

# Projeto e construção de pré-amplificadores de áudio valvulados

Magalhães, Bruno Trefilio  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de São Carlos  
São Carlos (SP), Brasil  
bruno@trefiliopedais.com.br

De Francisco, Carlos Alberto  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de São Carlos  
São Carlos (SP), Brasil  
cfrancisco@ufscar.br

**Abstract**— This paper describes the design and construction of tube audio preamps for vinyl record playback and tone control. The phono preamp is designed to correct the RIAA recording curve present on vinyl records. The two band tone control is a device that allows you to adjust bass and treble during sound reproduction. The use of a high voltage regulated power supply is built to reduce the noise reproduced in the audio. Both preamps built were compared with available ones on the market, proving competitive and satisfactory performance.

**Resumo** – Este trabalho descreve o projeto e a construção de pré-amplificadores de áudio valvulados para a reprodução de discos de vinil e controle de tonalidade. O pré-amplificador *phono* foi projetado para corrigir a curva de gravação RIAA presente em discos de vinil. O controle de tom de duas bandas é um equipamento que permite o ajuste de graves e agudos durante a reprodução sonora. O uso de uma fonte de alta tensão regulada é implementado para reduzir o ruído reproduzido no áudio. Ambos os pré-amplificadores construídos foram comparados com equipamentos disponíveis no mercado, mostrando-se competitivos e de desempenho satisfatório.

**Keywords**— pré-amplificadores, áudio, válvulas.

## I. INTRODUÇÃO

Pré-amplificadores são circuitos eletrônicos necessários em sistemas de áudio para adequar o nível da fonte de sinal de áudio, como toca-discos e microfones, ao nível de entrada do amplificador de potência. Segundo [1], a amplitude de um sinal elétrico de saída de uma cápsula magnética do tipo MC (do inglês *Moving Coil*, Bobina Móvel), como a de um toca-discos, é da ordem de  $5mV_2$ , sendo incapaz de excitar um alto-falante diretamente. É necessário que o pré-amplificador amplifique este sinal e o filtre para a correta reprodução do áudio, como no caso de gravações no padrão RIAA (*Recording Industry Association of America*) presente em discos de vinil, de forma a excitar adequadamente o amplificador de potência [2][3]. É utilizado o filtro RIAA para tornar a gravação do disco fisicamente viável, sendo a função de transferência dada por:

$$RIAA = \frac{s^2(T_1T_3)+s(T_3+T_1)+1}{sT_2+1} \quad (1)$$

Sendo  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$  as constantes de tempo do filtro (75 $\mu$ s, 318 $\mu$ s e 3180 $\mu$ s, respectivamente). É necessário, portanto, que o pré-amplificador inverta (1), sendo a função de transferência inversa de RIAA conhecida como curva Anti-RIAA.

Apesar do avanço e surgimento de novas tecnologias de estado sólido, as válvulas termiônicas não perderam sua participação no mercado musical [4] e no mercado audiófilo

[5]. Entram em questão as análises subjetivas acerca da preferência por equipamentos valvulados, incluindo o debate sobre a qualidade sonora em relação aos equipamentos de estado sólido. Essa questão dá-se, principalmente, pelo fato de um amplificador de estado sólido incluir harmônicos de todas as ordens ao sinal amplificado, enquanto que um amplificador valvulado inclui majoritariamente harmônicos pares, o que é considerado musicalmente mais agradável ao ouvido humano, tornando a escolha de um equipamento valvulado por profissionais de áudio e usuários de equipamentos de alta fidelidade algo natural e praticamente unânime. O “som de válvula” é objeto de desejo de muitos músicos e profissionais do áudio desde os anos 1950, quando se popularizou o uso de amplificadores valvulados a partir de rádio receptores modificados para a amplificação de instrumentos musicais e reprodução sonora.

Em especial, a válvula modelo 12AX7, desenvolvida em 1946, é a mais empregada em estágios de pré-amplificação voltado ao áudio profissional e mercado musical. As válvulas são consideradas uma tecnologia ultrapassada e já explorada, como visto em [6] e [7], uma vez que a tecnologia de estado sólido se estabeleceu como um padrão na indústria. Entretanto, com o crescimento no mercado de discos de vinil na atualidade [8], também cresce a demanda por projetistas capacitados em equipamentos voltados para este mercado, sobretudo por equipamentos valvulados. Tanto o pré-amplificador de toca-discos (*phono*) quanto o pré-amplificador de controle de tom são equipamentos utilizados na reprodução de discos de vinil e podem utilizar válvulas no processamento do sinal.

## II. PROJETOS

### A. Fonte de alimentação

A topologia escolhida para a fonte de alimentação é a chamada “regulada aperfeiçoada” proposta por [1] e [2], apresentada na Fig. 1. A fonte consiste em dois reguladores independentes: um para a alta tensão, responsável pela alimentação das placas das válvulas e o outro para a alimentação dos filamentos das válvulas.

