

**PROJETO DE PESQUISA**  
**F-530 – INSTRUMENTAÇÃO EM FÍSICA**

**MARCOS ROBERTO FONSECA**

**RA: 084485**

**SENSOR ELETRÔNICO PARA AMPLIFICAÇÃO DE RUÍDOS DE  
EXTREMA BAIXA INTENSIDADE**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. LISANDRO PAVIE CARDOSO (DFA)**

**RESUMO**

Neste projeto será desenvolvido um sistema eletrônico para amplificação e detecção de ruídos de intensidade extremamente baixa, a fim de proporcionar a identificação de fontes sonoras indesejáveis, como por exemplo, vazamento de gases de válvulas.

Para melhor resolução e caracterização da fonte será empregado um conjunto de filtros RC de 50Hz passa-alta, 1KHz passa-baixa e 10KHz passa-baixa e dois amplificadores com capacidade para aumentar a intensidade sonora em mais de 6dBs, o que é bastante difícil, levando em consideração o fato de que estamos trabalhando em escalas logarítmicas.

## MOTIVAÇÃO

A ideia de construir o sensor veio da necessidade de encontrar a localização de fontes sonoras de baixa intensidade geradas em um veículo. No local em que trabalho rotineiramente precisamos identificar fontes sonoras indesejáveis geradas por ruído de vento que passam para dentro do veículo por pequenos orifícios ao longo do carro e também por ruídos gerados pela vibração de componentes do painel e outras localidades internas ao veículo. Esse tipo de ruído produzido pela vibração de componentes internos ao veículo tem o nome técnico de squeak noise.

## TEORIA

Para o levantamento da curva de resposta do sensor amplificador de ruído será utilizado o princípio teórico de que se uma fonte pontual emite ondas uniformemente em todas direções, isotrópica, então a energia a uma distância  $r$  da fonte é distribuída uniformemente em uma superfície esférica de raio  $r$  e área  $A = 4\pi r^2$ . Se  $P_{\text{méd}}$  é a potência média emitida pela fonte, então a potência média por unidade de área a uma distância  $r$  da fonte é  $P_{\text{méd}}/4\pi r^2$ . A potência média por unidade de área que incide perpendicularmente na direção de propagação é chamada de intensidade:

$I = \frac{P_{\text{méd}}}{4\pi r^2}$ , onde  $I$  é dado em Watt/m<sup>2</sup> no SI.

Com esse conceito utilizaremos um alto-falante de características conhecidas, por exemplo, curva de resposta e impedância, como fonte pontual e o colocaremos a uma distância conhecida do microfone do sensor amplificador de ruído e monitoraremos o valor da tensão sobre o alto-falante; um outro alto-falante com as mesmas características do primeiro será instalado na saída do circuito do sensor amplificador

monitorando da mesma forma a tensão sobre o alto-falante. A partir daí faremos algumas considerações para conseguirmos estimar o ganho obtido pelo amplificador.

Primeiramente consideraremos que a potência média será igual a potência elétrica do alto-falante, assim  $P_{\text{méd}} = V^2/R$ , onde  $V$  é a tensão sobre o alto-falante e  $R$  é a impedância do alto-falante. Feito isso consideraremos também que toda potência elétrica será transferida para o alto falante sem perdas, além disso, consideraremos o acoplamento do ar com o diafragma do alto-falante para podermos desconsiderar a perda de energia ao longo do caminho entre o alto-falante e o microfone do sensor.

