

Professor: Juliano Augusto Nascimento Leite

juliano.leite@inatel.br

Monitora: Ana Beatriz Tiemi Higashizima

ana_higashizima@geb.intel.br

Leonardo Garcia Ferraz da Silva

leonardo.garcia@geb.inatel.br

Aluno: _____ **Matrícula:** _____ **Período:** _____

Data: ____/____/____

Relatório 8 – Filtros

Objetivo: Analisar o comportamento dos tipos de filtros, vantagem e desvantagem sobre filtro ativos e passivos baseando no projeto final da disciplina.

Parte I – Teoria e Pesquisa

Um filtro tem como função selecionar, rejeitar ou igualizar uma ou várias gamas de frequência de um sinal elétrico. Os filtros constituem uma das aplicações mais comuns da eletrônica, sendo amplamente utilizados na aquisição e processamento de sinais áudio, vídeo e de dados, de controle, etc. E no caso desta aula, para a filtragem dos Biosinais.

Em Transdução de Sinais Biomédicos estuda-se duas das principais técnicas de realização de filtros elétricos: a técnica passiva, que utiliza essencialmente resistências, capacitores e indutores; e a técnica ativa. Esta última técnica usa dispositivos eletrônicos como o amplificador operacional de tensão e o transferidor de corrente. Vale lembrar que outras técnicas são usadas para filtrar os sinais, como a técnica digital.

Os filtros elétricos podem ser dos tipos: passa-baixas, passa-altas, passa-faixa e rejeita-faixa. É comum usar os seguintes parâmetros para selecionar um filtro:

- (i) a banda de passagem, que define a gama de frequências a selecionar;
- (ii) a banda de rejeição, que define a gama de frequências a rejeitar;
- (iii) as bandas de transição entre bandas de passagem e bandas de atenuação;
- (iv) a variação máxima na banda de passagem;
- (v) a atenuação mínima garantida na banda de rejeição.

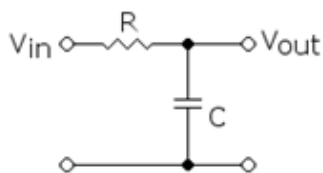
Com base nestes parâmetros geralmente se seleciona um filtro elétrico.

Resumos de alguns tipos de filtros passivos

Filtros passa-baixa



Passa baixa



Passa Baixas RC

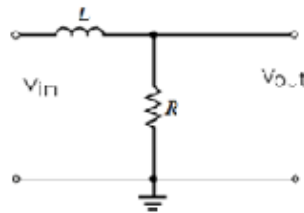
$$V_{out} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + R} \times V_{in}$$

Função de transferência

$$H(\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + R}$$

Ganho

$$|H(\omega)| = \frac{\frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$



Passa Baixas RL

$$V_{out} = \frac{R}{j\omega L + R} \times V_{in}$$

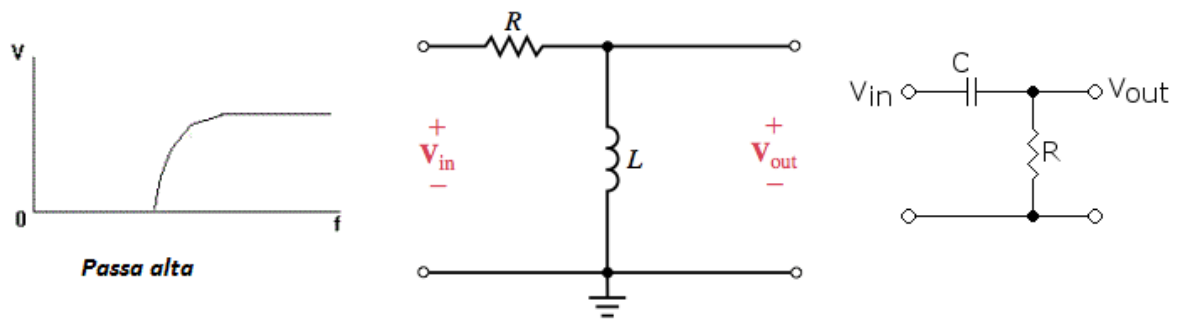
Função de transferência

$$H(\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{j\omega L + R}$$

Ganho

$$|H(\omega)| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

Filtros passa-altas



Passa Altas RL

$$V_{out} = \frac{j\omega L}{j\omega L + R} \times V_{in}$$

Função de transferência

$$H(\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{j\omega L}{j\omega L + R}$$