O circuito regulador de alta tensão proporciona uma tensão contínua de 280V (denominada B+ nos esquemáticos) e baixa ondulação. Esta tensão é obtida da regulação da tensão de saída da ponte retificadora composta pelos diodos 1N4007  $D_4$ ,  $D_5$ ,  $D_6$  e  $D_7$ , retificando a tensão do secundário 220V do transformador de força. Este transformador possui outro secundário, de 12V, para a alimentação dos filamentos e seu primário tem tensão nominal de 127V (tensão local da rede elétrica). A potência de carga considerada para o regulador de alta tensão é de

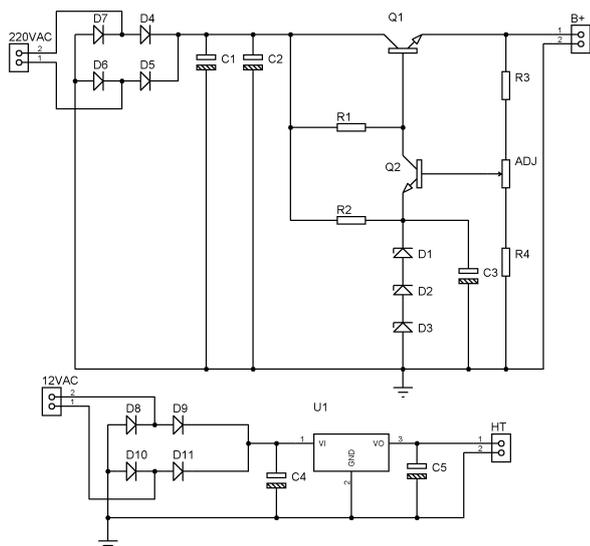


Fig. 1 - Fonte de tensão regulada projetada para a alimentação dos pré-amplificadores. Acima: circuito do regulador de alta tensão; abaixo: circuito regulador para os filamentos das válvulas. Fonte: Próprio Autor.

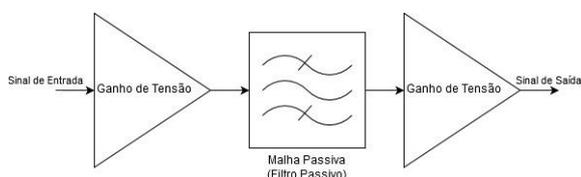


Fig. 2 - Diagramas em Blocos dos pré-amplificadores construídos.

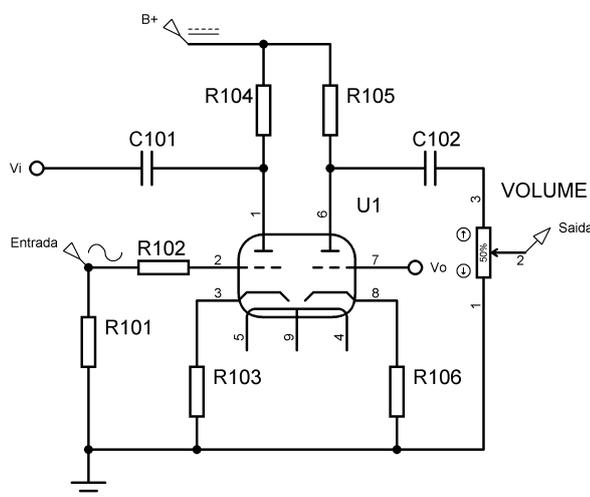


Fig. 3 - Circuito dos estágios de ganho do controle de tom, implementados com topologia de catodo comum. Fonte: Próprio Autor.

5,6W (280V, 20mA) e para o regulador de filamentos é de 3,6W (12V, 300mA). Os capacitores  $C_1$  e  $C_2$  atuam como filtro para as ondulações de tensão após o retificador. O resistor  $R_1$  polariza a base do transistor  $Q_1$  para a região ativa. Os diodos Zener  $D_1$ ,  $D_2$  e  $D_3$  são responsáveis pela tensão de referência de 246 V (cada diodo 1N4762 contribui com 82V [11]). O resistor  $R_2$  polariza os diodos de referência e o capacitor  $C_3$  atenua possíveis ondulações de tensão de referência. Um *trimpot* de ajuste fino de tensão de saída é inserido entre os resistores de realimentação  $R_3$  e  $R_4$ ; a importância deste ajuste fino deve-se ao fato da tensão de referência aumentar com o aquecimento dos diodos Zener utilizados, sendo necessário calibrar a fonte para o uso

contínuo após alguns minutos de operação, quando é atingida a estabilidade térmica do circuito.

