



FICE

8ª A FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 E 06 DE SETEMBRO

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE AMPLIFICADORES DE ÁUDIO VALVULADOS

Renan Hackbarth¹ ; João Hemkemaier² ; João Gabriel Cardoso³ ; Matheus Moura⁴

INTRODUÇÃO

Os amplificadores de áudio surgiram da necessidade de transmitir o som para uma grande quantidade de ouvintes. No caso da música, eles são utilizados principalmente para que instrumentos, como o violão, toquem em harmonia com outros instrumentos com maior capacidade de alcance sonoro, como os instrumentos de sopro em geral.

Resumidamente, podemos dividir os amplificadores específicos do instrumento guitarra entre valvulados, transistorizados e híbridos. Os valvulados foram os primeiros a surgir no mercado, e até hoje representam uma parcela do mercado de amplificadores devido ao seu timbre único.

Em seguida vieram os transistorizados, estes normalmente são mais baratos e robustos quando comparados com os amplificadores valvulados e por isso, se tornaram mais difundidos entre os consumidores.

Por fim temos os híbridos, que são basicamente amplificadores cujo pré-amplificador é valvulado e a parte de potência é feita com transistores, com isso é possível se obter um timbre bem próximo de um amplificador valvulado, ainda sim com um custo mais baixo.

Apesar de uma significativa parcela dos músicos ter preferência pelo timbre gerado pelos amplificadores valvulados, o acesso a esse tipo de amplificador é dificultado principalmente pelo seu preço. Portanto, é objetivo deste projeto construir um amplificador de guitarra valvulado de baixo custo. Para analisar a qualidade de áudio e características como potência e distorção harmônica, serão realizados testes em laboratório com o auxílio de um osciloscópio e gerador de funções.

¹Professor Orientador do Instituto Federal Catarinense, Videira. Curso técnico em eletroeletrônica integrado ao ensino médio. E-mail: renan.hackbarth@ifc.edu.br

²Professor colaborador do Instituto Federal Catarinense, Videira. Curso técnico em eletroeletrônica integrado ao ensino médio. E-mail: joao.hemkemaier@ifc.edu.br

³Aluno do Instituto Federal Catarinense, Videira. Curso técnico em eletroeletrônica integrado ao ensino médio. E-mail: jgc.cardoso@hotmail.com@hotmail.com

⁴Aluno do Instituto Federal Catarinense, Videira. Curso técnico em eletroeletrônica integrado ao ensino médio. E-mail: matheus23moura@hotmail.com@hotmail.com

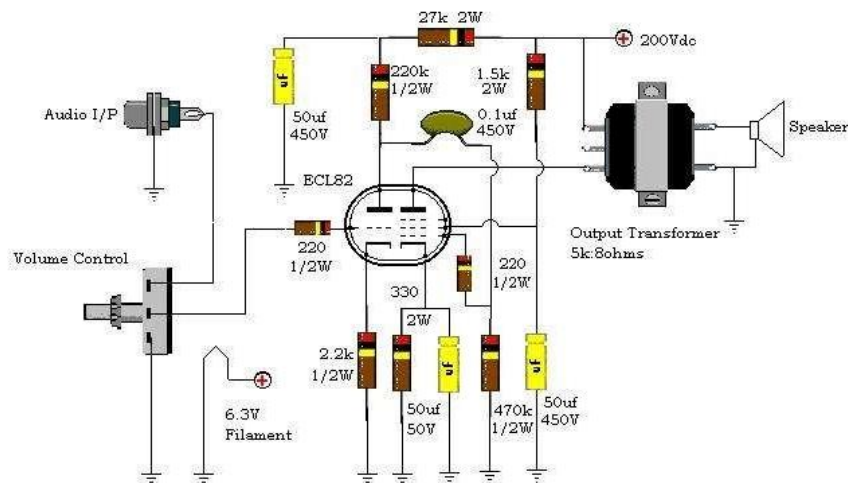


Materiais e métodos

Um amplificador valvulado é um equipamento basicamente composto de um circuito eletrônico, transformadores e um falante.

Tendo em vista que este projeto envolve alunos do curso técnico integrado ao ensino médio, além do baixo custo, buscou-se manter a simplicidade como critério na escolha do circuito. Portanto o circuito escolhido foi o de um amplificador que usasse apenas uma válvula, o que reduziu o preço e sua complexidade, uma vez que seriam necessários menos componentes. A Figura 1 apresenta o diagrama do circuito do amplificador.

