

AMPLIFICADOR DE ÁUDIO EDUCATIVO PARA A DEMONSTRAÇÃO DO EFEITO TERMIÔNICO

EDUCATIONAL AUDIO AMPLIFIER FOR THERMIONIC EFFECT DEMONSTRATION
AMPLIFICADOR DE AUDIO EDUCATIVO PARA DEMOSTRACIÓN DEL EFECTO TERMIÓNICO

Pedro Paulo da Cunha Machado

pedro.machado@ifrj.edu.br

<https://orcid.org/0000-0001-6642-2204>

Instituto Federal do Rio de Janeiro - campus Paracambi

Ana Clara de Moura Costa

anaclarademouracosta@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-5954-230X>

Instituto Federal do Rio de Janeiro - campus Paracambi

Guilherme Matheus Frade da Silva

guimafs@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-8290-4395>

Instituto Federal do Rio de Janeiro - campus Paracambi

João Pedro Vieira Lopes

joaopedrov362@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-4608-0025>

Instituto Federal do Rio de Janeiro - campus Paracambi

Lorena Almeida do Nascimento

almeidalorena@958@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-0071-207X>

Instituto Federal do Rio de Janeiro - campus Paracambi

RESUMO

As válvulas são dispositivos que utilizam o efeito termiônico para projetos de equipamentos eletrônicos. Foi a tecnologia dominante do início até meados do século XX, mas ainda são empregadas atualmente em equipamentos específicos como amplificadores de áudio. A invenção das válvulas eletrônicas promoveu um grande avanço da engenharia eletrônica, pois viabilizaram as tecnologias de comunicação, como os primeiros rádios, televisores e o desenvolvimento do primeiro computador eletrônico o ENIAC (*Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer*) em 1946. Nas últimas décadas, essa tecnologia foi sendo substituída pelo uso de semicondutores de silício, como diodos, transistores, circuitos integrados e microprocessadores, empregados nos projetos eletrônicos atuais. Mesmo com a mudança da tecnologia, muitos músicos profissionais, especialmente os guitarristas, têm preferência pelos amplificadores valvulados, fazendo com que estes atinjam valores comerciais elevados. Os estudos experimentais são sempre vistos de forma positiva no meio acadêmico, pois são complementares e estimulam a pesquisa científica. Neste trabalho foram desenvolvidas competências, desde o projeto do circuito eletrônico, quanto no uso de *software* para modelagem 3D e emprego da manufatura aditiva para construir o chassi do amplificador. Os objetivos deste trabalho foram estudar os princípios físicos de funcionamento das válvulas termiônicas e construir um amplificador de som estereofônico com três watts de potência por canal. Após testes, verificou-se que o funcionamento ficou dentro do esperado, resultando num produto educacional e comercial.

PALAVRAS-CHAVE: Efeito Edison; Efeito termiônico; Amplificador; Válvula eletrônica.

ABSTRACT

*The vacuum tube devices use the thermionic effect for electronic equipment designs. It was the dominant technology from the beginning to the middle of the 20th century, but it is still used today in specific equipment such as audio amplifiers. The invention of vacuum tubes or electron tubes promote a great advance in electronic engineering, as they enabled communication technologies, such as the first radios, televisions and the development of the first electronic computer ENIAC (*Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer*) in 1946. In recent decades, this technology was being replaced by*

doi:10.22407/2176-1477/2024.v15.2502

Recebido em: 01/12/2023

Aprovado em: 18/04/2024

Publicado em: 20/04/2024

the use of silicon semiconductors, such as diodes, transistors, integrated circuits and microprocessors, used in current electronic projects. Even with the change in technology, many professional musicians, especially guitarists, prefer tube amplifiers, causing them to reach high commercial values. Experimental studies are always seen positively in academy, as they are complementary and stimulate scientific research. In this work, skills were developed, from the design of the electronic circuit to the use of 3D modeling software and the additive manufacturing application to build the amplifier chassis. The objectives of this work were to study the physical principles of operation of vacuum tubes and build a stereophonic sound amplifier with three watts of power per channel. After testing, we conclude that it worked as expected, resulting in an educational and commercial product.