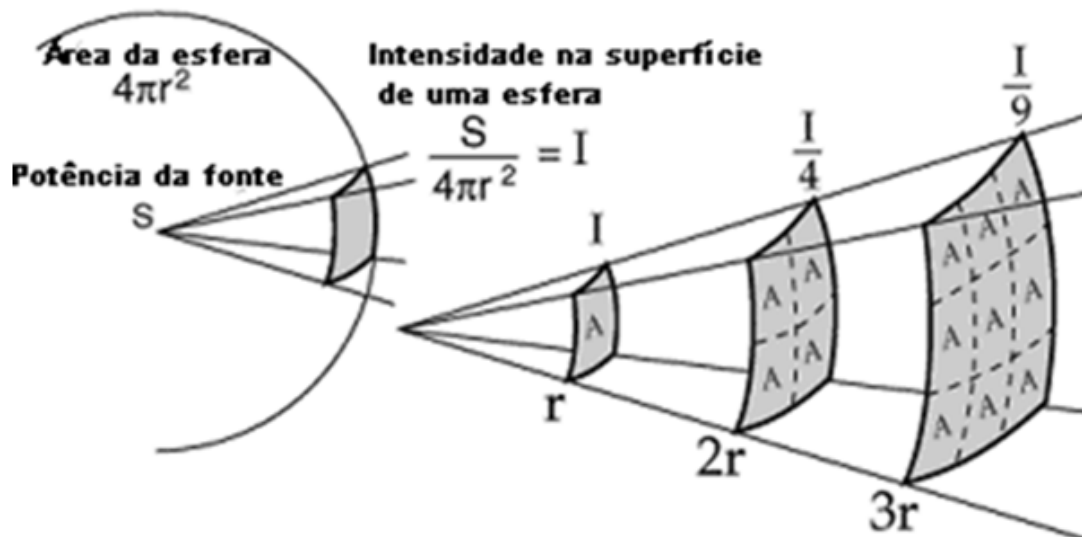
Com essas informações verificaremos o ganho de amplificação da seguinte forma:

colocando a fonte (alto-falante) a uma distância conhecida do microfone do sensor amplificador calcularemos a intensidade de entrada  $I_{\text{in}} = \frac{V_{\text{in}}^2}{R4\pi r_{\text{in}}^2}$ .

Da mesma forma colocando um alto-falante com as mesmas características da fonte calcularemos a intensidade de saída  $I_{\text{out}} = \frac{V_{\text{out}}^2}{R4\pi r_{\text{out}}^2}$ , sendo  $r_{\text{in}} = r_{\text{out}}$  e a impedância  $R$  é igual para os dois alto-falantes

Portanto para quantificarmos o ganho de amplificação faremos  $\frac{I_{\text{out}}}{I_{\text{in}}}$ .

Podemos notar também que neste caso como os dois alto-falante são iguais, outra maneira de quantificarmos o ganho seria fazermos diretamente  $\frac{I_{\text{out}}}{I_{\text{in}}} = \frac{V_{\text{out}}^2}{V_{\text{in}}^2}$



## **TRANSDUTOR**

Logo abaixo mostra-se o diagrama eletrônico do estetoscópio com a identificação de cada parte do circuito. Há dois amplificadores: o primeiro que faz duas pré-amplificações e o segundo faz a amplificação final de 6dBs para a saída do alto falante.