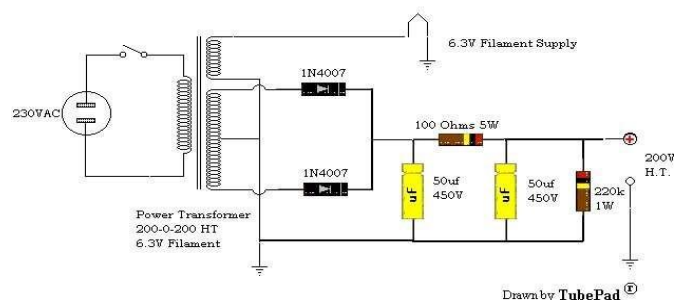
Figura 1- Diagrama do Circuito do Amplificador



Fonte: TUBEPAD, 2019a

Já a Figura 2 representa o diagrama do circuito retificador utilizado para energizar o amplificador.

Figura 2 - Diagrama do circuito retificador



Fonte: TUBEPAD, 2019b



FICE

8ª A FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 E 06 DE SETEMBRO

Existem no mercado diversas válvulas com diferentes características. A válvula utilizada foi a ECL 82.

A ECL 82 é uma válvula que foi Lançada em 1956 e possui um pentôdo de potência e um triôdo pré-amplificador que também poderia ser usado como oscilador. O pentôdo pode ser usado tanto como saída de áudio, como também para varredura vertical em televisores. Na década de 60 tentaram substituir o uso da ECL82 pela ECL86 que era um modelo mais moderno e específico para áudio, porém devido ao seu baixo custo a ECL82 se manteve no mercado.

Além do desenvolvimento dos circuitos supracitados, também foi confeccionada uma caixa em MDF para instalação do falante. Para o cabeçote foi reutilizada a carcaça de um receptor de sinal analógico de antena parabólica. No cabeçote foram montados os dois circuitos citados anteriormente, o retificador(fonte) e o amplificador. Para a conexão entre o cabeçote e a caixa contendo o falante foi utilizado um cabo P10.

Antes da montagem final, o circuito amplificador e retificador foram testados em uma matriz de contatos. O circuito final foi montado utilizando o método de montagem em barra de terminais. Para isso, utilizou-se uma placa de madeira parafusada à carcaça do cabeçote e parafusos foram presos aos terminais onde foram ligados os componentes.

Quanto aos transformadores e a válvula, estes foram instalados na parte de cima do cabeçote e também presos com parafusos. A Figura 3 mostra o cabeçote já concluído.

Figura 3 - Cabeçote



Fonte: HACKBARTH, 2019a



FICE

8^A A FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 E 06 DE SETEMBRO

A Tabela 1 apresenta cada componente individual e seu custo.

Tabela 1 - Custos

Componente	Valor
Transformador de Força e Áudio	R\$199,99
Válvula ECL82	R\$ 28,00
Soquete para Válvula	R\$ 17,22
Resistor 27K Ohm	R\$ 0,33
Resistor 220K Ohm	R\$ 0,13
Resistor 1,5K Ohm	R\$ 0,33
Resistor 2,2K Ohm	R\$ 0,13
Resistor 470K Ohm	R\$ 0,12
Capacitor Poliéster 100nF	R\$ 0,61
Diodo 1N4007	R\$ 0,07
Capacitor Eletrolítico 50 uF	R\$ 10,75
TOTAL	R\$275,68

Fonte: HEMKEMAIER, 2019

Após a montagem de todo o conjunto do amplificador foram realizados vários testes para análise de seu desempenho. Os resultados serão apresentados no próximo item desse artigo.

RESULTADOS

Com o objetivo de avaliar o desempenho do amplificador desenvolvido, utilizou-se o osciloscópio modelo Tektronix TDS 2002C para relacionar a tensão de saída do amplificador, com um sinal de tensão de referência aplicado na entrada do mesmo. Essa relação permite obter a característica de ganho do amplificador.

Portanto, antes de iniciar os testes, procurou-se definir o sinal de referência mais apropriado, de acordo com o tipo de aplicação para o qual o amplificador seria utilizado. Nesse caso em questão, o amplificador seria utilizado como amplificador de guitarra.

Os captadores para guitarra podem ser categorizados pelo número de bobinas e a forma como essas estão posicionadas. Dentre essas categorias, destacam-se [Artigo em inglês]:

- a) *Single Coil*: única bobina



FICE

8^A A FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 E 06 DE SETEMBRO

b) *Humbucker*: duas bobinas posicionadas de forma a reduzir possíveis ruídos.

