLOGIES, INC.
[US]/[US]
1025 West Nursery Road Linthicum, MD
21090, US

Inventors

EATWELL, Graham, P.
PARRELLA, Michael, J.
MACHACEK, Steven, L.

Priority Data

08/533,048 25.09.1995 US

Publication Language

English (en)

Filing Language

English (EN)

Designated States*View all**Latest bibliographic data on file with the International Bureau***Title****[EN]** [PIEZO](#) SPEAKER FOR IMPROVED PASSENGER CABIN AUDIO SYSTEMS**[FR]** HAUT-PARLEUR PIEZOELECTRIQUE AMELIORE, POUR DES SYSTEMES AUDIO DESTINES A DES CABINES DE PASSAGERS**Abstract**

[EN] This invention outlines several applications of piezoelectric vibrators [4] to produce quality flat panel speakers in passenger cabin applications. A system consisting of an audio amplifier [2] and transformer [3] is used to drive the [piezo](#) speaker [4]. The electronics are packaged [8] so that they fit in small modules that can be attached to a cabin structure to produce a speaker. The invention includes a variety of flat panel speaker designs, including one in which the existing structure is converted into a speaker, and thin membrane and/or panels that are fitted with piezoelectric elements (Figures 5 and 6). A system consisting of cabin quieting and flat panel speakers is also discussed where the mid and high frequency audio is produced by panel speakers [74-79] and the low frequency audio is produced from dynamic loudspeakers [80-84]. The cabin systems discussed in this patent are applicable to automobiles, aircraft, trucks and buses.

[FR] L'invention concerne des vibreurs piézoélectriques [4] permettant de réaliser des hauts-parleurs plats de qualité destinés à des cabines pour passagers et à d'autres applications. Le système proposé comprend un amplificateur audio [2] et un transformateur [3] pour actionner le haut-parleur piézo-électrique [4]. Les éléments électroniques sont groupés [8] de manière à pouvoir se loger dans de petits modules qui peuvent être fixés à une structure de cabine pour constituer un haut-parleur. L'invention concerne une variété de hauts-parleurs piézo-électriques plats, utilisables dans des structures existantes ou permettant d'équiper des membranes ou des panneaux minces (Figures 5 et 6). L'invention concerne également un système de hauts-parleurs peu bruyant, où les signaux audio de fréquence moyenne et haute sont produits par les haut-parleurs plats [74-79] et les signaux audio de fréquence basse sont produits par des haut-parleurs dynamiques [80-84]. Le système pour cabines décrit dans ce brevet est utilisable dans les automobiles, les avions, les camions et les [bus](#).

Related patent documents

[US5901231](#) [ES2219949](#) [ES2218599](#) [DE000069632073](#) [DE000089632415](#) [EP0872157](#) [EP0936842](#) [CA2230376](#) [JP1999500595](#)

[KR1019990083674](#) [US8215884](#)

Fonte: Eatwell, Parrella, Machacek (1997).

Office

China

Application Number

102018001089704

Application Date

29.11.2018

Publication Number

108827214

Publication Date

10.05.2017

Grant Number

108827214

Grant Date

30.10.2018

Publication Kind

B

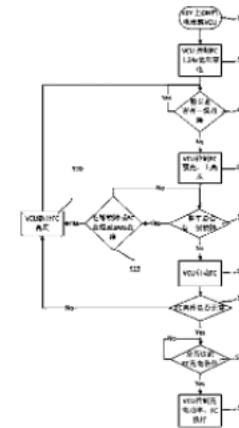
IPC

B80L 11/18 B80L 3/04

CPC

B80L 3/0053 B80L 3/0089 B80L 3/0084


B80L 3/04 B80L 58/30 B80L 58/31

[View more classifications](#)**Applicants**XIAMEN GOLDEN DRAGON BUS CO., LTD.
厦门金龙旅行车有限公司**Inventors**LIN JIANJIAN
林剑健
LIN BISHENG
林必生
LIN HANKUN
林汉坤
WANG BAIWEI
王柏卫
XIE YANXING
谢延兴**Agents**厦门智慧呈香知识产权代理事务所(普通合伙)
35222**Title****[EN]** Control method for commercial vehicles using fuel batteries
[ZH] 用于燃料电池商用车的控制方法**Abstract**