KEYWORDS: Edison effect; Thermionic effect; Amplifier; Vacuum tube.

RESUMEN

Las válvulas son dispositivos que utilizan el efecto termoiónico para proyectos de equipos electrónicos. Fueron la tecnología dominante desde principios hasta mediados del siglo XX, pero aún se emplean actualmente en equipos específicos como amplificadores de audio. La invención de las válvulas electrónicas promovió un gran avance en la ingeniería electrónica, ya que viabilizaron las tecnologías de comunicación, como las primeras radios, televisores y el desarrollo de la primera computadora electrónica ENIAC (Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer) en 1946. En las últimas décadas, esta tecnología ha sido reemplazada por el uso de semiconductores de silicio, como diodos, transistores, circuitos integrados y microprocesadores, empleados en los proyectos electrónicos actuales. A pesar del cambio de tecnología, muchos músicos profesionales, especialmente los guitarristas, prefieren los amplificadores de válvulas, lo que hace que estos alcancen valores comerciales elevados. Los estudios experimentales siempre son vistos de forma positiva en el ámbito académico, ya que son complementarios y estimulan la investigación científica. En este trabajo se desarrollaron competencias, desde el diseño del circuito electrónico hasta el uso de software para modelado 3D y la aplicación de fabricación aditiva para construir el chasis del amplificador. Los objetivos de este trabajo fueron estudiar los principios físicos de funcionamiento de las válvulas termoiónicas y construir un amplificador de sonido estereofónico con tres vatios de potencia por canal. Después de pruebas, se verificó que el funcionamiento estuvo dentro de lo esperado, resultando en un producto educativo y comercial.

PALABRAS CLAVE: Efecto Edison; Efecto termoiónico; Amplificador; Válvula electrónica.

INTRODUÇÃO

Chamamos de efeito termiônico a emissão de elétrons de uma superfície metálica quando esta é aquecida a temperaturas acima de 2000K (ANDRADE, 2013). Um dos primeiros a descrever esse fenômeno foi o físico inglês Frederick Guthrie, em 1873, quando observou que uma bola de ferro aquecida a alta temperatura no vácuo retinha uma carga negativa em sua vizinhança. Em 1875, esse efeito foi observado por Thomas Alva Edison quando investigava as causas da ruptura do filamento da lâmpada incandescente, realizando a sua patente em 1883. Em homenagem ao inventor, o efeito termiônico também é chamado de efeito Edison. Esta observação de Edison deu origem às válvulas e posteriormente aos semicondutores de silício como diodos e transistores, dispositivos vitais para o desenvolvimento da eletrônica moderna. As válvulas termiônicas apresentam um fluxo de elétrons em apenas uma única direção, do filamento aquecido, o catodo, para uma placa de menor temperatura no interior da válvula, que passou a ser chamada de anodo (Figura 1). (Basso et al., 2023; Electronicapt, 2023; Kennelly, 1932; Mundo educação, 2023; Sparkmuseum, 2023.

Podemos observar na Figura 1-I, a emissão de elétrons a partir de um filamento metálico incandescente "F" e um anodo também metálico "A", numa ampola de vidro sob vácuo, pois a presença do ar impede a emissão de elétrons. A fonte de tensão "B1" aquece o filamento e

a fonte "B" polariza o anodo positivamente. Nesta condição, os elétrons emitidos pelo filamento são atraídos pelo potencial positivo do anodo, fazendo circular a corrente elétrica pelo circuito. Na Figura 1-II, verifica-se que a polaridade da fonte "B" foi invertida, logo, o anodo "A" terá um potencial negativo, repelindo os elétrons emitidos pelo filamento e não haverá corrente no circuito. Observa-se que a corrente elétrica na válvula fluirá apenas em um único sentido como um diodo. Na Figura 2, verifica-se a aparência das válvulas com seus filamentos energizados e incandescentes para que ocorra o efeito termiônico.

