

PROJETO LOAR APLICAÇÃO DO ELETROMAGNETISMO EM INSTRUMENTOS MUSICAIS

Data de submissão: 24/01/2025

Data de aceite: 05/03/2025

Julyano Clark Pereira

Maria Eduarda Marques de Moraes

Marcos Amaral

RESUMO: A guitarra elétrica foi criada em meados de 1920, por Lloyd Loar, utilizando de captadores simples feitos com bobinas moveis e ímãs. Estes captadores revolucionaram o mercado com os fenômenos do eletromagnetismo e criaram uma gama de novos produtos que estão presentes em todos os campos da música. Este tipo de material pode ser encontrado em guitarras elétricas, contrabaixos, violões acústicos com circuito de amplificação com captadores além de outros instrumentos onde normalmente são cordas. No cenário atual, o mercado de guitarras gira em torno de grandes empresas como Ibanez, Gibson, Yamaha e Fender que acabam sendo inacessíveis a algumas pessoas. Além disso, o mercado de componentes como os captadores elétricos para instrumentos musicais ainda é superfaturado, voltando ao alto custo para os consumidores, o mercado conta com empresas como Fender, já citada, Fishman, Seymour

Duncan e EMG. O projeto LOAR, no qual o nome é uma homenagem ao criador da guitarra, se propõe a montar duas guitarras totalmente funcionais para demonstrar o funcionamento dos captadores elétricos por meio do eletromagnetismo. Além de incentivar a pesquisar e cultivar a curiosidade das pessoas, o baixo custo do projeto também foi considerado ao utilizar de materiais alternativos para que o processo de montagem seja acessível a diversas pessoas com o mesmo interesse. Utilizou-se de madeira de baixo custo e materiais importados de custo menor para a montagem da guitarra, além de reciclagem para certas partes do corpo. Além da iniciativa de produção do instrumento, o projeto também busca o desenvolvimento pessoal na área das artes musicais, montagem de protótipos e criatividade, onde todos possam se inspirar a criar seu próprio conteúdo e incentivar outras pessoas criando uma corrente de aprendizado.

PALAVRAS-CHAVE: Guitarra, eletromagnetismo, física.

LOAR PROJECT

APPLICATION OF ELECTROMAGNETISM IN MUSICAL INSTRUMENTS

ABSTRACT: The electric guitar was created in the mid-1920s by Lloyd Loar, using single-coil pickups made with movable coils and magnets. These pickups revolutionized the market with the phenomena of electromagnetism and created a range of new products that are present in all fields of music. This type of material can be found in electric guitars, bass guitars, acoustic guitars with amplification circuitry and pickups, and other stringed instruments. In the current scenario, the guitar market revolves around major companies such as Ibanez, Gibson, Yamaha, and Fender, which can be inaccessible to some people. Additionally, the market for components like electric pickups for musical instruments is still overpriced, resulting in high costs for consumers. The market includes companies like Fender, mentioned earlier, Fishman, Seymour Duncan, and EMG. The LOAR project, named as a tribute to the guitar's creator, aims to assemble two fully functional guitars to demonstrate the operation of electric pickups through electromagnetism. In addition to encouraging research and nurturing people's curiosity, the low cost of the project was also considered by using alternative materials to make the assembly process accessible to individuals with the same interest. This includes using low-cost wood and imported materials with lower costs for guitar assembly, as well as recycling certain parts of the body. In addition to the instrument production initiative, the project also seeks personal development in the field of musical arts, prototyping, and creativity, where everyone can be inspired to create their own content and encourage others, creating a chain of learning.

KEYWORDS: Guitar, Electromagnetism, Physics.

INTRODUÇÃO

Em meados dos anos 1920 houve grandes avanços na produção e gravação musical, com novos equipamentos e técnicas para captação sonora com maior qualidade. Um destes avanços foi o surgimento dos captadores elétricos em 1923, criados por Lloyd Loar, que revolucionaram a gravação musical de instrumentos de corda, porém ainda apresentavam algumas falhas relacionadas a construção do instrumento, onde guitarras acústicas apresentavam a microfonia¹ por conta de seu corpo oco.

Em 1932, Adolf Rickenbacker construiu e patenteou o que foi chamado de primeira guitarra elétrica, constituída por um braço longo e corpo arredondado juntamente com uma placa de alumínio para a captação do som. Após isto foram desenvolvidos outros projetos com o corpo maciço, para resolver o problema da microfonia que era gerada por conta da reverberação do som dentro do instrumento. As guitarras de corpo maciço apareceram fortemente no mercado nos anos 1940, com marcas como Fender e Gibson, cada uma com seus modelos específicos sendo Telecaster e Stratocaster da Fender, e Les Paul da Gibson. (MUNDO ESTRANHO, 2020)

Por conta da predominância de marcas tradicionais como Gibson e Fender, além de outras recentes como Ibanez, Jackson e Yamaha, a procura por opções mais diversas e que seja de um preço acessível aos músicos e entusiastas aumenta cada dia mais. Seja de um instrumento simples para hobby, ou estudo, até para gravações profissionais ou performance em shows, os custos de instrumentos acabam sendo inacessíveis para algumas pessoas. No entanto, o funcionamento dos instrumentos de corda ainda são um mistério para grande parte das pessoas que não entendem a relação das grandezas físicas por trás dos grandes sucessos do mercado musical. (ELMAR BERWANGER, 2022)

Com base nestas informações e experiências pessoais o Projeto LOAR visa construir duas guitarras totalmente funcionais com materiais alternativos e de baixo custo. Este protótipo servirá para demonstrar o conceito físico dos captadores e dar uma alternativa de custo acessível para músicos e entusiastas. Além disto, o projeto visa incentivar a criatividade das pessoas em relação a criação de protótipos, na arte musical e também a buscar novas alternativas para as diversas situações.



Figura 1 - Guitarra Fender Player Plus Stratocaster.

Fonte: Fender, 2021.

Tema

Construção de dois protótipos funcionais para a demonstração do funcionamento dos captadores elétricos.