A regulação de tensão de saída B+ dá-se pela realimentação negativa proporcionada pelos resistores  $R_3$ ,  $R_4$  e o *trimpot*, responsáveis pela amostragem da tensão de saída. Quando a tensão de saída do regulador tende a aumentar, a tensão na base de  $Q_2$  também aumenta, forçando  $Q_2$  a conduzir mais corrente entre coletor e emissor uma vez que a tensão no emissor é fixa (proporcionada pelos diodos Zener). Por conta deste aumento de condução de  $Q_2$ , o transistor  $Q_1$  receberá menos corrente em sua base e menos corrente fluirá pelo seu coletor, reduzindo assim a tensão sobre a carga. Foram escolhidos os transistores MJE340 [12] para o regulador de alta tensão.

O regulador de tensão de filamentos utiliza um circuito integrado regulador LM7812, representado na Fig.1 por  $U_1$ . Os diodos  $D_8$ ,  $D_9$ ,  $D_{10}$  e  $D_{11}$  compõe o circuito retificador e os capacitores  $C_4$  e  $C_5$  suavizam quaisquer ondulações que a tensão possa sofrer. O uso de tensão contínua regulada nos filamentos dá-se pela presença de um ruído constante “hum” quando utilizada tensão alternada [6][13], obtida diretamente do secundário do transformador de força.

### B. Pré-Amplificadores

Os circuitos de pré-amplificação construídos adotam o diagrama de blocos apresentado na Fig. 2, composto por dois estágios de ganho de tensão e de uma malha passiva, que implementa um filtro de frequências. Foram construídos dois pré-amplificadores distintos: um para implementar a curva Anti-RIAA para o uso com toca-discos e o outro para implementar o controle de tonalidade de graves e agudos. O uso de malhas passivas é a preferência da maioria dos audiófilos por motivos gosto pessoal e resistência à topologias realimentadas em pré-amplificadores [7]. Além disso, o custo e a simplicidade do projeto se mostram como grandes atrativos para o uso de malhas passivas [14]. Os estágios de ganho utilizam topologia de catodo comum recomendada em [13] e [15], que é apresentada na Fig. 3. Uma variação da topologia de catodo comum é apresentada na Fig. 5, com a presença de um capacitor ( $C_K$ ) em paralelo ao resistor de catodo ( $R_K$ ). Este capacitor é responsável pelo desacoplamento de corrente alternada do catodo, aumentando o ganho do estágio para o sinal.

### C. Controle de Tom

A topologia de ajuste independente de intensidade de frequências graves e agudas proposta em [17] ganhou popularidade com o passar dos tempos e se estabeleceu como um padrão na indústria do áudio. Sua versão realimentada, conhecida como malha de Baxandall, é utilizada até os dias de hoje e é facilmente implementada com o uso de amplificadores operacionais e realimentação negativa [3].

Foram projetados dois estágios de catodo comum, apresentado na Fig. 3, de forma com que a malha de James-Baxandall (apresentada na Fig. 4) fosse incluída entre estes dois estágios, conectados pelos pontos  $V_i$  e  $V_o$ . Os resistores  $R_{101}$  e  $R_{102}$  constituem o estágio de entrada do controle de tom.  $R_{103}$  e  $R_{106}$  são responsáveis pela polarização dos catodos;  $R_{104}$  e  $R_{105}$  polarizam as placas dos

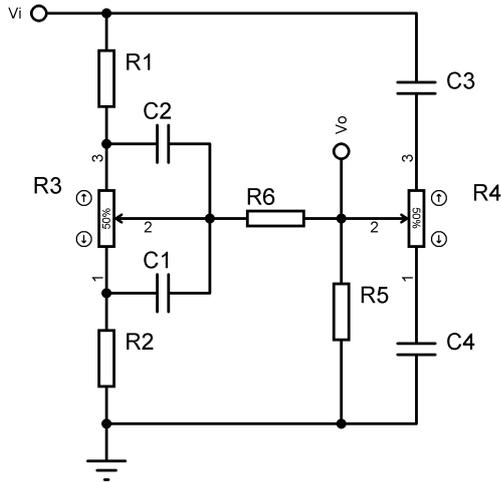


Fig. 4 – Topologia da malha de James-Baxandall, responsável pelo controle de tom. Fonte: adaptado de [17].

tríodos. Os capacitores  $C_{101}$  e  $C_{102}$  desacoplam o sinal de áudio da alta tensão presente nas placas dos tríodos.

Foi incluído um potenciômetro na saída do circuito de modo a ajustar a intensidade do sinal de saída do equipamento (“volume”).