Captadores *single coils* produzem sinais de tensão de aproximadamente 200mV até 500mV. Enquanto que captadores *humbucker* produzem tensões de variando entre 400mV e 800mV. No entanto, esses valores podem variar bastante em função a força aplicada nas cordas do instrumento. Adicionalmente, é importante notar que o sinal de tensão sofre uma queda significativa, do momento que a corda do instrumento foi pressionada e os instantes seguintes. Portanto, o valor médio de tensão chega a ser 20-25% menor (DAILEY, [S/D]).

Em (DAILEY, [S/D]), o teste prático aplicado com o objetivo de capturar o sinal gerado pela corda “lá” de uma guitarra, resultou em uma tensão de 204mV_{pp}, para uma guitarra com captador *single coil*. Portanto, tendo em vista que o amplificador desenvolvido poderia ser utilizado com qualquer modelo de guitarra elétrica, escolheu-se utilizar 200mV_{pp} como valor de referência. Por fim, para gerar esse sinal, foi utilizado o gerador de sinais digital ATF10B.

Definidos o sinal de referência e o instrumento de medida, faltou definir as características físicas do sistema que receberia o sinal. Após amplificado, o sinal deveria ser aplicado a um sistema de alto-falantes. Alto-falantes normalmente apresentam impedâncias em torno de 2Ω, 4Ω e 8Ω. No entanto, como o transformador utilizado apresenta uma impedância de saída de 8Ω, é interessante que o alto-falante também apresente essa resistência para que ocorra o casamento das impedâncias. Sendo assim, buscando simular o comportamento de um alto-falante de 8Ω, montou-se um circuito de resistores em série até atingir a tensão de 8Ω. Por fim, esse circuito foi conectado na saída do transformador de saída.

A Figura 4 apresenta o amplificador desenvolvido e osciloscópio utilizado durante os testes.

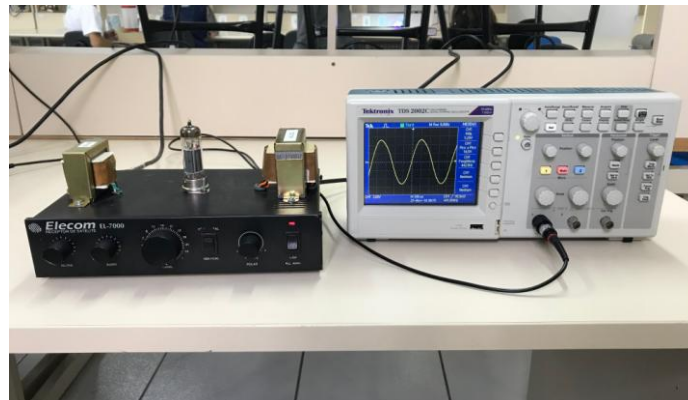


FICE

8ª A FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 E 06 DE SETEMBRO

Figura 4 – Amplificador e osciloscópio



Fonte: HACKBARTH, 2019b

Após aplicar o sinal de referência na entrada do circuito e captura da tensão para uma ampla faixa de frequências (entre 240hz e 37kHz), o sistema apresentou as seguintes características:

**Tabela 2- Características gerais do amplificador
Amplificador Valvulado – Valores máximos**

Ganho [Vo/Vi]	25,2
Ganho [dB]	14,04dB
V_{RMS}[saída]	1,78V
Potência máxima	0,396W

Fonte: HACKBARTH, 2019;

Como pode ser observado na Tabela 2, o ganho máximo obtido foi de 25,2, sendo esse valor equivalente a 14,04dB. A tensão máxima obtida na saída do amplificador foi de 1,78V_{RMS}, o gerou uma potência de saída de 0,396W, considerando um alto-falante de 8Ω.

Na sequência, com o objetivo de obter a resposta em frequência do amplificador, foi traçado o diagrama de bode do mesmo, apresentado na Figura 5.