Delimitação do tema

O projeto tem foco em apresentar o funcionamento e as características das guitarras elétricas, desde seus princípios físicos até seus métodos de construção. Além disto, o presente trabalho visa o incentivo da curiosidade, utilizando de materiais de baixo custo para construção do protótipo.

Problema

Com o crescimento do mercado de periféricos e instrumentos musicais algumas grandes marcas acabaram dominando a produção e distribuição de produtos relacionados à música. Esta dominância gera um monopólio onde os produtos possuem preços muitas vezes inacessíveis a músicos iniciantes e para alguns países, majoritariamente países da América do Sul e do Continente Africano, onde a importação é baixa e os preços altos por conta da demanda de produtos.

Além disso o conhecimento por trás do funcionamento destes produtos ainda é desconhecido por grande parte das pessoas e fica retido com as marcas ou engenheiros que prestam serviços a elas. Logo, chegamos à conclusão que há falta de opções de instrumentos e periféricos no mercado musical e também falta de conhecimento geral a cerca do funcionamento dos instrumentos e periféricos vendidos.

Objetivo

O objetivo deste projeto é analisar o funcionamento e construção de instrumentos musicais que utilizam captadores elétricos, especificadamente guitarras elétricas, e propor uma alternativa as grandes marcas presentes no mercado. O projeto visa incentivar a criação e curiosidade de seus próprios protótipos com materiais alternativos a fim de baratear os custos, porém mantendo a qualidade de construção dos protótipos.

Além disso, o projeto é uma realização pessoal da equipe, onde havia o interesse de criar seu próprio instrumento utilizando de materiais alternativos com sua própria característica, fugindo dos padrões do mercado atual.

Em vista destes pontos, o projeto visa criar dois protótipos para demonstrar o funcionamento dos captadores elétricos e a possibilidade de criação de instrumentos com materiais alternativos de baixo custo, potencializando a criatividade das pessoas que se interessarem pelos protótipos.

Objetivo geral

O objetivo geral do projeto é desenvolver protótipos funcionais que demonstrem os conceitos do eletromagnetismo de maneira acessível, permitindo que pessoas leigas compreendam o funcionamento dos instrumentos de corda. Além disso, busca-se evidenciar a viabilidade de criar equipamentos de qualidade utilizando materiais alternativos e de baixo custo, estimulando a criatividade e a curiosidade dos envolvidos no projeto.

Objetivo específico

- Pesquisar e selecionar os conceitos fundamentais do eletromagnetismo relevantes para o funcionamento dos instrumentos de corda.

- Projetar e desenvolver protótipos funcionais que demonstrem os princípios do eletromagnetismo aplicados aos instrumentos de corda.
- Realizar testes e avaliações para verificar a eficácia dos protótipos em transmitir os conceitos do eletromagnetismo e o funcionamento dos instrumentos de corda.
- Documentar e compartilhar os resultados, experiências e aprendizados adquiridos ao longo do projeto, por meio de relatórios, artigos ou publicações online

Justificativa

A principal motivação para este projeto é a busca de alternativas para obter melhores resultados em instrumentos, mas buscando o baixo custo. Juntamente com o Prof. Marcos Amaral, o projeto se iniciou após uma sugestão do Prof. Jitsunori Tsuha onde o mesmo propôs a equipe a ideia de explicar o funcionamento de uma das grandezas físicas, o eletromagnetismo.

O eletromagnetismo é a grandeza física que trata da energia gerada a partir da variação do campo magnético de ímãs. No caso dos captadores elétricos, a vibração das cordas varia o campo eletromagnético dos ímãs gerando energia que é convertida em som pelo amplificador. O projeto objetiva demonstrar o funcionamento desta grandeza por meio dos captadores do nosso protótipo a fins de estudo.

Ademais, o projeto é uma realização pessoal da equipe, buscando a criação de um protótipo com materiais alternativos, visando o baixo custo e facilidade de construção, em vista de incentivar outras pessoas a pesquisas como esta.

Em conclusão, o projeto se baseia na explicação teórica e aplicação das pesquisas em um protótipo funcional a fim de apresentar um novo ponto de vista em relação aos instrumentos musicais.

Metodologia

O projeto teve início com pesquisas teóricas buscando melhor compreensão sobre o funcionamento das guitarras elétricas, seus aspectos construtivos e valores de mercado. Além disso, o projeto também conta com pesquisa exploratória, buscando a familiarização com o tema a ser abordado por meio de utilização de instrumentos prontos. Também foram realizadas pesquisas quantitativas paralelas ao projeto a fim de complementar a tese em relação ao conhecimento do funcionamento específico das guitarras elétricas.

O principal foco do projeto foi a criação do protótipo para realização de testes de qualidade e funcionamento, além de garantir mais tempo para correção de problemas na construção. Em paralelo foram realizadas as pesquisas teóricas com a finalidade de complementar o desenvolvimento do projeto, buscando maior eficiência na construção do protótipo.

Para apresentar a ideia em questão, foram desenvolvidos dois protótipos totalmente funcionais feitos com materiais alternativos, sendo os primeiros testes feitos com resina epóxi 4002 de alta viscosidade juntamente com papel para formar o corpo das guitarras. O teste com resina falhou por conta do mau manuseio do produto, que levou a resultados não esperados e a equipe partiu para ideia inicial com madeira.

O restante das peças utilizadas para montagem do protótipo foram importadas de sites como Ali Express e também realizamos a construção de alguns dos componentes na Universidade Presbiteriana Mackenzie de Campinas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação deste projeto se baseia especialmente em experiências próprias da equipe, onde houve a necessidade de bons equipamentos de baixo custo para as produções pessoais dos integrantes. Guitarras de marcas consolidadas no mercado aparecem a partir de R\$900,00 e podem chegar a preços de até R\$30.000,00 (GOOGLE). Com base nesses valores, a gama de músicos iniciantes que procuram instrumentos de maior qualidade acabam ficando sem opções e recorrendo a marcas paralelas ou instrumentos usados. Além disso, o mercado de captadores gira em torno de marcas como Seymour Duncan, Fishman, EMG, fora as marcas que produzem captadores para suas próprias guitarras, como Fender e Gibson. A faixa de preços destes equipamentos podem variar de R\$100,00 até R\$2.000,00 (GOOGLE). Estes valores se alteram com base na marca dos equipamentos, que entregam matérias com diversas finalidades, cada um para um tipo de produção.