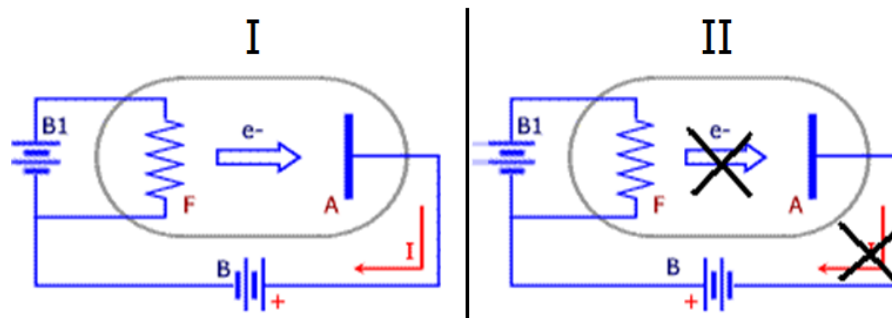


Figura 1: Válvula em condução (I) e válvula sem condução (II)

Fonte: ELECTRONICAPT (2023).



s & Ideias

Figura 2: Filamentos incandescentes das válvulas em funcionamento

Fonte: Elaborada pelos autores.

A principal tecnologia que surgiu com os estudos do efeito termiônico e alavancou a indústria eletrônica foi a válvula diodo ou tubo de vácuo, inventada pelo físico e inventor John Ambrose Fleming em 1904. Em 1907, outro inventor Lee De Forest patenteou o seu primeiro Audion de três eletrodos ou válvula triodo. Essa invenção permitia que uma pequena quantidade de eletricidade na válvula triodo poderia controlar uma corrente mais extensa do filamento para a placa, permitindo que o Audion detectasse e amplificasse os sinais de rádio. (Audion, 2023; Britannica, 2023).

Segundo Gaudio (2021), ao inserir um terceiro eletrodo entre o anodo e o catodo, é possível exercer um controle sobre a corrente de anodo. Este terceiro eletrodo é chamado de grade de controle, sendo normalmente composto por uma espiral de fios finos de molibdênio, que circundam o catodo, mantidos na posição adequada por um par de hastes de suporte de cobre. Com a presença de três eletrodos, o dispositivo resultante é chamado de triodo (Figura 3).

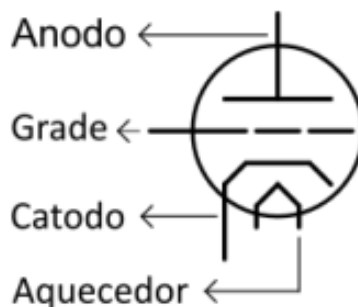


Figura 3: Válvula Triodo com o anodo, a grade e o catodo
Fonte: GAUDIO (2021).

Se a grade não for polarizada negativamente, os elétrons na carga espacial serão puxados mais fortemente no sentido do anodo. Caso contrário, repelirá os elétrons, mantendo-os na área de carga espacial e a corrente de anodo passa a ser restringida, diminuindo a condução. Numa condição em que a tensão na grade fique carregada muito negativamente, a corrente de anodo pode ser totalmente restringida. Esta situação é chamada de tensão de corte. Consequentemente, para cada valor de tensão de grade existe uma corrente de anodo dependente da tensão de anodo. Esse fenômeno é a base para a construção de um amplificador de áudio (Braga, 2023; Nova eletrônica, 2023).

Em 1928 o físico inglês Owen W. Richardson recebeu o prêmio Nobel pelos seus trabalhos na investigação deste efeito. A equação de Richardson-Dushman (Equação 1) descreve a corrente de emissão termiônica J (A) a relacionando com a temperatura absoluta T (K), a constante de emissividade do material do catodo A , a função de trabalho do material do catodo ϕ ($\sim 4\text{eV}$) e a constante de Boltzmann k_B (Andrade, 2013).

$$J = AT^2 e^{\left(\frac{\phi}{k_B T}\right)} \quad (\text{Equação 1})$$

De acordo com Fazano (2023), a válvula eletrônica ou válvula termiônica, ou ainda, também conhecida como válvula termo-iônica, foi um ponto de confluência de conhecimentos preexistentes que formaram a ciência e a técnica da Eletrônica e viabilizou muitas aplicações tecnológicas do século XX. Com essa tecnologia foram desenvolvidos o rádio e a TV que se popularizaram podendo ser encontrados em quase todas as casas. Até meados do século 20 ainda foi possível encontrar válvulas em televisores, os chamados tubos de raios catódicos, tubos de imagens ou cinescópio de TV, que finalmente foram substituídos pela tela de LCD ou LED. Com o uso das válvulas, também foi possível o desenvolvimento do primeiro computador eletrônico o ENIAC (*Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer*), entre 1943 e 1945, entrando oficialmente em operação em julho de 1946. Era composto por aproximadamente 17.000 válvulas (Eniac, 2023; Monteiro, 2007).