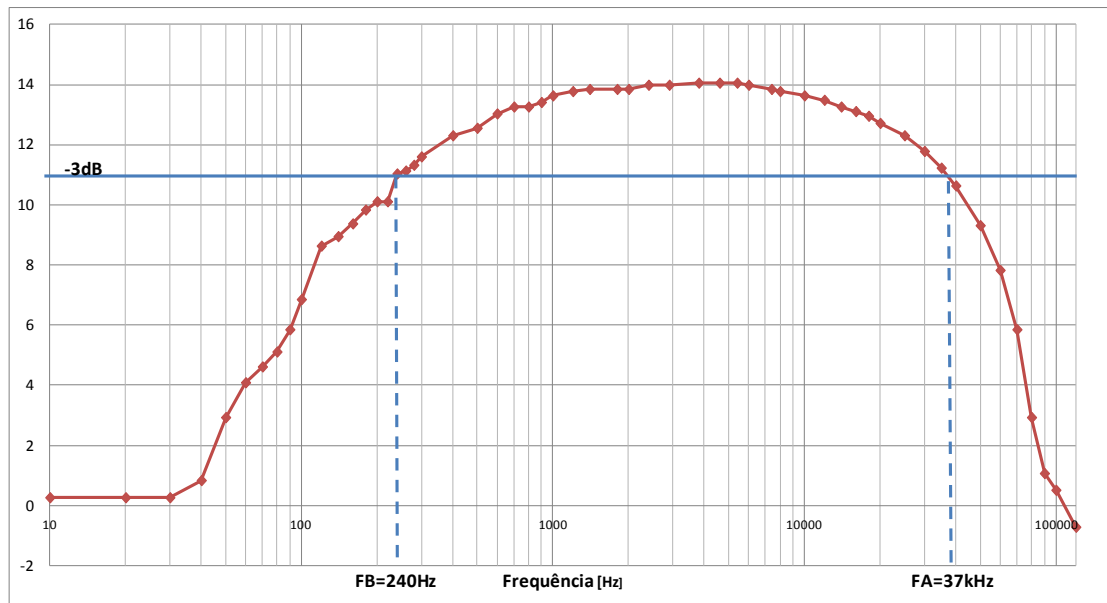


FICE

8ª A FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 E 06 DE SETEMBRO

Figura 5 - Diagrama de Bode



Fonte: HACKBARTH, 2019c

Como pode ser observado na Figura 5, o ganho máximo de tensão ficou em torno de 14dB. É também interessante notar para frequências menores que 240Hz e maiores que 37kHz o ganho cai pela metade (-3dB). Essas frequências são conhecidas como frequências de corte do amplificador. Ou seja, o ganho do amplificador diminui significativamente para frequências abaixo de FB e acima de FA.

Normalmente, as faixas de frequência são categorizadas da seguinte forma (PRANGE, 2019):

- Baixa frequência: 20Hz até 200Hz
- Média Frequência: 200Hz até 2kHz
- Alta frequência: 2kHz até 20kHz

Dessa forma, podemos verificar o desempenho do amplificador é reduzido em baixas frequências.

Considerando somente as frequências das notas fundamentais, as guitarras elétricas normalmente operam na faixa de 82Hz até 1397Hz. No entanto, suas harmônicas (frequências múltiplas da fundamental, responsáveis pelo timbre do instrumento), podem variar de 1kHz até 15kHz. (BARTLETT; BARTLETT, 2016).



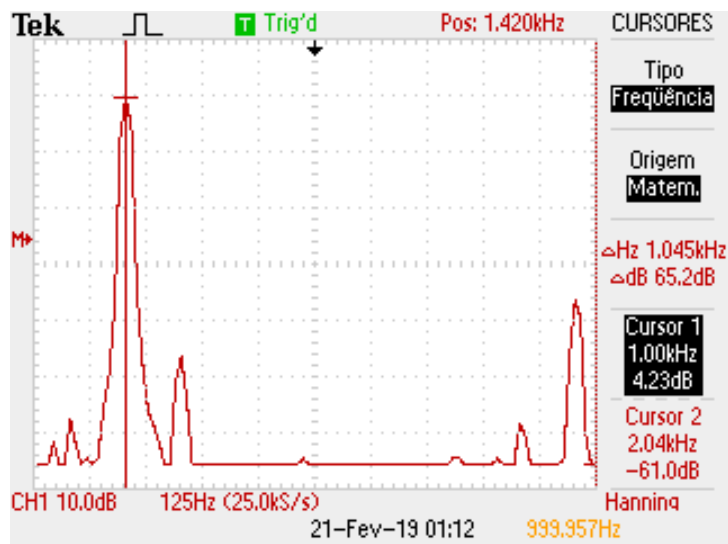
FICE

8ª A FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 E 06 DE SETEMBRO

Outra característica obtida do amplificador foi a distorção harmônica total (DHT). A distorção harmônica total quantifica o nível de tensão ou corrente das harmônicas em relação a uma onda de frequência fundamental (SHMILOVITZ, 2019). Normalmente, amplificadores comerciais apresentam o valor de DHT, utilizando como referência um sinal de 1kHz. Portanto, como pode ser observado na Figura 6, obteve-se com o auxílio do osciloscópio, o valor de DHT considerando uma onda de com 200mV_{pp} e $f=1\text{kHz}$.