No geral, a faixa de preço para um equipamento com qualidade para produções diversas, atualmente, fica em média R\$2.500,00, sem inclusão de periféricos como amplificadores, pedais de efeito e outros equipamentos para o bom uso do instrumento. No entanto, a junção dos conceitos físicos aos instrumentos é algo que é pouco dito. Com base no nosso curso, o interesse em explicar o funcionamento e aspectos de construção dos captadores apareceu naturalmente.



Figura 2 - Guitarra Fender Squier Mainstream Stratocaster.

Fonte: Cifraclub, 2021.



Figura 3 - Captador Eletromagnético Humbucker.

Fonte: Malagoli.

O que é o eletromagnetismo

O eletromagnetismo é a grandeza física que propõe a criação de energia a partir da variação de um campo magnético, esta teoria foi proposta por James Clerk Maxwell, e a teoria diz que cargas elétricas em movimento criam um campo magnético e a variação do campo magnético cria um campo elétrico. A partir destes princípios foram criados os captadores, que consiste em um ímã envolto por uma bobina, o captador tem um campo magnético que ao sofrer a variação por conta das cordas gera tensão elétrica na bobina, que é convertido para som por um amplificador. Por conta deste princípio existem diversos captadores para suas mais variadas funções.

Indução eletromagnética

Com seus experimentos, Michael Faraday comprovou a existência de um campo elétrico a partir da variação do fluxo magnético e este campo possuía uma corrente elétrica de sentido variável. Após esta descoberta, o físico russo Heinrich Lenz propôs uma regra para determinar o sentido desta corrente.

A indução eletromagnética acontece a partir da variação do campo magnético, onde a variação do fluxo magnético gera uma corrente induzida em um condutor próximo. A variação do fluxo magnético ocorre ao alterar a intensidade do campo magnético, alterar a área de do condutor ou variar o ângulo entre uma superfície as linhas de indução magnética.

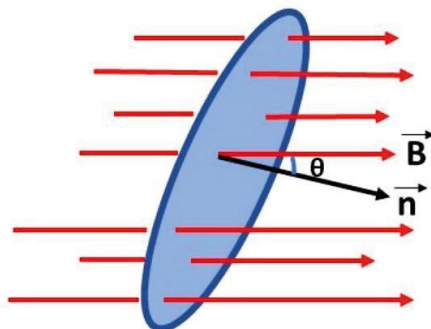


Figura 4 - Fluxo magnético.

Fonte: Toda Matéria.

A equação que utilizamos para encontrar o valor do fluxo magnético é:

$$\phi = B \times A \cos \theta$$

Equação 1 – Lei de Lenz

Φ = Fluxo magnético

B = Intensidade de campo magnético

A = Área da superfície (m²)

Θ = Ângulo entre o vetor B e o vetor da superfície

No caso dos captadores o item a ser variado para gerar a indução magnética é o ângulo Θ , alterando o fluxo magnético para gerar a corrente induzida na bobina.

A tensão gerada tem a mesma frequência que a variação do ângulo Θ , para as guitarras esta variação ocorre por conta da variação mecânica das cordas que altera o ângulo Θ , uma vez que a corda interage com as linhas de indução. Por conta desta interação, a tensão assume a característica de onda conforme a vibração da corda, sendo uma onda de características senoidais e frequência variável.

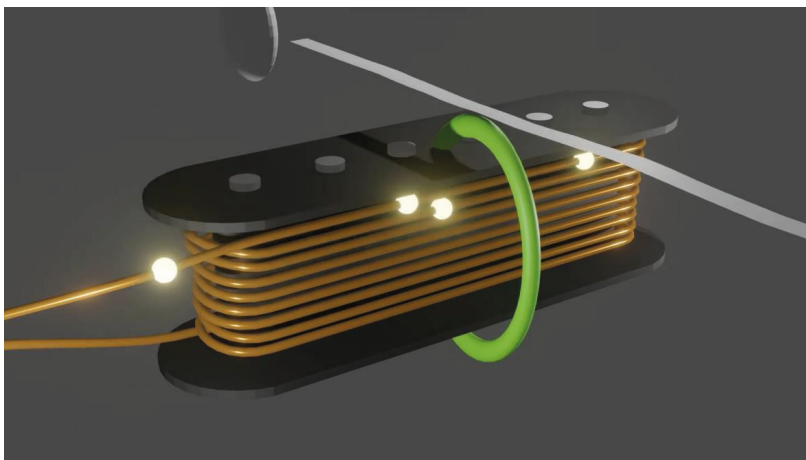


Figura 5 - Representação do funcionamento do captador.

Fonte: Marcos Amaral, 2023.

O que são captadores elétricos

Os captadores elétricos são componentes utilizados para captação sonora de instrumentos musicais, seu funcionamento é abrangente conforme o tipo de captação utilizada no instrumento, podendo ser por vibrações sonoras físicas ou interação do campo magnético das cordas metálicas de guitarras, baixos e violões.

Os primeiros modelos de captadores elétricos foram criados nos anos 1920 por Lloyd Loar, revolucionando o mercado musical da época e trazendo versatilidade aos novos produtos.

Tipos de captadores elétricos

Existem diversos tipos de captadores elétricos com diversas finalidades, alguns deles são:

- Captador Piezoelétrico: captação por vibrações.

Os captadores piezoelétricos são basicamente duas placas com cristais capazes de gerar sinais elétricos a partir de sua vibração. Este tipo de captação é utilizado em instrumentos eletroacústicos como violões, violinos, baixos acústicos etc.