O objetivo deste trabalho foi realizar estudos básicos sobre a tecnologia das válvulas termiônicas e construir um amplificador estereofônico educativo para ser usado em instrumentos musicais, notebooks e celulares, como um possível produto educacional e comercial.

Mesmo utilizando uma tecnologia considerada ultrapassada para a maioria das aplicações da engenharia eletrônica, o projeto desenvolvido neste trabalho é inovador pelo ponto de vista educacional, pois, todas as fases do projeto estimularam estudos

complementares às ementas do curso técnico em mecânica do Instituto Federal de Educação e Tecnologia do *campus* Paracambi. Este trabalho promoveu uma busca histórica por nomes de cientistas, engenheiros e inventores do início do século XX, que contribuíram com seus conhecimentos para o progresso científico e projetaram tecnologias que serviram de base para a criação dos semicondutores modernos como o diodo, o transistor e os circuitos integrados, culminando nos microprocessadores, usados nos celulares, computadores e numa infinidade de dispositivos eletrônicos atuais.

Segundo Tectrônica (2023), os amplificadores valvulados possuem um timbre diferente dos amplificadores de estado sólido feitos com transistores. Ao amplificar um sinal de áudio, a válvula produz uma série de ruídos e atenuações intrínsecas ao seu funcionamento. Essa imperfeição na amplificação é mais agradável ao ouvido humano e é justamente o que dá a característica sonora diferenciada dos amplificadores valvulados. Essa característica, fez com que os amplificadores valvulados se tornassem um equipamento necessário entre os músicos, especialmente os guitarristas. O uso difundido de amplificadores valvulados nos anos 50, 60 e 70, aliados ao surgimento de diversas bandas famosas, cujos guitarristas são considerados como ícones da música, utilizavam esses amplificadores, levando-os a um estágio de "objeto de desejo" que permanece até os dias atuais e, por este motivo, esses equipamentos profissionais alcançam valores elevados de mercado, variando desde centenas a milhares de dólares (Figura 4).



Figura 4: Amplificador profissional Marshall JVM410H 100W 4 Channel Tube Head

Fonte: Amazon, 2023.

Segundo o Portal da Indústria (2023), a educação STEAM, acrônimo em inglês para Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática, tem como um de seus principais objetivos preparar os estudantes para os desafios do século 21. A construção de um protótipo tecnológico e, com possibilidade para um produto comercial tem grande afinidade com esta abordagem, pois possibilitou ao longo de seu desenvolvimento que os discentes envolvidos tivessem experiência em todos os pontos chave desta nova visão de aprendizado e desenvolvessem competências como a experimentação, criatividade, trabalho em equipe, autonomia e pensamento crítico, relevantes para suas carreiras.

Dentro das diretrizes curriculares da base nacional comum curricular (BNCC), estão a promoção de competências e habilidades para o século XXI, como a adaptação a diferentes situações, a criatividade, a cultura digital, a argumentação, o pensamento crítico e o raciocínio lógico, a partir de atividades colaborativas e autônomas, e que tenham conexão com a vida real dos estudantes. Isso é fundamental diante de uma sociedade em constante transformação, com novas carreiras, desafios tecnológicos, dilemas e demandas surgindo a todo o momento (BRASIL, 2018).

De acordo com Xavier et al. (2019), é possível aplicar os métodos ativos no Ensino Profissional e Tecnológico, pois estas práticas possibilitam uma maior reflexão quanto ao ato de aprender. Colocando o aluno no centro do processo de ensino e aprendizagem, de forma mais intrínseca, duradora e significativa. Frigotto (2018), entende que para operar a nova base técnica e científica de uma indústria crescente, são necessárias novas qualificações e, os diferentes níveis de governos, vêm instituindo programas de qualificação profissional, dentre eles, o ensino médio integrado por meio dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia.