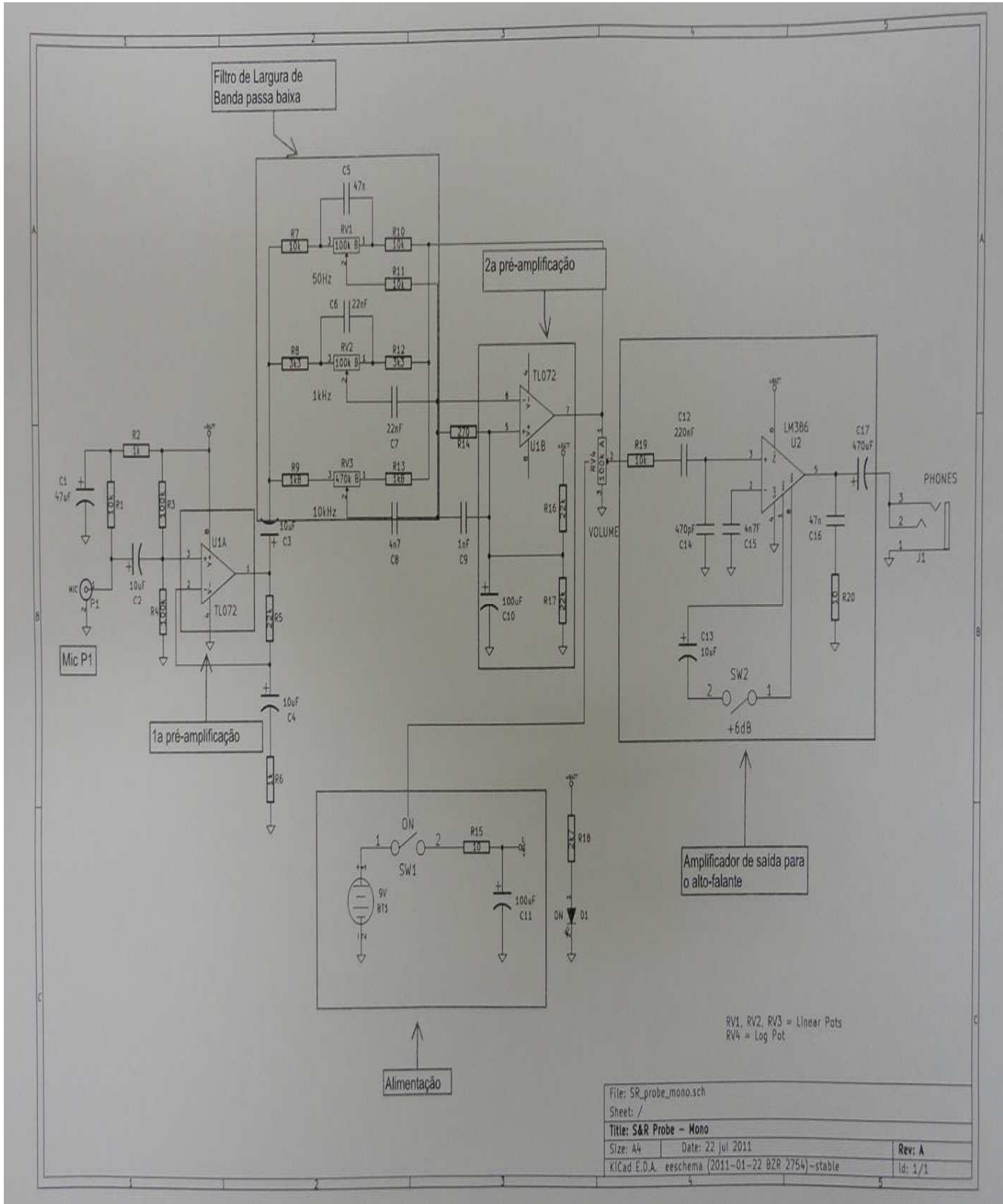


Figura 1.

Diagrama do circuito do sensor amplificador de sinais.

## Desenvolvimento

Embora tenhamos solicitado a compra dos componentes necessários à montagem do circuito, não foi possível iniciar o projeto propriamente dito na data determinada, pois a entrega dos componentes eletrônicos atrasou. Assim sendo, por esse motivo, só nos foi possível obter a foto desses componentes, que segue abaixo na figura 2.



Figura 2.

Foto dos componentes que farão parte do circuito mostrado na figura 1.

Com a chegada dos componentes eletrônicos iniciamos a produção da placa eletrônica. Utilizamos um programa chamado Proteus para fazer as trilhas necessárias ao circuito a ser desenvolvido. Proteus é um software utilizado para simulação de microprocessadores, captura esquemática, e placa de circuito impresso, foi desenvolvido pela empresa inglesa Labcenter Electronics, é conseguido em versão livre na internet . Uma vez feita toda a trilha, ela foi impressa por uma impressora a laser em uma folha chamada glossy paper que é apropriada para esse tipo de aplicação, e, a partir daí , utilizando um ferro de passar roupa foi reproduzida a trilha na placa final, como mostra a Figura 3.