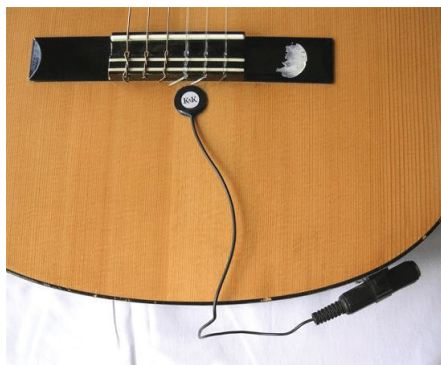


Figura 6 - Captador piezoelétrico em um violão.

Fonte: George Feitscher, 2005.

- Captador Single Coil:

Os captadores single coil são constituídos por um ímã envolto por uma bobina, o campo magnético das cordas metálicas de baixos, guitarras e violões, ao serem tocadas, vibram e alteram o campo magnético da bobina gerando tensão elétrica na bobina. Esta tensão elétrica é levada até um amplificador onde é aumentada e convertida em som.

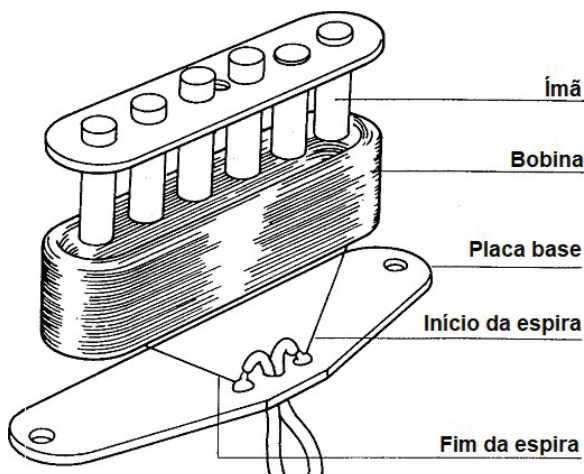


Figura 7 - Diagrama de um captador de bobina simples (Single Coil).

Fonte: Seymour Duncan, 2020.

- Captador Humbucker:

Os captadores humbucker foram criados para solucionar problemas de ruídos presentes nos captadores single coil, utilizando de duas bobinas ligadas em série, porém, com sentidos opostos. Esta solução cancela os ruídos presentes nos captadores de bobina única, mas também altera a sonoridade do som captado.

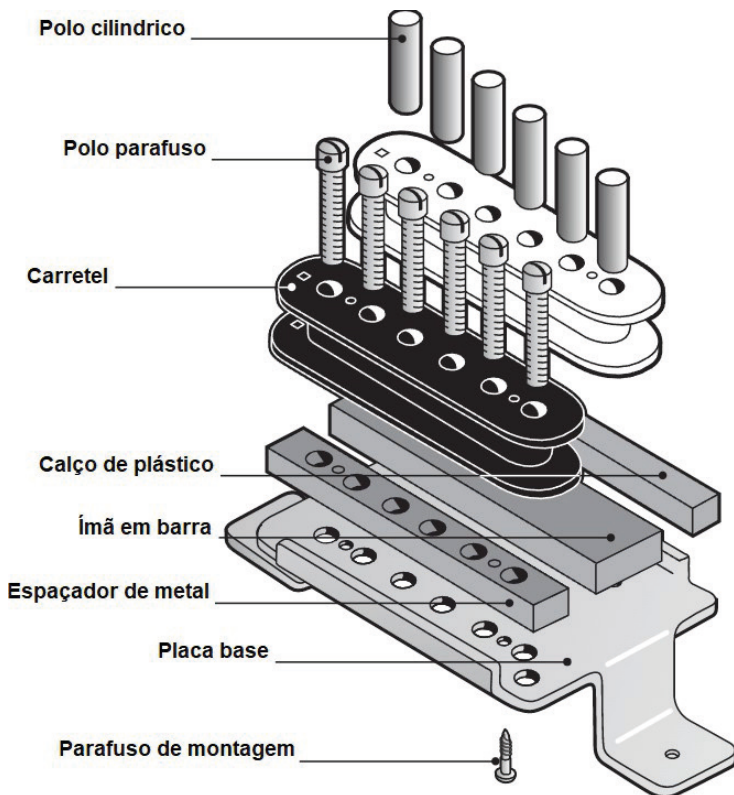


Figura 8 - Diagrama de um captador de bobina dupla (Humbucker).

Fonte: Stewmac, 2022

Além destes captadores, também existem captadores ativos que contam com um circuito pré-amplificador. A finalidade deste circuito é amplificar a corrente que chega ao amplificador trazendo mais potência e volume ao som do instrumento.

Aspectos construtivos da guitarra elétrica

Existem diversos tipos de guitarras elétricas com diversas configurações, cada uma para um uso específico, porém, as guitarras são constituídas majoritariamente por um corpo de madeira com um “braço”, também feito com madeira, acoplado ao corpo.

O corpo da guitarra é a peça principal para sua construção, onde ficam acoplados o braço, a ponte e todo o circuito elétrico. O material do corpo é uma escolha versátil onde pode ser usado madeira ou materiais alternativos, o uso de resina epóxi possibilita a construção do corpo com diversos materiais, desde papel usado ou plásticos e materiais que podem ser poluentes.

O braço da guitarra é basicamente onde se toca as notas musicais, é construído com madeira, contém um tensor que regula a tensão aplicada no braço por conta das cordas, e também a escala onde ficam localizados os trastes. A escala e os trastes são o que definem o som tocado, normalmente existe variações de 21 a 24 trastes em guitarras comuns, e a escala é medida em polegadas ("), a variação de tamanho da escala vai de 21,5" até 26,5" para guitarras comuns, e de 27" a 30" para baixos e guitarras baritonas.

Tipos de ponte de guitarra elétrica

A ponte é um componente da guitarra fixada ao corpo, onde as cordas são presas. Na ponte é possível fazer regulagem da altura das cordas e da afinação. A posição da ponte é totalmente influenciada pelo comprimento da escala onde é feito um cálculo para definir esta posição, onde a distância da pestana (ou nut), presente no braço da guitarra, até o 12º traste deve ser igual do 12º traste até a ponte. Esta distância varia conforme a distância da escala e a quantidade de trastes presentes no braço.