METODOLOGIA

O amplificador construído pertence à classe A - subclasse A1 valvulado, com aproximadamente 3W de potência por canal. São os mais lineares com menores valores de distorção e utilizou como base o diagrama do circuito eletrônico apresentado na Figura 5, por Danyk (2023). Esta modalidade de amplificadores possui uma eficiência na ordem de 20 a 25%, pois funcionam constantemente com potência elevada, mesmo sem sinal em sua saída. Isso significa que estes modelos de amplificadores dissipam os outros 75 a 80% da energia em calor. São grandes e pesados devido aos transformadores de alimentação e de saída de som e, trabalham em temperaturas elevadas. As válvulas PCL82, PCL84, PCL85, PCL86, ECL82, ECL84 ou ECL86 podem ser usadas, pois, podem ser encontradas no comércio nacional (Bodanese, 2017; Revista antena, 2023; William, 2023).

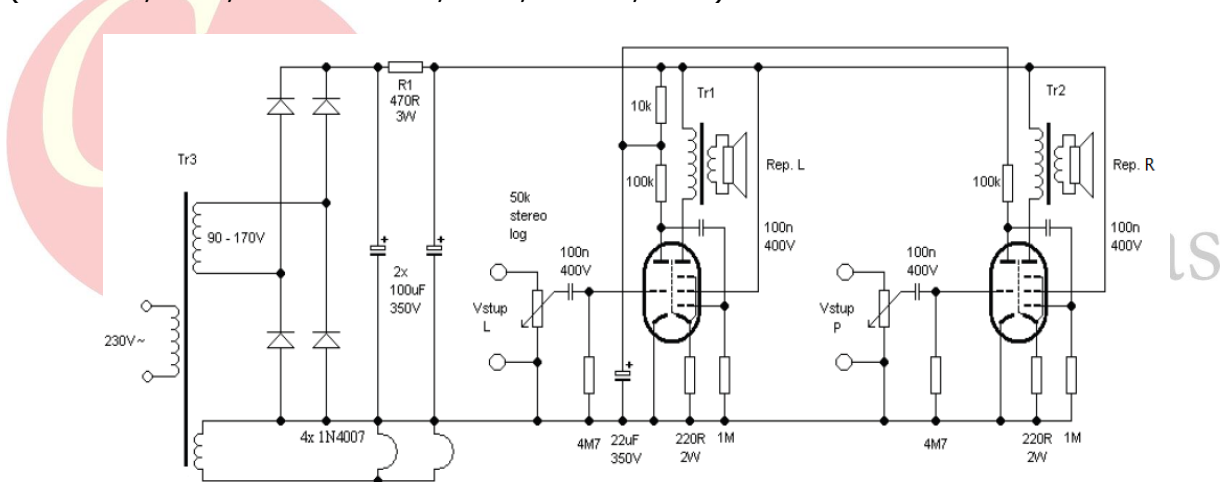


Figura 5: Diagrama do Amplificador classe A - subclasse A1 com potência de 3W

Fonte: Danyk, 2023.

A construção do circuito foi realizada por trabalho em equipe, realizando as soldagens dos componentes eletrônicos de acordo com o diagrama do circuito. Para isso, foi necessário realizar estudos de forma mais aprofundada sobre as teorias da física referentes aos circuitos elétricos e a lei de Ohm. Além da experiência prática de leitura do diagrama eletrônico e reconhecimento dos componentes e seus valores, foram desenvolvidas as habilidades de soldagem, modelagem 3D, manufatura aditiva, utilização de multímetro e na busca e aquisição de materiais diversos.

No desenvolvimento de um protótipo físico e trabalho em equipe os discentes utilizaram estratégias nas divisões de tarefas, adquirindo experiências complementares à sua formação, moldando a sua preparação para as atividades em plantas industriais em diversos setores, principalmente nas áreas de instrumentação e automação e controle de processos (Figura 6).