Para o projeto da malha de James-Baxandall da Fig. 4 foi seguido os procedimentos sugeridos em [17], [18] e [14]. A malha constituída por  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C_1$  e  $C_2$  é a responsável pelo ajuste das baixas frequências (graves), sendo  $R_3$  um potenciômetro. Já a malha formada por  $C_3$ ,  $C_4$  e pelo potenciômetro  $R_4$  ajusta as frequências altas (agudos). O resistor  $R_6$  proporciona um pequeno isolamento entre estas duas malhas e  $R_5$  é o resistor de referência para a tensão na grade do estágio de ganho seguinte

#### D. Pré-Amplificador Phono

O circuito do pré-amplificador *phono* é apresentado na Fig. 5. O capacitor  $C_{G1}$  em conjunto com  $R_{G1}$  constitui um filtro passa-altas cuja frequência de corte é de 15Hz, garantindo que este seja um filtro subsônico, impedindo que ruídos mecânicos do toca-discos sejam reproduzidos no alto-falante. Além disso,  $R_{G1}$  determina a impedância de entrada em 47k $\Omega$ , que é um valor padrão para este tipo de equipamento. O resistor  $R_{K1}$  determina a tensão de catodo do triodo e  $C_{K1}$  faz o desacoplamento de corrente alternada do catodo, aumentando o ganho do estágio. O mesmo ocorre com  $R_{K2}$  e  $C_{K2}$ . Os resistores  $R_{P1}$  e  $R_{P2}$  polarizam a placa dos tríodos. A malha de Anti-RIAA (inversa de RIAA) é constituída por  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $C_A$ ,  $C_B$  e  $C_D$ , implementando a função de transferência:

$$RIAA^{-1} = \frac{sT_2 + 1}{s^2(T_1T_3) + s(T_3 + T_1) + 1} = \frac{sR_B C_B + 1}{s^2(R_A R_B C_A C_B) + s(C_B(R_A + R_B)) + 1} \quad (2)$$

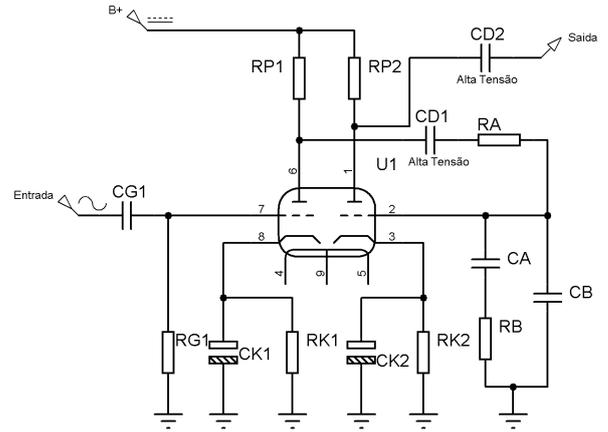


Fig. 5 - Circuito completo do pré-amplificador *phono*. Fonte: próprio autor.

O resultado do cálculo dos valores dos componentes da malha RIAA obedecem às seguintes relações [13]:

$$R'_A \cdot C_A = 2187 \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

$$R'_A \cdot C_B = 750 \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

$$R_B \cdot C_A = 318 \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

$$\frac{C_A}{C_B} = 2,916 \quad (6)$$

Para o cálculo de  $R'_A$  deve ser levado em conta o efeito da impedância de saída do estágio anterior, definido como  $[R_{P1} \parallel r_p]$ , sendo  $r_p$  a resistência dinâmica de placa do triodo, normalmente de 64k $\Omega$  para um triodo 12AX7 [19]. Ou seja, o valor calculado de  $R'_A$  considera que  $[R_{P1} \parallel r_p]$  está em série com  $R_A$  como segue:

$$R'_A = R_A + [R_{P1} \parallel r_p] \quad (7)$$

### III. RESULTADOS

Os circuitos foram projetados com o auxílio do *software* Proteus 8.3 SP2 Professional, da Labcenter Electronics ©, utilizado como ferramenta para simulação e desenho das placas de circuito impresso. Após a confecção das placas e montagem dos componentes nas mesmas, foram realizados os testes de desempenho apresentados nesta seção.

#### A. Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação foi construída (Fig. 6) e testada com uma carga resistiva de 14k $\Omega$  de forma a drenar da fonte 20mA, permanecendo em teste por 10 minutos. A tensão contínua medida na carga foi de 279,2V, enquanto que a tensão medida em aberto (sem carga) foi de 286,1V. O teste de tensão em aberto foi feito imediatamente após o teste com carga. A regulação de tensão percentual (%VR, do inglês *Voltage Regulation*), portanto, é:

$$\%VR = \frac{286,1 - 279,2}{279,2} \cdot 100\% = 2,5\% \quad (8)$$

A Fig. 7 apresenta as formas de onda com a ondulação de entrada (em amarelo) e de saída (em azul). A rejeição à *ripple* (PSRR, do inglês *Power Supply Ripple Rejection*) é dada por:

$$PSRR(dB) = 20 \log \left( \frac{0,108 V_{RMS}}{0,03 V_{RMS}} \right) = 11,3 dB \quad (9)$$