Ganho

$$|H(\omega)| = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

Passa Altas CR

$$V_{out} = \frac{R}{\frac{1}{j\omega C} + R} \times V_{in}$$

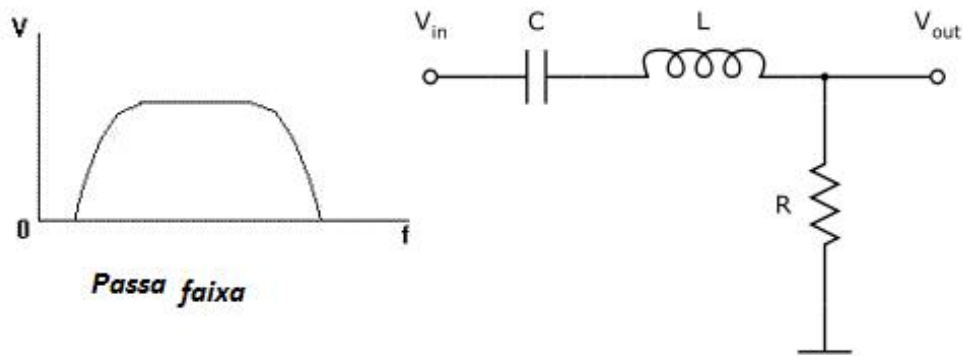
Função de transferência

$$H(\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\frac{1}{j\omega C} + R}$$

Ganho

$$|H(\omega)| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Filtros passa-faixas:



$$V_{out} = \frac{R}{\frac{1}{j\omega C} + j\omega L + R} \times V_{in}$$

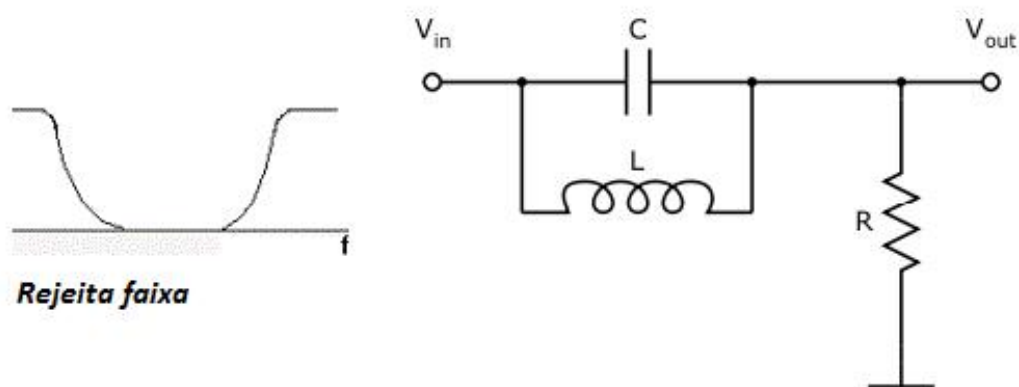
Função de transferência

$$H(\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\frac{1}{j\omega C} + j\omega L + R}$$

Ganho

$$|H(\omega)| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Filtros rejeita-faixa:



$$GV = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R - \omega^2 RLC} \right)^2}}$$

$$\alpha = \arctg \left(\frac{R - \omega^2 RLC}{\omega L} \right)$$

Função de transferência

$$H(\omega) = \frac{1}{1 + j \left(\frac{\omega L}{R - \omega^2 RLC} \right)}$$

As vantagens de cada tipo de filtro:

Filtros Passivos	Filtros Ativos
Nenhuma fonte de alimentação necessária	Sem indutores
Pode suportar grandes correntes e altas tensões	Mais fácil de projetar
Muito confiável	Zin alto, Zout baixo para carregamento mínimo
Menor número de componentes para determinado filtro	Pode produzir altos ganhos
O ruído provém apenas de resistências	Geralmente mais fácil de sintonizar
Sem limitação de largura de banda	Pequeno em tamanho e peso

As desvantagens de cada tipo de filtro:

Filtros Passivos	Filtros Ativos
Indutores grandes para frequências mais baixas	Fonte de alimentação necessária
Alguns indutores podem exigir blindagem	Suscetíveis à intermodulação, oscilações
Tamanhos padrão limitados, muitas vezes exigindo indutores variáveis e, portanto, ajuste	Suscetíveis a parasitas de tensão de desvio de saída de CC e correntes de polarização de entrada
Indutores de baixa tolerância (1-2%) muito caros	Largura de banda restrita
Devem ser concebidos tendo em conta a carga de entrada e de saída	Pode exigir muitos componentes
Geralmente não passíveis de miniaturização	
Sem ganho de tensão	

Para testar a eficácia do uso de filtros, utilizaremos o circuito da segunda aula, na qual foi montado um circuito para coletar o ECG, sem os processos de filtragem. Pode-se ver que os cabos blindados e algumas técnicas usadas para **eliminar ruído** não foram totalmente suficientes. Para isso, agora será preciso **montar 3 filtros**, para eliminar respectivamente os **ruídos da rede elétrica** e quais quer outros ruídos que possam **afetar o projeto**.

Parte II – Prática

Componentes necessários:

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| - 2 resistores de 100k Ω | - 4 capacitores de 100nF |
| - 2 resistores de 1.5M Ω | - 1 capacitor de 1 μ F |
| - 4 resistores de 10k Ω | - 1 INA114 |
| - 4 resistores de 27k Ω | - 1 LM741 |
| - 1 resistor de 4.7k Ω | - 1 TL074 |
| - 1 resistor de 1M Ω | - 1 kit de cabos |
| - 2 resistores de 2.7k Ω | - 2 protoboard |
| - 1 capacitor de 10nF | - Cabos para eletrodos e eletrodos |

Passos:

- Para alimentar o circuito com +9VC, utilize duas baterias em série.
- Um membro da bancada monte o circuito no Protoboard;
- Outro membro prepare os eletrodos.
- Conecte os eletrodos em um membro da bancada.

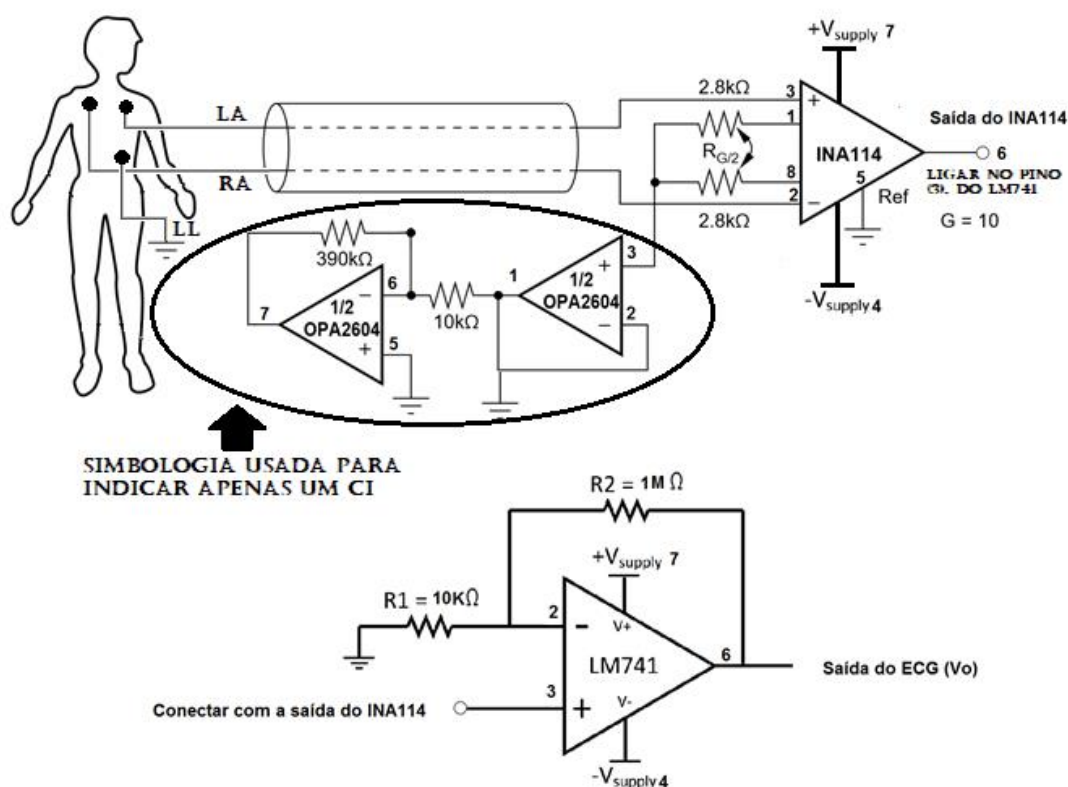
- Tente fazer com o máximo de atenção possível pois é uma experiência muito interessante, porém requer foco para não errar na montagem.