Figura 6: Trabalho em equipe no início do projeto

Fonte: Elaborada pelos autores.

Algumas modificações foram realizadas com o objetivo de tornar o projeto mais educativo para o conceito da transmissão termiônica, como também, para tornar a sua aparência mais profissional e comercial. Para o circuito, foram usadas duas válvulas PCL82 e dois transformadores de saída, um para cada canal. Nos canais de saída foram adicionados dois dispositivos indicadores analógicos de volume. Para um canal foi usada uma válvula "olho mágico" e para o outro um VU, "Volume Unit" (Figura 7). Ambos são dispositivos que apresentam a variação sonora das saídas do amplificador de forma visual, na forma de uma barra esverdeada de altura variável e na variação de um ponteiro numa escala analógica, respectivamente.



Figura 7: Válvula "olho mágico" e para o outro um VU, "Volume Unit"

Fonte: Elaborada pelos autores.

A fonte apresentada no esquema sofreu uma modificação experimental, que foi a substituição de um dos quatro diodos 1N4007 por uma válvula diodo EZ90, com o objetivo de mostrar a equivalência entre estes dispositivos, mesmo possuindo princípios físicos diferentes de funcionamento. Também foi adicionado um potenciômetro de tonalidade do som, pois não havia essa possibilidade no diagrama usado como referência no projeto. A fonte de alimentação é um conversor CA/CC, responsável pela conversão da corrente alternada oriunda da concessionária de energia elétrica em corrente contínua. Para isso, foi usado um transformador com enrolamento primário de 127+127 Volts e um enrolamento secundário de 14+14 Volts, com três amperes de corrente. Os 127 Volts foram retificados para corrente contínua para serem usados na PCL82, em vez dos 200 Volts sugeridos pelo autor. Os 14 Volts gerados no enrolamento secundário do transformador foram usados nos filamentos das válvulas.

Neste projeto, optou-se por não usar uma placa de circuito impresso (PCI), usando-se em seu lugar o método de soldagem dos fios em terminais, devido a simplicidade e a didática na ligação dos componentes de acordo com o diagrama (Figura 8).



Figura 8: Ligação das peças por terminais e fios
Fonte: Elaborada pelos autores.

Na montagem final do amplificador foi projetado um chassi de plástico com uso da técnica de manufatura aditiva. Foram modeladas duas partes: uma superior, para a montagem das válvulas, transformadores e componentes e uma parte inferior, para ser usada como uma tampa de proteção e também de apoio. Para isso, foi usado o software gratuito Tinkercad (AUTODESK, 2023) para a modelagem 3D e depois impresso numa impressora 3D modelo BiquB1 (SLIM3D, 2023). Como as válvulas eletrônicas aquecem atingindo temperaturas em torno de 70°C durante o seu funcionamento, foi escolhido como material o filamento plástico PETG (Polietileno Tereftalato Glicol), devido ao seu ponto de fusão elevado, em torno de 245°C e por possuir a propriedade de isolante elétrico (Figura 9 e Figura 10).

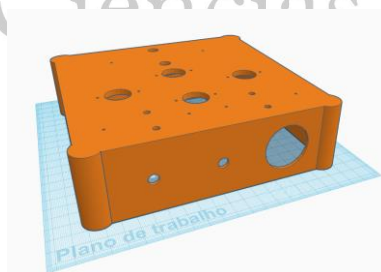


Figura 9: Modelagem da parte superior do Chassi com do software Tinkercad
Fonte: Elaborada pelos autores.

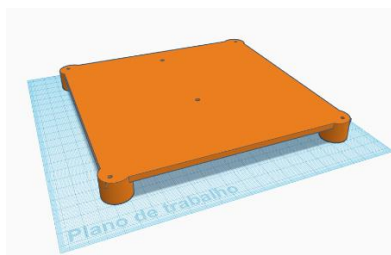


Figura 10: Modelagem da parte inferior do Chassi com uso do software Tinkercad
Fonte: Elaborada pelos autores.

Para o acabamento final, foram adicionados nos potenciômetros de volume e tonalidade (Figura 11), botões, "knobs", encontrados no comércio para serem usados em guitarras elétricas.