Figura 6 – Espectro de Frequência do sinal



Fonte: HACKBARTH, 2019d

Através dos resultados obtidos, a taxa de distorção harmônica foi calculada em 2%. Para fins de comparação, de acordo com (SELF, 2009), valores inferiores a 1% não são detectados pelo ouvido humano. Dessa forma, vários amplificadores comerciais apresentam DHT inferior a 1% (apesar de alguns tipos de distorção serem percebidos com taxas de 0,3%). Já amplificadores considerados de alta-fidelidade, normalmente apresentam DHT entre 0,1-0,3% (SHMILOVITZ, 2019). Portanto, o amplificador desenvolvido apresenta um valor de DHT que torna a distorção harmônica é perceptível ao ouvido humano.



FICE

8^A A FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 E 06 DE SETEMBRO

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para fins de comparação com outros amplificadores valvulados de 1w de potência, encontramos o MARSHALL DSL1CR, disponível para venda no site do MAGALU por R\$2.453,42 e o amplificador Blackstar disponível para venda no site da Musica center por R\$2314,60 ambas consultas realizadas no dia 02/07/2019. Comparando-se os custos, o amplificador desenvolvido representa aproximadamente apenas 15% do custo de um amplificador comercial. A característica de linearidade do ganho, garante a estabilidade do mesmo para uma ampla faixa de frequências de áudio. Por fim, apesar da DHT ser um pouco superior a média do amplificadores comerciais (até 1%), a distorção provocada é praticamente imperceptível.



FICE

8ª A FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 E 06 DE SETEMBRO

REFERÊNCIAS

BARTLETT, Bruce; BARTLETT, Jenny. **Practical recording techniques**. Disponível em shorturl.at/guQ57>. Acesso em 11 jul 2019.

DAILEY, Denton J. **Eletronics for guitarists**. Disponível em: <<https://www.springer.com/br/book/9781441995360#otherversion=9781441995353>>. Acesso em 11 jul 2019.

HACKBARTH, Renan. **Cabeçote**. 2019a. 1 Figura.

HACKBARTH, Renan. **Amplificador e Osciloscópio**. 2019b. 1 Figura.

HACKBARTH, Renan. **Diagrama do Bode**. 2019c. 1 Figura.

HACKBARTH, Renan. **Espectro de frequência do sinal**. 2019d. 1 Figura.

HACKBARTH, Renan. **Características gerais do amplificador**. 2019. 1 Tabela.

HEMKEMAIER, João. **Custos**. 2019. 1 Tabela.

MAGALU. **Combo para guitarra 1W - DSL1CR – MARSHALL**. 2019d. 1 Figura. Disponível em: <shorturl.at/IW135>. Acesso em 11 jul 2019.

PRANGE, Kurt. **Audible Frequency Range and describing tone**. Disponível em: <<https://www.amplifiedparts.com/tech-articles/audible-frequency-range-and-describing-tone>>. Acesso em 11 jul 2019.

SELF, Douglas. **Audio Power Amplifier Desing Handbook**. Disponível em: <http://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_29/ourdev_554203.pdf>. Acesso em 11 jul 2019.

SHMILOVITZ, Doron. **On the definition of total harmonic distortion and its effect on measurement interpretation**. Disponível em: <<https://www.thierry-lequeu.fr/data/PESL-00101-2003-R2.pdf>>. Acesso em 11 jul 2019.

TUBE PAD. **Singel Tube Audiophile amplifier**. Disponível em : <<http://nmwilliam.tripod.com/ecl82.html>> . Acesso em 19 maio 2019.

TUBE PAD. **Diagrama do circuito do amplificador**. 2019a. 1 Figura. Disponível em : <<http://nmwilliam.tripod.com/ecl82.html>> . Acesso em 19 maio 2019.

TUBE PAD. **Diagrama do circuito retificador**. 2019b. 1 Figura. Disponível em : <<http://nmwilliam.tripod.com/ecl82.html>> . Acesso em 19 maio 2019.