A porcentagem de *ripple* presente na saída do regulador é:

$$r = \frac{0,03 V_{RMS}}{279,2 V_{DC}} \cdot 100\% = 0,011\% \quad (10)$$

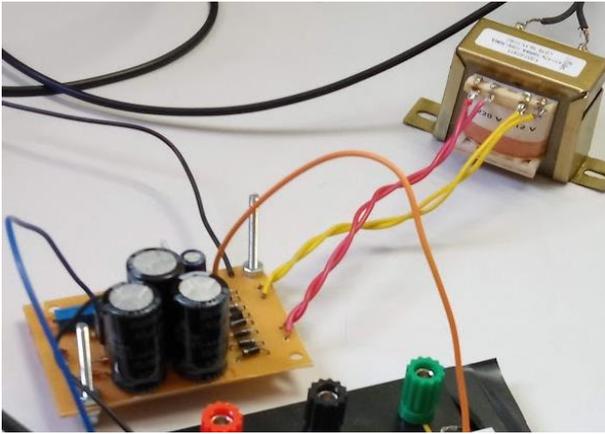


Fig. 6 - Fonte de alimentação regulada de alta tensão com detalhe para o transformador de força. Fonte: Próprio Autor.

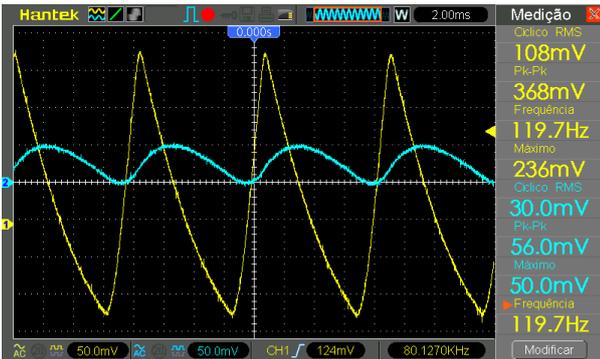


Fig. 7 - Formas de onda da ondulação observada na fonte de alimentação projetada. Em amarelo: forma de onda pré-regulador. Em azul: forma de onda pós-regulador. Fonte: Próprio Autor.

### B. Controle de Tom

Após montagem final (Fig. 8), o controle de tom foi submetido a teste de desempenho baseado em sua resposta em frequência, apresentada na Fig. 9. As medidas foram realizadas com o controle de Volume no máximo. A curva “FLAT” representa o comportamento do equipamento com os ajustes de graves e agudos apontando 12 horas (50% da rotação do potenciômetro). A curva de ênfase representa ambos os ajustes no máximo e na de-ênfase os ajustes estão no mínimo.

A faixa dinâmica (do inglês, *headroom*) representa a variação entre o mínimo e máximo de ganho que o equipamento pode fornecer. A faixa dinâmica obtida no ajuste de graves foi de 24dB em 30Hz e no ajuste de agudos foi de 17dB em 10kHz. Usualmente a faixa dinâmica para este tipo de equipamento é de 12dB a 20dB.

### C. Pré-Amplificador Phono

Foi feita a montagem do protótipo funcional do pré-amplificador *phono* apresentado na Fig. 10, com dois canais para operação estereofônica. A resposta em frequência obtida em ambos os canais do pré-amplificador é apresentada e comparada com a curva Anti-RIAA ideal na Fig. 11. O maior desvio em relação à curva Anti-RIAA observado foi de 1,1dB em 1000Hz no canal esquerdo, como pode ser observado na Fig. 12. Já o maior desvio observado entre a resposta dos dois canais foi de 1dB em 10kHz. Os dados da resposta em frequência do pré-amplificador foram obtidos por meio de medição feita com osciloscópio e gerador de funções. A medida de distorção



Fig. 8 - Montagem final do Controle de Tom. Fonte: Próprio Autor.

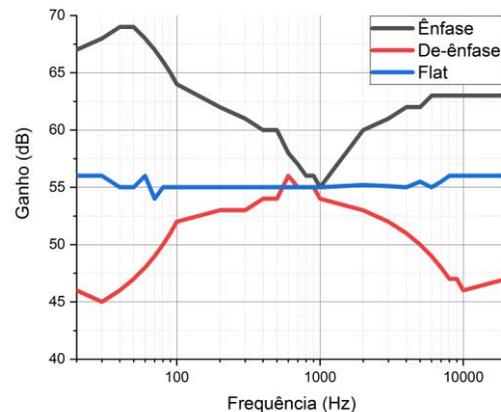


Fig. 9 - Resposta em frequência do equalizador. O equipamento é capaz, em volume máximo, de amplificar a banda de 20Hz a 20kHz em 55dB. Os ajustes de ênfase (em preto) e atenuação (em vermelho) possuem faixa dinâmica (*headroom*) de 24dB em 30Hz e 17dB em 10kHz, respectivamente. Fonte: Próprio Autor.