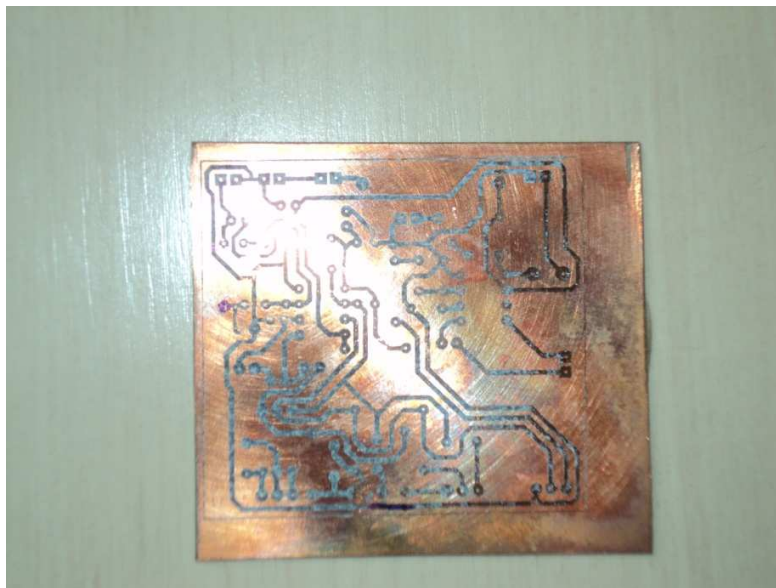


Figura 3.

**Placa do circuito impresso antes do banho da solução de percloro de ferro.**

Logo em seguida, a placa foi mergulhada numa solução de percloro de ferro diluída em água, para a devida corrosão do cobre apenas nas regiões que não estavam definidas pela trilha, e conseqüentemente não corrosão nas regiões que estavam marcadas pela impressão da trilha. A forma final na placa é mostrada na Figura 4.

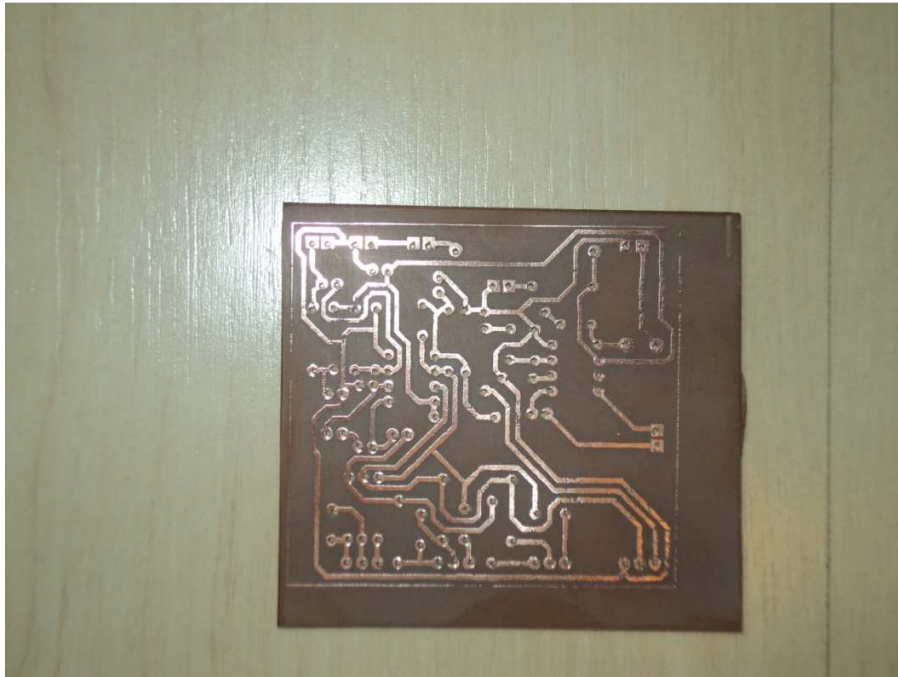


Figura 4.