Figura 11: Acabamento final do amplificador desenvolvido com botões ("knobs") de guitarra.
Fonte: Elaborada pelos autores.

A caixa de som foi construída com uso de chapa de fibra de madeira de média densidade MDF (*Medium Density Fiberboard*) e pintada com tinta preta brilhante (Figura 12). Suas dimensões para a construção foram de 29cm de comprimento por 20cm de altura e 13cm de largura. Os dois autofalantes usados são automotivos circulares de 30W, com 12cm de diâmetro.



Figura 12: Amplificador em funcionamento com a caixa acústica construída em MDF.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Figura 13, observa-se o amplificador em funcionamento e conectado em um notebook, amplificando o áudio de um vídeo da Internet. Foi escolhido propositalmente um ambiente mais escuro para que as luzes do amplificador ficassem mais aparentes.



Figura 13: O amplificador e caixa acústica, conectados em um notebook

Fonte: Elaborada pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia STEAM, ao integrar disciplinas como ciências, tecnologia, engenharia, artes e matemática, busca proporcionar uma abordagem holística para a solução de problemas, incentivando a criatividade, colaboração e pensamento crítico dos alunos.

O aprendizado através da prática, LBD (*Learning by Doing*), enfatiza a importância da prática e da experiência direta na construção do conhecimento. Os alunos aprendem ao realizar atividades práticas, experimentar, resolver problemas e refletir sobre suas experiências, consolidando assim seus conhecimentos.

Este projeto, também se insere na metodologia "MAKER" por envolver a criação de produtos físicos usando tecnologia e ferramentas de fabricação. Nesse contexto, os estudantes foram encorajados a explorar, projetar, prototipar e construir objetos tangíveis, desenvolvendo habilidades técnicas e criativas.

Pela abordagem DIY (*Do It Yourself*), a criação de protótipos incentiva as pessoas a aprenderem e realizarem tarefas por conta própria, adquirindo habilidades em uma variedade de áreas. Essa metodologia promove a autonomia, a experimentação e a resolução de problemas através da realização de atividades práticas, permitindo que sejam protagonistas de seu próprio aprendizado.

Ao desenvolverem este trabalho, os estudantes conheceram cientistas, engenheiros e inventores do início do século XX, que contribuíram com seus conhecimentos para o progresso científico ao projetarem essas tecnologias. As válvulas foram a base para a criação do diodo, do transistor e dos circuitos integrados, culminando nos microprocessadores, usados nos celulares, computadores, videogames e numa ampla variedade de dispositivos eletrônicos atuais.

O amplificador foi testado em celulares, *notebooks*, rádios e num violão com pré-amplificador embutido. A potência de saída de som foi de aproximadamente 3W por canal, compatível com um amplificador classe A e o som obtido não apresentou a presença de ruídos detectáveis pela audição humana. Após dezenas de horas de funcionamento não foram observados problemas de superaquecimento, choques elétricos ou curtos-circuitos.

O protótipo desenvolvido pode ser visto como um produto educativo, que poderá ser usado nas disciplinas de física, música, história e outras que possuam alguma correlação com tecnologia, como também, como um produto com potencial comercial, devido à sua aparência "vintage" e a qualidade sonora resultante das válvulas termiônicas.

REFERÊNCIAS

AMAZON. **Marshall JVM410H 100-Watt 4-Channel Tube Head**. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Marshall-JVM410H-100-watt-4-channel-Tube/dp/B001MT461C>>. Acesso em: 15 de nov. 2023.

ANDRADE, N. S., A. V.; ANDRADE-NETO, T. L.; CRUZ, J. A. Experimental and theoretical study of the thermionic effect. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 1308, 2013.

AUDION. **Tubo de vácuo Audion**. Disponível em: <<https://history-computer.com/the-audion-vacuum-tube/>>. Acesso em: 03 de jun. 2023.

AUTODESK. **Plataforma Tinkercad**. Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em 02 de Nov. de 2023.

BASSO, H. C., SIU LI, M., ZANATTA, A. R. **Efeito Termiônico**. Disponível em: <https://www3.ifsc.usp.br/~lavfis/images/BDapostilas/ApEfTermoionico_Tubo/TermIonTubo_1.pdf>. Acesso em: 03 de jun. de 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**, 2018.