Dicas:

Divida as atividades entre os membros da bancada da seguinte forma:

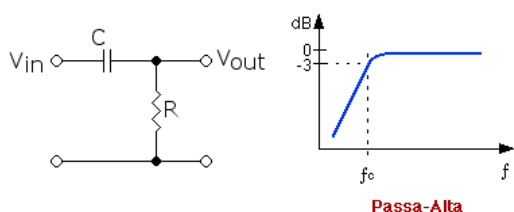
- Um membro cuida das baterias, dos eletrodos, e da organização dos estágios.
- Um membro monta o circuito para pegar o ECG.
- Um membro monta os filtros.
- Depois todos juntam as saídas com as entradas dos estágios e testam.

1 – Monte o circuito abaixo, que já foi montado na segunda aula:

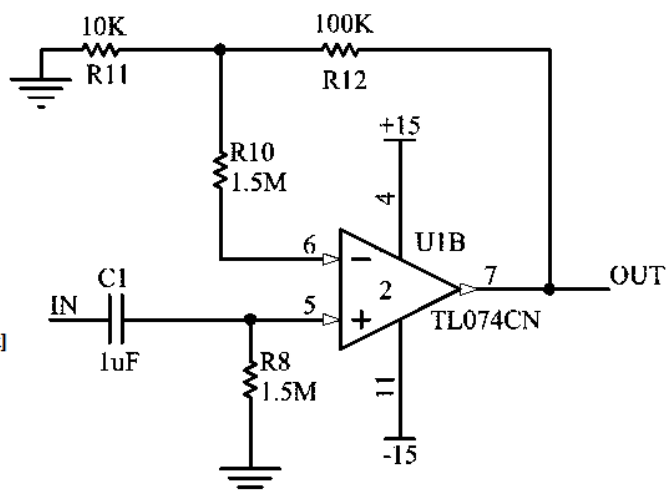


O **primeiro** estágio de filtragem é um filtro passa- altas com as seguintes características:

- Filtro ativo;
- 1ª ordem;
- Frequência de corte = 0,1 Hz;
- Ganho = 10;



$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ [Hz]}$$

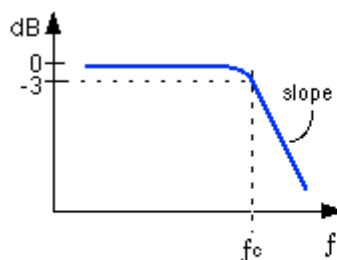
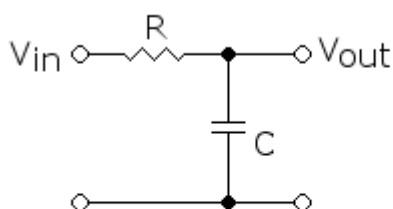
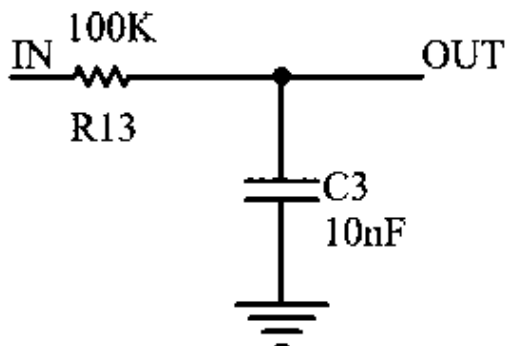


- Calcule a frequência de corte:

$$f_c = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [} \quad \text{]}$$

O **segundo** estágio de filtragem é um filtro passa-baixas com as seguintes características:

- Filtro passivo
- 1ª ordem
- $f_c = 150 \text{ Hz}$
- Ganho unitário



$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ [Hz]}$$

Passa-Baixa

- Calcule a frequência de corte:

$$f_c = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [} \quad \text{]}$$

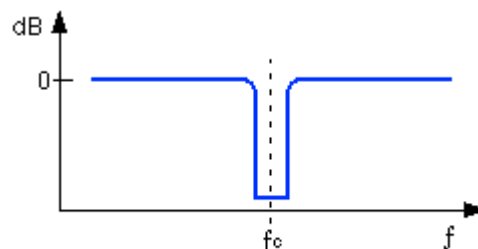
O **último** estágio de filtragem é um filtro rejeita-faixa (NOTCH) com as seguintes características:

- Frequência a ser eliminada = 60 Hz;
- Ganho unitário.

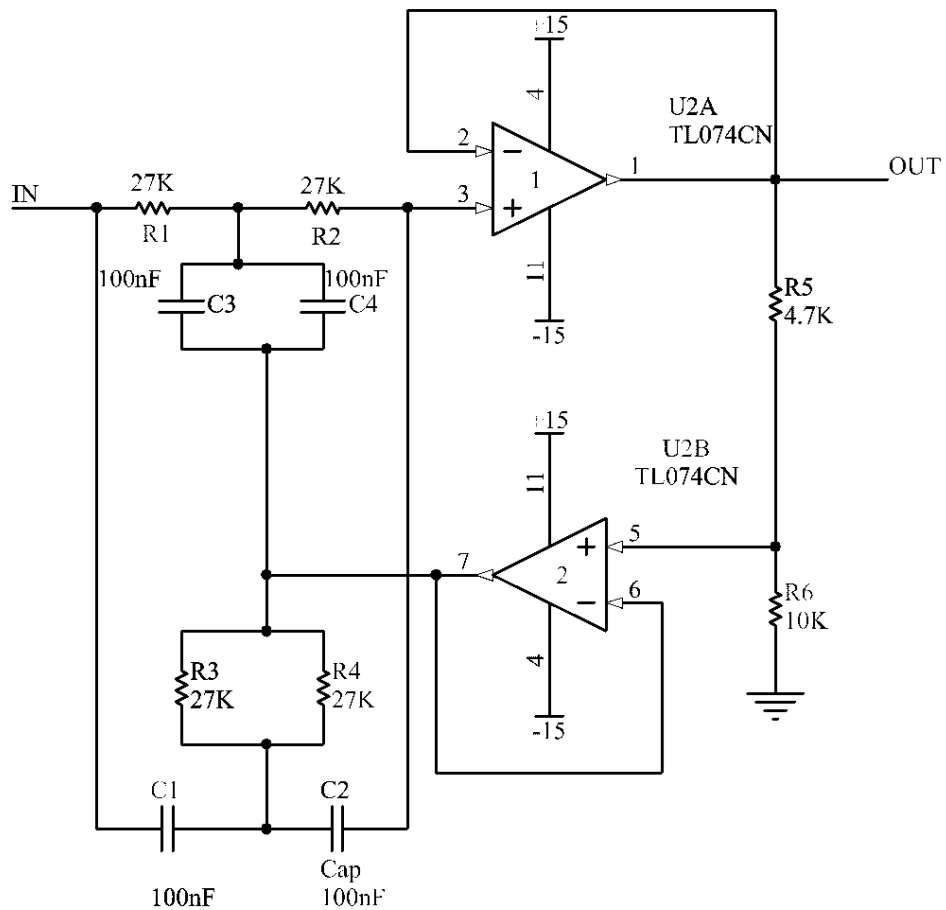
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4$$