Existem dois tipos de pontes predominantes no mercado, sendo elas as pontes fixas, a ponte tremolo e a ponte flutuante. As pontes fixas são fixadas ao corpo e permanecem estáticas, sem movimento nenhum, alguns exemplos são as pontes Tune-O-Matic, presentes em guitarras Gibson, pontes Hardtail entre outras.



Figura 9 - Ponte Tune-O-Matic em guitarra Les Paul.

Fonte: Wikimedia Commons, 2007



Figura 10 - Ponte Hardtail.

Fonte: Luthieria Brasil.

As pontes tremolo são pontes com a possibilidade de modulação do som, contam com um sistema de molas que permitem a alteração do som das cordas com uma alavanca. Estas pontes são características das guitarras Stratocaster, popularizadas pela marca Fender.

Estas pontes proporcionam maior versatilidade na tocabilidade das guitarras com possibilidade de efeitos sem componentes externos como pedais e outros moduladores sonoros.



Figura 11 - Ponte Tremolo

Fonte: Google Imagens.



Figura 12 - Ponte Tremolo em guitarra Stratocaster.

Fonte: Wikimedia Commons, 2013.

As pontes flutuantes, também conhecidas como Floyd Rose, são semelhantes as pontes tremolo, porém, a ponte flutuante possibilita maior variedade de modulação, ao aliviar a tensão nas cordas para criar sons mais graves ou aumentar para sons mais agudos. Além da presença de molas como a ponte tremolo, as pontes flutuantes contam com travas para preservar a afinação da guitarra, por conta do uso da alavanca para modulação, que pode causar desajustes na regulagem padrão.



Figura 13 - Ponte Flutuante (Floyd Rose)

Fonte: Wikimedia Commons, 2014.

Circuito elétrico da guitarra

A parte elétrica de uma guitarra é composta pelos captadores, como já dito, além de outros componentes como potenciômetros, chaves seletoras, capacitores e saídas de sinal $\frac{1}{4}$ (P10) do tipo fêmea.

O circuito elétrico convencional de guitarras geralmente inclui dois potenciômetros logarítmicos, sendo um para volume e um para controlar a sonoridade, sendo acompanhado com um capacitor para fazer a filtragem da corrente. Conta também com uma chave seletora para selecionar as configurações de captadores, permitindo utilizar somente um captador, ou simultâneos. Geralmente são utilizadas chaves de cinco ou três posições dependendo do modelo da guitarra e quantidade de captadores. Para transportar a corrente até o amplificador externo temos um conector

Os potenciômetros são resistores com resistência variável sendo vendidos majoritariamente com dois tipos no mercado, Tipo A e B, sendo o tipo A (de áudio) logarítmico, por conta de a audição humana seguir a escala logarítmica. Já o potenciômetro Tipo B segue uma escala linear, sendo utilizado para efeitos de filtragem com capacitores.

Além destes, também existem os potenciômetros push-pull que possibilitam o uso de efeitos nos captadores de bobina dupla, onde ao puxar o eixo do potenciômetro é realizado o split coil (separação das bobinas do captador).



Figura 14 - Potenciômetro comum.

Fonte: Wikimedia Commons, 2006.



Figura 15 - Potenciômetro Push-Pull

Fonte: Audiodriver.

Como dito, os potenciômetros são usados para volume e para efeitos no som da guitarra, estes efeitos são feitos com capacitores para retificar a onda e gerada e criar um filtro no som, deixando-o mais brilhante ou mais opaco.

Além dos itens já citados, o circuito elétrico da guitarra também conta com um conector para transportar a corrente ao amplificador, este conector geralmente é uma saída $\frac{1}{4}$ do tipo P10, também conhecida como Jack P10



Figura 16 - Conector P10.

Fonte: Garminu.

Braço da guitarra

O braço da guitarra é acoplado no corpo e tem a função de sustentar as cordas e alterar o som da guitarra. Ele é composto pelo headstock, onde estão localizadas as tarraxas de afinação, e conta com a escala, onde ficam os trastes e as “casas”.

O headstock é o local onde estão fixadas as tarraxas de afinação, juntamente com a ponte da guitarra, as tarraxas servem para criar a tensão na corda e alterar a vibração delas para gerar diferentes sons. As tarraxas são construídas com engrenagens e um eixo giratório, onde a corda é presa.



Figura 17 - ESP Horizon FR-II

Fonte: Wikimedia Commons, 2008.

A escala é uma parte de madeira colada ao braço onde ficam localizados os trastes, que são peças de metal que fazem a divisão das casas (o espaço entre dois trastes). Cada casa da guitarra representa uma nota, sendo meio tom da escala musical, de acordo com a nota fundamental na qual a corda foi regulada. Para executar estas notas é necessário pressionar a corda nas casas.



Figura 18 - Braços usados no protótipo.

Fonte: Os autores, 2022.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto teve início em 2021 onde a ideia do projeto era desenvolver somente um captador elétrico, mas devido a motivação de nosso orientador Marcos ampliamos a ideia para construção de duas Guitarras Elétricas de oito cordas.

A partir dessa ideia do projeto seguiu enfatizando seu objetivo que é mostrar como funciona o eletromagnetismo aplicado, o desenvolvimento da guitarra elétrica teve início no ano de 2022.

Inicialmente, foi realizada a aquisição de materiais diversos, incluindo resina e isopor, com o intuito de diferenciar nossas guitarras das opções disponíveis no mercado. O isopor foi utilizado para confeccionar um molde para resina, que demonstrou ser funcional e permitiu a aplicação de materiais recicláveis, como papéis reutilizados.



Figura 19 - Desenho do molde de isopor.

Fonte: Os autores, 2022

A princípio, com os materiais já preparados, foi realizado o primeiro teste com resina, mas devido ao mal manuseio a aplicação da resina no molde não teve sucesso. A medição de resina para endurecedor utilizado ocorreu de forma inadequada e gerou o endurecimento acelerado da resina, agravando a ideia que em seguida foi descartada.



Figura 20 - Aplicação da resina.

Fonte: Os autores, 2022.



Figura 21 - Resina endurecida.

Fonte: Os autores, 2022.