**Placa do circuito impresso depois do banho da solução de percloroeto de ferro.**

O circuito da figura 1 foi, então, montado, e obtemos o sensor eletrônico para a amplificação de ruídos de baixa intensidade conforme mostra a Figura 5 logo abaixo.

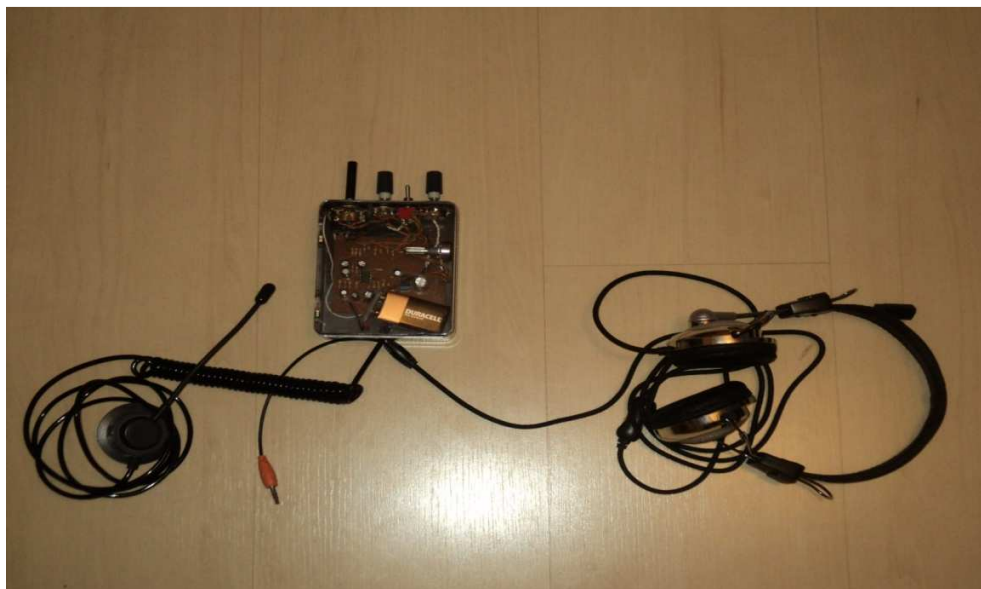


Figura 5.

**Foto do sensor eletrônico para amplificação de ruídos de baixa intensidade.**



Os equipamentos utilizados para o levantamento da curva do sensor amplificador estão mostrados na Figura 6 abaixo.

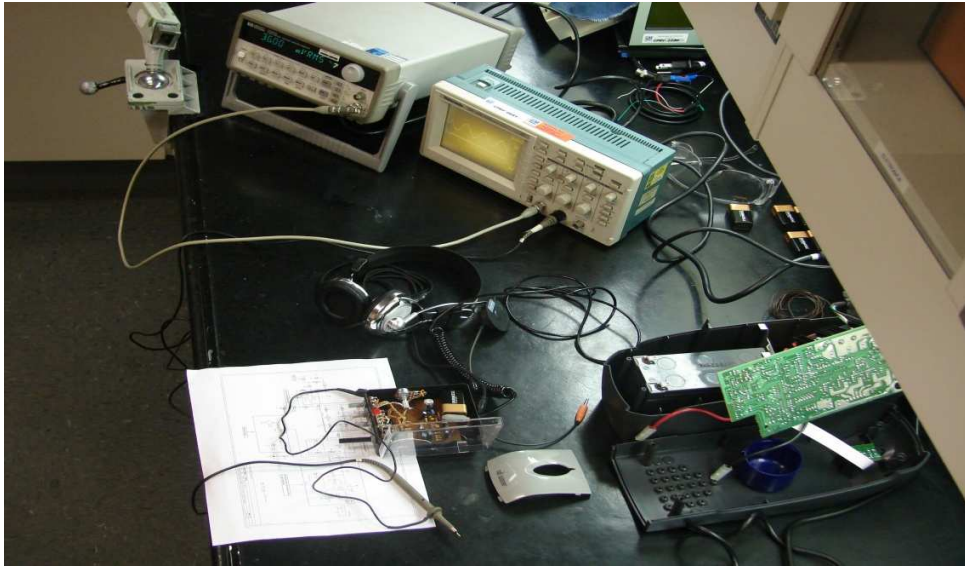


Figura 6.