harmônica foi feita indiretamente por meio de osciloscópio, apresentado o espectro do sinal obtido na Fig. 13. A distorção harmônica total (THD, do inglês *Total Harmonic Distortion*) pode ser calculada pela equação:

$$THD = \frac{\text{Tensão RMS dos harmônicos}}{\text{Tensão RMS da fundamental}} = \sqrt{\frac{V_2^2}{V_1^2} + \frac{V_3^2}{V_1^2} + \frac{V_4^2}{V_1^2}} \quad (11)$$

Onde  $V_2$ ,  $V_3$  e  $V_4$  são as tensões eficazes (RMS) dos segundo, terceiro e quarto harmônicos, respectivamente. Estes três primeiros harmônicos são responsáveis pela maior parte da distorção harmônica total [7]. Podemos utilizar a relação logarítmica das tensões medidas e, por meio da diferença das intensidades dos harmônicos em relação à fundamental expressas em dB, calcula-se:

$$THD = \sqrt{10^{\frac{A}{10}} + 10^{\frac{B}{10}} + 10^{\frac{C}{10}}} \quad (12)$$

Sendo  $A = -50,6\text{dB}$ ,  $B = -48,8,8\text{dB}$  e  $C = -49,2\text{dB}$ , a distorção harmônica total obtida foi de 0,593% com a tensão de saída de 1V de pico a 1kHz. Este valor, está abaixo do limiar de percepção humana de 5% [7].



Fig. 10 - Montagem final do pré-amplificador *phono*, com o gabinete aberto. Fonte: Próprio Autor.

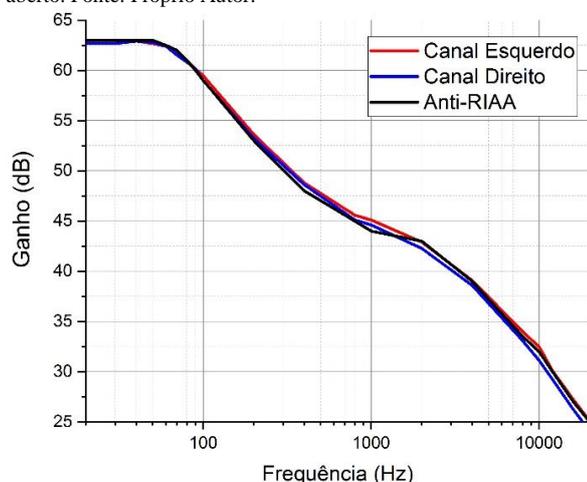


Fig. 11 - Comparação entre as respostas em frequência dos canais direito, esquerdo e a resposta Anti-RIAA ideal. Fonte: Próprio Autor.

#### IV. CUSTOS E MERCADO

Todos os componentes utilizados neste trabalho foram adquiridos no comércio varejista, sendo possível a redução do valor total dos materiais com a compra de componentes em lotes. Os projetos foram feitos em placas de circuito impresso separadas de forma a facilitar uma possível produção em pequenos lotes.

O custo total dos materiais utilizados no pré-amplificador *phono* foi de aproximadamente R\$322,50 e no equalizador de R\$327,50. O valor é aproximado, uma vez que a aquisição se deu em diferentes datas e os preços estão sujeitos a mudanças por força de fatores externos, alheios a este trabalho. O item mais caro e que pode sofrer maior variação de preço é a própria válvula: a escolhida para este trabalho, fabricada pela Electro-Harmonix, custava R\$80,00, embora existam válvulas 12AX7 que custem mais do que R\$150,00. A principal diferença entre válvulas de mesmo modelo é sua durabilidade e robustez de construção. A relação completa dos custos e dos materiais é apresentada no Anexo A.

Para efeitos de comparação de mercado, são apresentados na Tabela I alguns modelos de pré-amplificadores *phono* com características e desempenho similares ao projetado neste trabalho. Todos os modelos

avaliados são importados, sendo a grande maioria dos pré-amplificadores *phono* disponíveis no mercado nacional fabricados com tecnologia de estado sólido e os poucos valvulados encontrados são de origem estrangeira. Os pré-amplificadores de tecnologia híbrida possuem, além das válvulas, semicondutores na linha de processamento de áudio. Todos os modelos operam com cápsulas MC. Não foi relacionado nenhum fabricante nacional de pré-amplificador *phono* com tecnologia valvulada.