[EN] The invention discloses a control method for commercial vehicles using fuel batteries. The method comprises a step of power-on: S10, when the KEY is on ON-gear electricity, a vehicle controller is awakened; S11, the vehicle controller controls that the fuel batteries are on 24V low-voltage constant electricity; S12, whether the vehicle has first-level faults is determined; S13, the vehicle controller controls the fuel batteries to be pre-charged at high voltage and the fuel batteries are on high voltage after pre-charging; S14, whether the vehicle has first-level faults is further determined; S15, the vehicle controller controls the fuel batteries to start; S16, the fuel batteries perform self check and enter the step S17 if the self-check result is normal; S17, whether the vehicle condition reaches the charging condition of the fuel batteries is determined; S18, the vehicle controller controls the charging power of the fuel batteries. The method also comprises a step of power-off: S20, the KEY is off ON-gear electricity, the vehicle controller sends a shutdown command to the fuel batteries; S21, the fuel batteries carry out load reduction and shutdown; S22, whether the fuel batteries finish shutdown is determined; S23, the vehicle controller disconnects the high and low piezo-electricity of the fuel batteries and enters into the sleep mode.

[ZH] 本发明公开了一种用于燃料电池商用车的控制方法，包括上电步骤：S10，KEY上ON档电时，唤醒整车控制器；S11，整车控制器控制燃料电池上24V低压常电；S12，判断整车是否有一级故障；S13，整车控制器控制燃料电池进行高压预充，完成后上高压；S14，进一步判断整车是否有一级故障；S15，整车控制器控制燃料电池启动；S16，燃料电池进行自检，自检正常则进入步骤S17；S17，判断整车条件是否达到燃料电池的充电条件；S18，整车控制器控制燃料电池的充电功率；下电步骤：S20，KEY下ON档电，整车控制器发送关机命令给所述燃料电池；S21，燃料电池执行降载、关机；S22，判断燃料电池是否完成关机；S23，整车控制器断开燃料电池的高低电压，进入睡眠模式。

Fonte: Lin et al. (2018).

 BRASIL	Acesso à informação	Participe	Serviços	Legislação	Canais
Instituto Nacional da Propriedade Industrial Ministério da Economia					
Consulta à Base de Dados do INPI					
					[Início Ajuda?]
» Consultar por: Base Patentes Finalizar Sessão					1/2 Próximo
Depósito de pedido nacional de Patente					
(21) Nº do Pedido:	C1 0001078-2 E2				
(22) Data do Depósito:	27/10/2000				
(43) Data da Publicação:	27/01/2004				
(47) Data da Concessão:	-				
(51) Classificação IPC:	G10H 3/00				
(54) Título:	MÉTODO E APARELHO DE ESTÍMULO POSITIVO MENTAL				
(57) Resumo:	<p>"MÉTODO E APARELHO DE ESTÍMULO POSITIVO MENTAL". Refere-se a um aparelho baseado em método de aplicação simultânea da música, do ritmo e do movimento, gerando sons pertinentes a diversos instrumentos musicais, e que são armazenados em memórias de sons digitais (17), destinando-se o aparelho a produção de efeitos sonoros, para o combate ao estresse, principalmente, dentro dos veículos auto motores (automóveis, ônibus e caminhões), compreendendo uma baqueta eletrônica (69) cilíndrica em forma de bastão, confeccionada em material rígido, preferencialmente PVC, no seu interior, temos em uma extremidade, um sensor piezoelétrico (45), e na extremidade oposta um circuito eletrônico (47) composto de amplificadores operacionais, transmissor de rádio-frequência, e outros circuitos, e também de uma bateria</p> <p>serão recebidos pelo receptor de rádio-frequência (11), levados para o microprocessador (14), que selecionará através do seletor de funções (12), o número do som, que será buscado na memória de sons (17), o mesmo será levado a um circuito conversor de digital para analógico (15), será passado através de um circuito de filtro (18), pré amplificado (19) e mandado para o circuito mixer (3), para a entrada 1 (20), logo após será repassado ou conectado ao circuito (21), também no circuito mixer (3), haverá uma entrada 2 (22), vinda do aparelho de som do veículo, que passado para o circuito (25), irá para um misturador (24), então gerará um sinal de áudio misto, conectado com o soquete de saída (25), que será ligado aos alto falantes do veículo automotor, sendo o setor técnico que envolve esta invenção, a eletrônica voltada a psicologia.</p>				
(71) Nome do Depositante:	AGM - Academia de Ginástica Móvel Ltda (BR/PR)				
(72) Nome do Inventor:	Aurélio Rótolo de Moraes				
(74) Nome do Procurador:	Dannemann , Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira				
(61) Número Original:	PI 0001078-2 (Data:06/04/2000);				

Fonte: Aurélio (2004).