**Figura com o sensor amplificador e os equipamentos utilizados, gerador de sinais e osciloscópio, para levantamento da curva de resposta do sensor.**

Para a comprovação da eficiência do sensor não foi possível utilizar a fundamentação teórica inicial, pois os recursos foram poucos e limitaram fortemente o desempenho desta ideia. Não houve disponibilidade suficiente do local de teste para a realização do ensaio e, além disso, o microfone utilizado dificultou a identificação do valor da intensidade sonora de entrada devido a sua baixa e limitada capacidade de reprodução do sinal da fonte, um outro microfone, de qualidade superior, foi solicitado na empresa em que trabalho, mas não houve interesse do setor financeiro realizar a compra. Assim, para a comprovação da eficiência do sensor foi utilizado um gerador de sinais na entrada do circuito substituindo o microfone e um osciloscópio para medir a saída. A escolha das frequências utilizadas para o levantamento da curva de resposta foi baseada nas bandas de terça de oitava.

Essas bandas de terça de oitava são muito utilizadas na engenharia pois são bandas bem definidas utilizadas para a calibração de muitos equipamentos sonoros devido ao seu espectro estar na região de audição do ouvido humano, confira a Tabela 1 abaixo.

<b>Bandas de Terça de Oitava (Hz)</b>
31.6
63
125
250
500
1000
2000
4000
8000
12500
16000

Tabela 1.

Valor das frequências da banda de terça de oitava.

A tabela obtida que segue mostrada logo a seguir foi extraída mantendo-se a tensão de entrada sempre no mesmo nível com um valor de 36mV rms alterando as frequências conforme os valores da tabela 1. Dessa maneira, também, foram medidas as tensões de saída nas mesmas frequências.

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Curva de Entrada Padrão (V)rms</b>	<b>Saída Filtros Inativos (V)rms</b>	<b>Saída Filtor 50Hz Ativo (V)rms</b>	<b>Saída Filtor 1KHz Ativo (V)rms</b>	<b>Saída Filtor 10KHz Ativo (V)rms</b>
31.6	0.036	1.067	0.012	0.920	0.858
63	0.036	1.485	0.036	1.170	1.220
125	0.036	1.735	0.039	1.120	1.520
250	0.036	2.190	0.118	0.895	1.930
500	0.036	2.780	0.214	0.712	2.120
1000	0.036	2.543	1.840	0.464	1.620
2000	0.036	1.840	1.680	0.343	1.030
4000	0.036	1.250	1.150	0.221	0.678
8000	0.036	0.895	0.865	0.144	0.512
12500	0.036	0.755	0.720	0.106	0.351
16000	0.036	0.702	0.646	0.088	0.333

Tabela 2. (Os erros são de 0.001V para todos valores)

Tabela preenchida pelos valores de tensão de entrada e saída do circuito.

As curvas representadas na Figura 7 abaixo foram obtidas dos valores mostrados na tabela 2.