Com a falha da construção do protótipo com resina, a equipe partiu para uma ideal alternativa, considerando o uso de madeira como material para o protótipo. A compra da madeira iria ser mais rápida e mais econômica em relação a resina, possibilitando maior investimento em outras partes do protótipo. Foi necessário fazer alguns cortes onde se encaixaria os captadores e os componentes da parte elétrica, para isso obtivemos ajuda de um aluno da Universidade Presbiteriana Mackenzie Campus Campinas, Alexandre Argentino, e de seu pai Arnaldo Argentino, que se voluntariaram a realizar este trabalho.

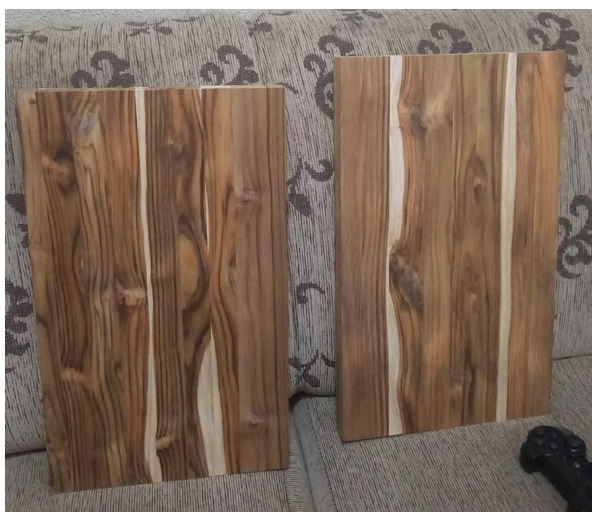


Figura 22 - Peças de madeira.

Fonte: Os autores, 2023.



Figura 23 - Primeiros cortes para montagem do protótipo.

Fonte: Alexandre Argentino, 2023



Figura 24 - Primeiros cortes finalizados.

Fonte: Alexandre Argentino, 2023.

Após a compra e primeiros cortes da madeira, foi comprado também os braços utilizados no protótipo (Figura 17), e foi dado início a construção da ponte da guitarra, que foi feita em alumínio usinado com auxílio do orientador Marcos Amaral na Universidade Presbiteriana Mackenzie Campus Campinas.



Figura 25 - Processo de usinagem do bloco de alumínio.

Fonte: Os autores, 2023.



Figura 26 - Pontes finalizadas.

Fonte: Os autores, 2023.

O grupo ainda pretendia realizar a construção dos captadores elétricos que seriam utilizados nos protótipos, no entanto, por motivos de tempo e falta de materiais o grupo optamos por realizar a compra destes componentes. Ademais, também foi realizada a compra das tarraxas utilizadas para afinação das cordas, os potenciômetros e chaves seletoras e as cordas.

Com a chegada de todos os materiais e componentes, e a finalização dos cortes iniciais da madeira, a equipe deu início a construção final do protótipo. Para construção do corpo foi utilizada a madeira já cortada e depois realizamos os cortes do formato que desenhamos. Estes cortes foram efetuados na Universidade Presbiteriana Mackenzie Campus Campinas com as ferramentas do FABLAB e também na Escola Técnica Estadual Bento Quirino, utilizando o Espaço Maker “Jitsunori Tsuha”. Além dos cortes também foi realizado os furos para encaixe dos componentes da parte elétrica.



Figura 27 - Construção do protótipo.

Fonte: Os autores, 2023.



Figura 28 - Construção do protótipo.

Fonte: Os autores, 2023.



Figura 29 - Construção do protótipo.

Fonte: Os autores, 2023.

Para estética, foi realizada uma pintura utilizando Laca para madeira e corante preto. A Laca serve como protetor de umidade para madeira, assim como um verniz, com a adição do corante a equipe obteve a tonalidade preta fosca. Em um dos modelos foi feita um desbaste no corpo e utilizado somente a Laca sem corante para diferenciar os modelos e para fins estéticos.



Figura 30 - Pinturas dos protótipos.

Fonte: Os autores, 2023.



Figura 31 - Pinturas do protótipo.

Fonte: Os autores, 2023.



Figura 32 - Pintura do protótipo.

Fonte: Os autores, 2023.

Ao finalizar a pintura do corpo a equipe partiu para a fixação dos componentes começando com o braço, onde foi utilizado 6 parafusos para fixação no corpo que foram comprados a parte. Os demais componentes possuíam os próprios parafusos e porcas para fixação, com exceção da ponte.



Figura 33 - Fixação do braço ao corpo.

Fonte: Os Autores, 2023.



Figura 34 - Braços fixados ao corpo.

Fonte: Os autores, 2023.

Para fixação da ponte é necessário alinhá-la com o braço, de maneira que a primeira e última corda fiquem retas e com 5mm de distância da extremidade do braço.

Também é necessário posicioná-la utilizando a mesma distância do nut para o 12º traste, porém do 12º traste até onde a corda se assenta na ponte. Após realizar o alinhamento e o é feita a marcação de onde iram os parafusos e fixada no corpo.



Figura 35 - Fixação da ponte ao corpo.

Fonte: Os autores, 2023.

Com a ponte e os demais componentes fixados foi realizada a soldagem da parte elétrica, os esquemas utilizados foram retirados do site Guitar Eletronics. As guitarras contam com circuitos diferentes, sendo um deles um potenciômetro push- pull para controle de volume e split-coil para os dois captadores e uma chave seletora para seleção do captador de cada posição. No entanto o outro protótipo, conta com 2 potenciômetros, sendo um push-pull e push-push, e a chave seletora. O potenciômetro push-pull é utilizado para controle de volume e split-coil do captador do braço, já o potenciômetro push-push é um controle de tone e utilizado para split-coil do captador da ponte. Realizando a soldagem foi possível testar a funcionalidade do circuito com aproximando um objeto metálico aos polos do captador.



Figura 36 - Soldagem do circuito.

Fonte: Os autores, 2023.

Com a parte elétrica finalizada, a equipe partiu para instalação das cordas da guitarra e após isto foram feitas regulagens no braço e na ponte para obter melhores resultados sonoros. A cavidade onde ficam os componentes do circuito estava destampada e então foi confeccionadas duas tampas, feitas com uma chapa de metal, com auxílio de um professor do Curso Técnico em Mecânica da Escola Técnica Estadual Bento Quirino.