BODANESE, E. E. **Projeto e Implementação de um Amplificador de Áudio Classe D**. Trabalho de conclusão de curso de graduação, do curso de engenharia elétrica do departamento acadêmico de elétrica - DAELE – da universidade tecnológica federal do Paraná - UTFPR, *campus* Pato Branco, 2017.

BRAGA, Newton C. **Válvulas (ALM397)**. Instituto Newton C. Braga. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/211-v/7606-valvulas-alm397.html>>. Acesso em: 31 de outubro de 2023.

BRITANNICA. **Lee de Forest Inventor Americano**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Lee-de-Forest>>. Acesso em: 19 de nov. de 2023.

DANYK. **Stereo vacuum tube audio amplifier**. Disponível em: <https://danyk.cz/elzes_en.html>. Acesso em: 02 de nov. 2023.

ELECTRONICAPT. **Electronica PT Válvulas**. Disponível em: <<https://www.electronica-pt.com/valvulas>> Acesso em: 03 de jun. de 2023.

ENIAC. **O ENIAC**. Disponível em: <<https://www.hardware.com.br/guias/historia-informatica/eniac.html>>. Acesso em: 03 de jun. de 2023.

FAZANO, Carlos. **A idade do Elétron – 100 anos de progresso na eletrônica**. [2011]. Disponível em: <http://www.fazano.pro.br/indice.html>. Acesso em: 19 de nov. 2023.

FRIGOTTO, G. **Institutos Federais de Educação Ciência e Tecnologia- Relação com o Ensino Médio Integrado e o Projeto Societário de Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, LPP/UERJ. 2018.

GAUDIO, G. W. A. **Amplificadores Valvulados Para Instrumentos Musicais**. Projeto de Diplomação Apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica para Graduação em Engenharia Elétrica, UFRGS, 2021.

KENNELLY, ARTHUR E. **Biographical Memoir of Thomas Alva Edison 1847-1931**. Presented to The Academy at The Autumn Meeting, 1932.

MONTEIRO, M. A. **Introdução à Organização de Computadores**. 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 720 p.

MUNDO EDUCAÇÃO. **As Lâmpadas de Edison**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/curiosidades/as-lampadas-edison.htm>>. Acesso em: 03 de jun. de 2023.

NOVA ELETRONICA. **Válvula Eletrônica**. Disponível em: <<https://blog.novaeletronica.com.br/valvula-eletronica/>>. Acesso em: 03 de jun. de 2023.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Educação STEAM - insumos para a construção de uma agenda para o Brasil**. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2021/3/educacao-steam-insumos-para-construcao-de-uma-agenda-para-o-brasil/>> Acesso em: 02 nov. 2023.

REVISTA ANTENA. **Amplificadores de Potência – Classes e Especificações**. Disponível em: <<https://revistaantenna.com.br/amplificadores-de-potencia-classes-e-especificacoes/2/>> Acesso em: 03 de jun. 2023.

SLIM3D. **IMPRESSORA 3D BIGTREETECH - Biqu B1**. Disponível em: <<https://www.slim3d.com.br/impressoras-3d/>>. Acesso em: 12 de nov. de 2023.

SPARKMUSEUM. **Fleming Oscillation Valve 1910**. Disponível em: <<http://www.sparkmuseum.com/FLEMING.HTM>>. Acesso em: 03 de jun. de 2023.

TECTRÔNICA. **Tudo sobre Amplificadores Valvulados**. Disponível em: <<https://tlectronica.wordpress.com/2011/12/19/tudo-sobre-amplificadores-valvulados/>> Acesso em: 03 de jun. de 2023.

WILLIAN, N. **Single Tube audiophile amplifier**. Disponível em: <<https://nmwilliam.tripod.com/>>. Acesso em: 03 de jun. 2023.

XAVIER, N. S.; OLIVEIRA, C. A. de; AZEVEDO, L. C. **Piaget e o Método Ativo no Contexto da Educação Profissional e Tecnológica**. Revista Semiárido De Visu - v. 7, n. 2, 2019.