Os preços variam entre R\$400,00 e R\$6000,00, dependendo da construção, acabamento e qualidade dos componentes e projeto. O modelo mais barato (Little Bear T7), por exemplo, utiliza fonte de alimentação externa de baixa tensão (12V), em oposição ao modelo LN112MC, que possui fonte interna de alta tensão regulada.

TABELA I – COMPARATIVO ENTRE MODELOS DE PRÉ-AMPLIFICADORES *PHONO* DISPONÍVEIS NO MERCADO.

Fabricante	Gowe	Vincent	Marchand	Nobsound	Pro-Ject
Modelo	A-1	PHO701	LN112 MC	Little Bear T7	DS2
Preço Sugerido	R\$2099	R\$2944	R\$6000	R\$400	R\$3500
Tecnologia	Valvulado	Híbrido	Valvulado	Híbrido	Híbrido
Válvulas	12AX7	12AU7	12AX7	6J1	12AX7
Impedância de entrada	47k	47k	43k	47k	47k
Sensibilidade	4mV	5,8mV	5mV	3mV	Variável
Distorção Harmônica @ 1kHz	0,11%	0,05%	0,10%	0,05%	0,05%

Considerando o custo de material envolvido, o pré-amplificador *phono* pode ser disponibilizado ao mercado com preço sugerido entre R\$1400,00 e R\$1600,00, sendo competitivo com equipamentos importados de mesma tecnologia.

A comparação entre modelos comerciais de controle de tonalidade disponíveis é apresentada na Tabela II. Foram comparados modelos que utilizam a topologia James-Baxandall e com tecnologia valvulada. Dos equipamentos relacionados apenas um é de origem brasileira (Lisciel), sendo também o mais barato entre eles. Nota-se que os preços dos controles de tom são, em média, superiores aos dos pré-amplificadores *phono* avaliados na Tabela I. Os preços sugeridos foram obtidos de revendedores no território nacional.

TABELA II – COMPARATIVOS ENTRE MODELOS DE EQUALIZADORES JAMES-BAXANDALL DISPONÍVEIS NO MERCADO.

Fabricante	Tonecraft	Tube-Tech	Lisciel	RJR
Modelo	363	PE-1C	Bruna Baxandall	BAX
Válvulas	12AX7	12AT7	12AX7	12AX7
Preço Sugerido	R\$8900	R\$11900	R\$3900	R\$5900

Para o controle de tom desenvolvido neste trabalho é sugerido um preço ao consumidor final entre R\$2000 e R\$2200,00, uma vez que o mercado existente comporta uma margem de preço maior do que a do pré-amplificador *phono*.

#### V. CONCLUSÕES

O pré-amplificador *phono* apresentou um bom comportamento em testes de audição. Por ser dependente de outros equipamentos, como o toca-discos e amplificador de potência, ele pode se integrar facilmente a diversos sistemas e ser uma opção para o consumidor que desejar ter um equipamento valvulado de custo acessível e bom desempenho. A ausência de fabricantes nacionais de equipamentos deste tipo mostra uma possível demanda que

não é atendida pela indústria nacional e, quando comparado quantitativamente a concorrentes importados, o pré-amplificador *phono* se mostra promissor para atender a esta demanda.

O controle de tom também se mostrou como um circuito promissor tanto em desempenho quanto em mercado. O principal diferencial deste equipamento é o nicho de mercado que pode atender, englobando desde o mercado profissional (como estúdios de gravação) até o mercado de reprodução sonora (de *audiófilos*, por exemplo).

É notável a carência de fabricantes nacionais no mercado de equipamentos valvulados voltados para reprodução de discos de vinil e estúdios de gravação. A grande maioria dos fabricantes nacionais que foram observados durante o levantamento de modelos disponíveis no mercado é composta por produção artesanal (amadora) ou de baixa quantidade, sendo a venda de seus produtos feita exclusivamente por encomenda, o que não caracteriza um concorrente em potencial de uma produção em escala.

O uso de uma fonte de alimentação regulada de alta tensão como a apresentada neste trabalho, apesar do custo relativamente alto, traz todas as vantagens do uso de um regulador de tensão no quesito estabilidade. O regulador em questão é passível de aprimoramentos no quesito ruído e proteções contra curto-circuito e sobrecarga.

O uso de malhas passivas possibilita alcançar bons resultados com o uso de poucos componentes, reduzindo a

complexidade do projeto e desenho das placas de circuito impresso.