Figura 37 - Protótipos finalizados.

Fonte: Os autores, 2023.



Figura 38 - Tampa do Circuito.

Fonte: Os autores, 2023.

Como bônus para estética do protótipo foi produzido duas peças de acrílico para colar no headstock do instrumento, assim finalizando a construção do protótipo.



Figura 39 - Tags para o headstock.

Fonte: Os autores, 2023.

RESULTADOS

Os resultados obtidos do projeto foi o funcionamento das duas guitarras elétricas, comprovando a aplicação do eletromagnetismo e sua utilização em instrumentos musicais. Ademais, os materiais utilizados resultaram em um baixo custo que viabiliza a construção e diferencia os protótipos de outras guitarras disponíveis no mercado.

Além disso, os resultados obtidos com os protótipos também incentivaram os participantes da equipe a torná-los produtos. Por conta de sua viabilidade de construção e baixo custo, os protótipos têm todas as características que o tornam aplicáveis ao mercado, para uma produção sob medida e customizada para cada cliente, prezando a exclusividade. Dito isso, a equipe se dispôs a criar uma marca a fim de comercializar os próximos protótipos seguindo a ideia de baixo custo e exclusividade de cada modelo.

Com este projeto a equipe teve a oportunidade de participar de algumas feiras tecnológicas da região de Campinas. A primeira participação da equipe em feiras de tecnologia foi na 13ª Feira de Ciência e Tecnologia – Bragantec, realizada pelo Instituto Federal no campus de Bragança Paulista – SP. A feira contou com três dias de apresentações ao público de diversos projetos finalistas além de apresentações culturais. Com as avaliações, a equipe moldou seu formato de apresentação ao público e se preparou para 14ª Bentotec.



Figura 40 - Equipes selecionadas para 13ª Bragantec.

Fonte: Regina Kawakami, 2023.

A segunda participação 14ª Feira de Ciência e Tecnologia Bentotec, realizada pela Escola Técnica Estadual Bento Quirino, onde foram dois dias de apresentações ao público e também apresentações culturais.



Figura 41 - Equipe na 14ª Bentotec.

Fonte: Os autores, 2023.

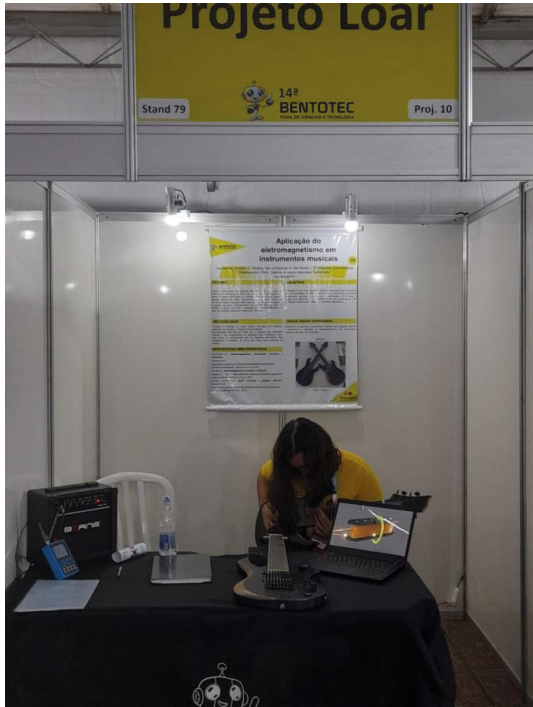


Figura 42 - Equipe na 14ª Bentotec.

Fonte: Os autores, 2023.



Figura 43 - Stand da equipe na 14ª Bentotec.

Fonte: Os autores, 2023.

Já a terceira participação da equipe foi na 11ª Mostra de Tecnologia, realizado pelo Instituto 3M, que contou com 2 dias de apresentação ao público e avaliação dos funcionários do Instituto.



Figura 44 - Equipes selecionadas para 11ª Mostra de Ciências e Tecnologia do Instituto 3M

Fonte: Regina Kawakami, 2023



Figura 45 - Equipe apresentando o projeto.

Fonte: Regina Kawakami, 2023

A equipe não foi premiada em nenhum dos projetos com a feira, porém a experiência e conhecimento adquirido com a participação destas feiras tecnológicas trouxeram inspiração e criatividade para continuação do projeto.

CONCLUSÃO

Este projeto atingiu o objetivo principal de desenvolver duas guitarras elétricas totalmente funcionais, mostrando o eletromagnetismo aplicado gerando o som da guitarra, e consequentemente a ideia de se fazer um instrumento com baixo custo e com materiais alternativos se percorreu como um resultado de boa qualidade, utilizando os materiais disponíveis e criando as buscas para fornecer um bom resultado. E conclui-se que é possível desenvolver as ideias de uma forma prática que não demande um alto custo, e que torne acessível os aspectos para que cada um possa desenvolver seus projetos de forma pessoal ou conjunta trazendo melhoria do desenvolvimento de conhecimento.

Além disso, a equipe observou a possibilidade de um mercado alternativo de instrumentos, onde os protótipos feitos obtiveram resultados a níveis profissionais, até mesmo superando as expectativas. Com estes resultados, um dos membros da equipe juntamente com o orientador Marcos Amaral fundaram a marca de guitarras customizadas JC&MA Custom, a fim de comercializar novos projetos e fazer deste estudo aplicável no mercado.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Para o futuro do projeto o principal interesse é construir captadores próprios, a fim de alcançar um som característico para nossos instrumentos. A equipe está disposta a auxiliar próximos alunos da Escola Técnica Estadual Bento Quirino a dar continuidade a projetos deste nicho, buscando trazer mais conhecimento e estudo em áreas que normalmente não há tanto interesse.

Com a criação da marca dos autores do projeto, a comercialização e expansão do mercado é outro objetivo para o futuro. A ideia inicial é comercializar instrumentos de materiais alternativos e de baixo custo focados no mercado de guitarras extended- range, que são guitarras com mais cordas e escalas maiores, como 7, 8 ou 9 cordas.