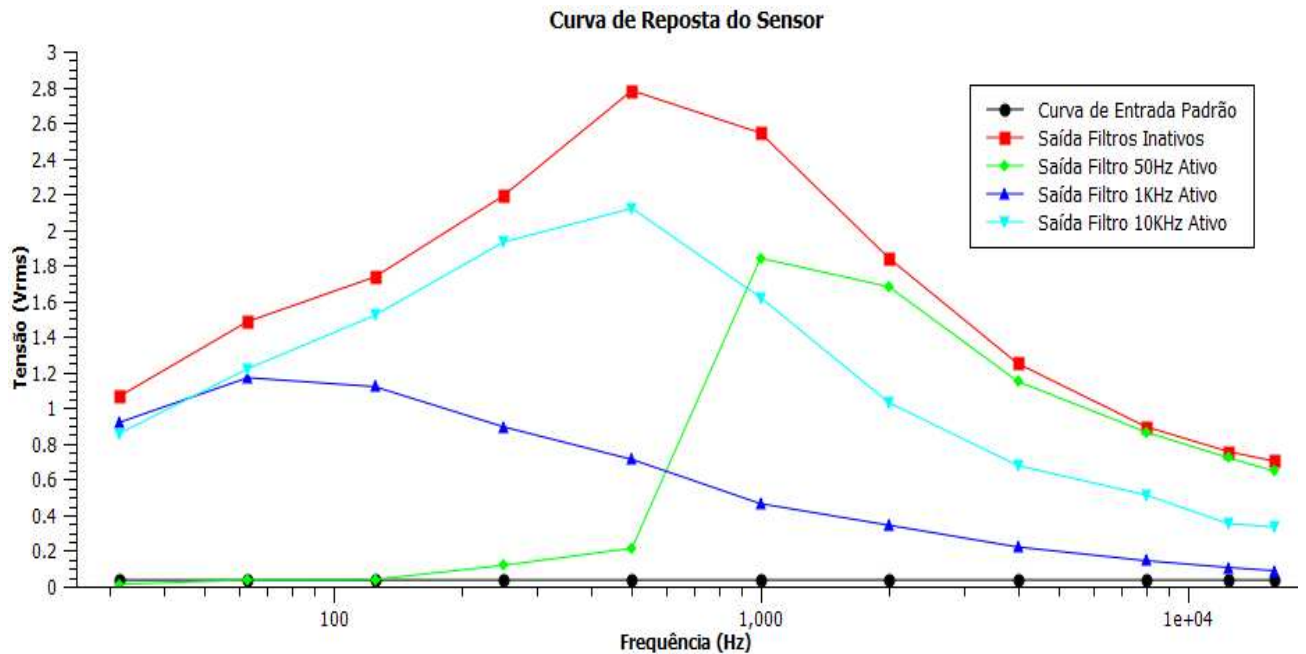


Figura 7.

Gráficos com a curva padrão de referência para a comparação com as curvas de saída do circuito amplificador.

Pode-se notar claramente, nesta figura, a amplificação feita pelo circuito. A curva preta é a da entrada que se mantém constante ao longo da variação da frequência; a curva em vermelho refere-se a amplificação máxima do circuito, isto é, sem a ativação dos filtros do circuito; a curva verde é a resposta de saída do sinal com a ativação do filtro passa-alta de 50Hz. Realmente na região de baixa frequência observa-se claramente a atenuação do sinal o que confirma a eficiência do filtro.

Finalmente, a curva azul escuro mostra a atenuação feita pelo filtro passa-baixa para a frequência acima de 1KHz, e é notória a eficiência do filtro em sua região de atenuação.

O filtro de 10kHz passa-alta também indicou funcionamento para a atenuação em sua região de trabalho, porém, com uma menor eficiência se comparado com os dois filtros de 50Hz e 1KHz.

## Bibliografia

- Hugo Fragnito, Material de apoio, **Filtros RC Passa-Baixa** pg. 19  
[http://www.ifi.unicamp.br/~gustavo/disciplinas/f429/apostila\\_hugo\\_fragnito.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~gustavo/disciplinas/f429/apostila_hugo_fragnito.pdf)
- Figura da representação da intensidade Sonora, Instituto Politécnico de Coimbra, **O Som**, <http://esec.pt/~pcarvalho/pisom.html>
- Paul A. Tipler e Gene Mosca, Física para Cientistas e Engenheiros Volume 1, **Ondas em Três Dimensões**, pg. 515
- <http://personal.cityu.edu.hk/~bsapplec/spectrum.htm>