## REFERÊNCIAS

- [1] B. Vogel, *The Sound of Silence*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [2] J. Yasbek, “Pré-Amplificadores e Processadores.” [Online]. Disponível: <http://www.jyazbek.com.br/img/artigos/pdf/pre-amplificadores-e-processadores.pdf>. [Acesso: 24-Out-2019].
- [3] G. M. Ballou, *Handbook for Sound Engineers*, 4th ed. Focal Press, 2008.
- [4] VOX Brasil Amplification Ltd., “Tudo que você sempre quis saber sobre amps valvulados,” 2012. [Online]. Disponível: <http://www.voxamps.com.br/index.php?link=noticias&noticia=715>. [Acesso: 24-Out-2019].
- [5] O. Dencker, “Amplificadores Valvulados: A diferença entre o som valvulado e o solid-state,” 2014. [Online]. Disponível: <http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=1&idSubSecao=&idTexto=4>. [Acesso: 24-Out-2019].
- [6] J. Millman, *Vacuum Tubes and Semiconductor Electronics*. Cidade do México: McGraw-Hill Novaro, 1958.
- [7] R. F. Shea, Ed., *Amplifier Handbook*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1966.
- [8] D. Sung, “Vinyl on target to outsell CDs for the first time since 1986,” *What Hi-Fi*, 2019. [Online]. Disponível: <https://www.whathifi.com/news/vinyl-on-target-to-outsell-cds-for-the-first-time-since-1986>. [Acesso: 24-Out-2019].
- [9] A. P. Malvino, *Eletrônica*, 4th ed. São Paulo: Makron Books, 1997.
- [10] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos*, 11th ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.
- [11] General Semiconductor, “1N4728 Thru 1N4764,” 1998. [Online]. Disponível: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/1/N/4/7/1N4762.sh.tml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/1/N/4/7/1N4762.sh.tml). [Acesso: 24-Out-2019].
- [12] ON Semiconductor, “MJE340G,” 2013. [Online]. Disponível: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJE340-D.PDF>. [Acesso: 24-Out-2019].
- [13] M. Jones, *Valve Amplifiers*. Waltham: Newnes, 2012.
- [14] M. Giles *et al.*, *Audio/Radio Handbook*. Santa Clara: National Semiconductor, 1980.
- [15] M. Blencowe, *Designing valve preamps for guitar and bass*, 2nd ed. Wem Publishing, 2009.
- [16] A. Wright, *The Tube Preamp Cookbook*, 2nd ed. Maroubra: Vacuum State Electronics, 1997.
- [17] E. J. James, “Simple Tone Control Circuit,” *Wireless World*, pp. 48–50, Feb-1949.
- [18] R. V. Patron, “The James-Baxandall Passive Tone-Control Network,” 2004. [Online]. Disponível: <http://makearadio.com/tech/tone.htm>. [Acesso: 24-Out-2019].
- [19] G. Electric, “Twin triode 12AX7 datasheet,” 1953. [Online]. Disponível: <http://www.r-type.org/pdfs/12ax7.pdf>. [Acesso: 24-Out-2019].

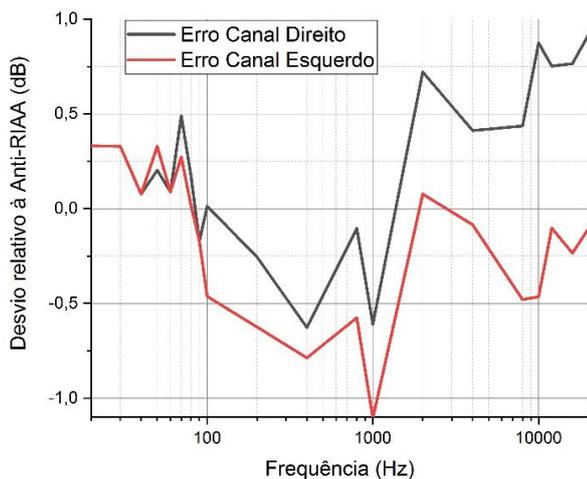


Fig. 12 – Erro dos canais direito e esquerdo do pré-amplificador *phono* em relação à curva Anti-RIAA. O maior desvio observado foi do canal esquerdo em 1000Hz, de aproximadamente 1,1dB. Fonte: Próprio Autor.

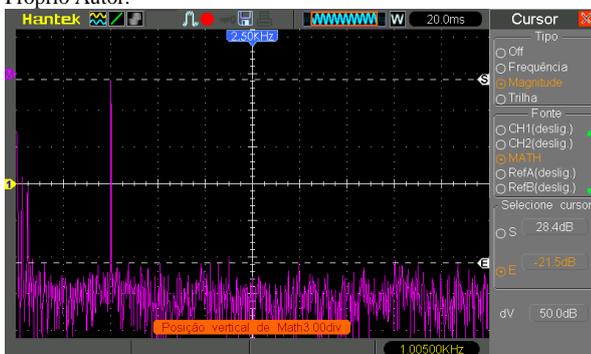


Fig. 13 – Captura da Transformada Rápida de Fourier feita em osciloscópio para análise de Distorção Harmônica. Fonte: Próprio Autor.