Notch

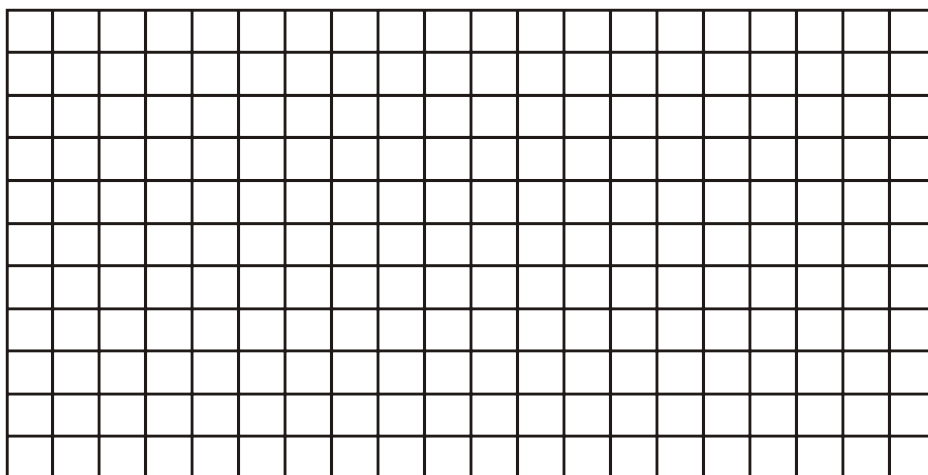


- Calcule a frequência de corte:

$$f_c = \text{_____} [\quad]$$

2 – Depois de montado, utilize um simulador de paciente e ajuste os valores de 30bpm.

a) Desenhe o sinal obtido.



3 – Agora meça em um membro da bancada.

a) Ligue o circuito e meça a tensão de saída do INA114 com o multímetro.

$$V_o (\text{aluno}) = \text{_____} [\quad]$$

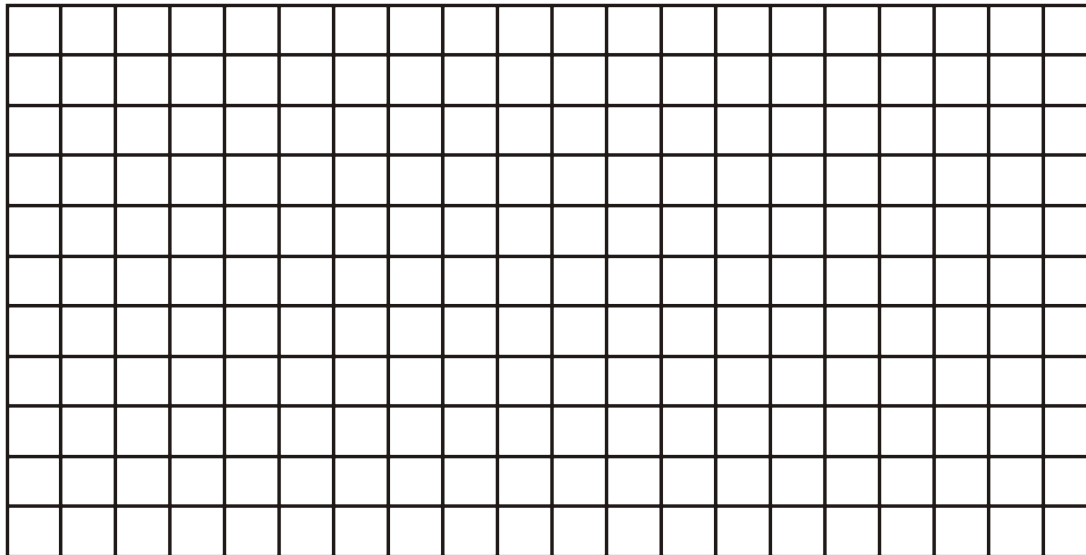
b) Agora meça a tensão de saída do LM741 com o multímetro.

V_o (aluno) = _____ []

c) Agora meça a tensão de saída e a frequência do circuito, com o osciloscópio do terceiro estágio do filtro.

V_o (aluno) = _____ [] f_o (aluno) = _____ []

d) Desenhe o sinal obtido.



4 – Compare os seus sinais obtidos, pelo simulador de paciente, e pelo aluno. Os valores obtidos foram próximos do esperado? (30bpm/60s = 0,5Hz 240bpm/60s = 4Hz)

5 – Os sinais obtidos se assemelharam ao ECG humano? Justifique.

6 – Independentemente do resultado obtido na sua experiência, descreva os estágios que foram feitos para coletar e amplificar o ECG, incluindo a filtragem.

7 – Cite algumas diferenças entre filtros passivos e ativos.

8 – Para que foram usados o filtro passa baixas e passa altas? Pesquise se necessário.

9 – Para que foi usado o filtro rejeita-faixa? Pesquise se necessário.