Figura 46 - JC&MA Custom Athena 8

Fonte: Os autores, 2023.



Figura 47 - JC&MA Custom "Athena" S-8

Fonte: Os autores, 2023.

REFERÊNCIAS

AUDIODRIVER. **Potenciômetro Push/Push A500K Spirit VPP3 Eixo Curto**. Disponível em: <<https://www.audiodrivers.com.br/produto/potenciometro-pushpush-a500k-spirit-vpp3-eixo-curto.html>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

BARBOSA, MARCELO. **Partes da Guitarra**. Disponível em: <<https://marcelobarbosa.com.br/website/partes-da-guitarra/>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

BERNI, ALEXANDRE. **Escolhendo Potenciômetros**. Disponível em: <<https://blog.santoangelo.com.br/escolhendo-potenciometros/>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

BERWANGER, ELMAR. **Melhores Marcas de Guitarra**. Disponível em: <<https://beat360.com.br/melhores-marcas-de-guitarra/>>. Acesso em: 31 mai. 2023.

BRAIN, MARSHALL. **How Electric Guitars Work**. Disponível em: <<https://entertainment.howstuffworks.com/electric-guitar.htm>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

CIFRACLUB. **Tipos de guitarra para iniciantes: encontre o instrumento ideal**. Disponível em: <<https://www.cifraclub.com.br/blog/tipos-de-guitarra-para-iniciantes/>>. Acesso em: 06 jul. 2023.

DESCOMPLICA. **Eletromagnetismo: Introdução, Fórmulas e Aplicações**. Disponível em: <<https://descomplica.com.br/blog/eletromagnetismo-introducao-formulas-e-aplicacoes/>>. Acesso em: 01 jun. 2023.

FEITSCHER, GEORGE. **“Captador piezoelétrico em um violão.”**. Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Piezoelectric_pickup1.jpg>. Acesso em: 07 jul. 2023.

FENDER. **Player Plus Stratocaster**. Disponível em: <<https://www.fender.com/en/player-plus-stratocaster/0147313347.html>>. Acesso em: 06 jul. 2023.

MAY, PAULO. **Capacitores**. Disponível em: <<http://guitarra99.blogspot.com/2011/05/capacitores.html>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

ME SALVA. **Eletromagnetismo na prática: Guitarras**. Disponível em: <<https://resumos.mesalva.com/eletromagnetismo-pratica-guitarras/>>. Acesso em: 01 jun. 2023.

MUNDO ESTRANHO. **Quem inventou a guitarra elétrica?** Disponível em: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/quem-inventou-a-guitarra-eletrica>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

SCHOOL OF ROCK CERQUEIRA CÉSAR. **Captadores! O Que São? Para Que Servem? Como Funcionam? Pt.1**. Disponível em: <<https://www.schoolofrock.com.br/unidades/cerqueiracesar/resources/guitar/captadores-o-que-so-para-que-servem-como-funcionam-pt1#:~:text=O%20captador%20piezoel%C3%A9trico%20%C3%A9%20muito,%C3%A9%20captada%20a%20partir%20das>>. Acesso em: 07 jul. 2023.

SEDERBERG, DAVID. **Physics of the Electric Guitar**. Disponível em: <<https://www.purdue.edu/science/science-express/labs/labs/Physics%20of%20the%20Guitar.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

TODA MATERIA. **Eletromagnetismo**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/eletromagnetismo/>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

TODA MATERIA. **Indução Eletromagnética**. Disponível em: < <https://www.todamateria.com.br/inducacao-eletromagnetica/>>. Acesso em: 22 nov. 2023.

WIKIMEDIA COMMONS. **Fender Classic Player ‘50s Stratocaster**. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fender_Classic_Player_%2750s_Stratocaster_-_body_from_bottom_right_1.png>. Acesso em: 07 jul. 2023.

WIKIMEDIA COMMONS. **Gibson LP Classic**. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gibson_LP_Classic.png>. Acesso em: 07 jul. 2023.

WIKIMEDIA COMMONS. **Ibanez Edge view**. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ibanez_Edge_view.jpg>. Acesso em: 07 jul. 2023.

WIKIMEDIA COMMONS. **Paletta della ESP Horizon FR-II**. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horizoniifrbkaq9.jpg?uselang=pt-br>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

WIKIMEDIA COMMONS. **Potenciometer**. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Potentiometer.jpg>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

ANEXOS

ANEXO A – TABELA DE CUSTO DE MATERIAIS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DOS PROTORIPOS

PRODUTO	QUANTIDADE	CUSTO/UNIDADE	CUSTO TOTAL
Resina Epóxi	1	R\$ 218,90	R\$ 223,24
Madeira	2	R\$ 78,00	R\$ 172,06
Par de roldanas para correia	2	R\$ 6,99	R\$ 13,98
Braços dos protótipos	2	R\$ 184,42	R\$ 822,42
Par de captadores	2	R\$ 61,34	R\$ 188,79
Afinador de cordas	3	R\$ 19,31	R\$ 106,41
Kit para construção da ponte	3	R\$ 18,76	R\$ 77,58
Encordoamento 8 cordas Ibanez	1	R\$ 51,83	R\$ 78,90
Chave seletora 3 posições	2	R\$ 9,95	R\$ 50,01
Potenciômetro A500k Push- Push	1	R\$ 16,16	R\$ 34,69
Proteção para o Jack P10	2	R\$ 2,91	R\$ 33,93
Kit com 4 Knobs para Potenciômetros	1	R\$ 22,02	R\$ 22,04
Encordoamento 8 cordas Orbta	1	R\$ 90,99	R\$ 103,76
Laca para madeira	1	R\$ 14,99	R\$ 14,99
Corante preto	1	R\$ 15,99	R\$ 15,99
Lixas	3	R\$ 8,99	R\$ 26,97
		TOTAL:	R\$ 1.985,76

Tabela 1 - CUSTOS DE MATERIAIS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS.

Fonte: Os autores, 2023.