

# Hands-on 5

## Projeto de Filtros Digitais com o GNU Radio

## Introdução Teórica

### Filtros

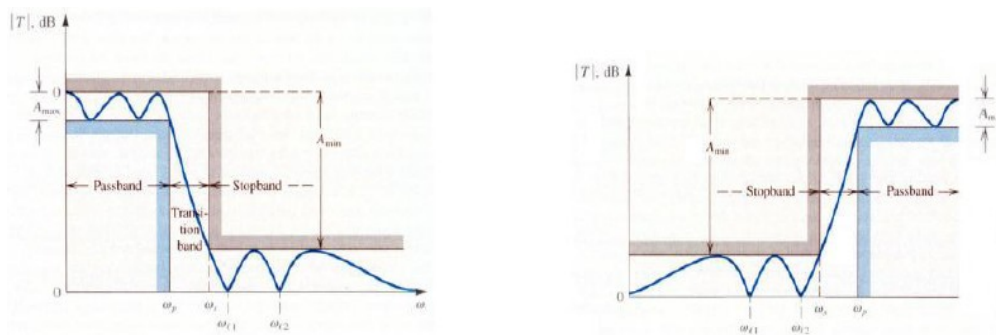
Filtros são circuitos especialmente projetados para fornecer ganho em sua saída dependendo da frequência do sinal aplicado na entrada. Esta definição pode ser aplicada a vários circuitos, como, por exemplo, aos amplificadores de áudio com controle de tonalidade, amplamente difundidos no mercado (os equalizadores gráficos). A figura a seguir mostra um equalizador gráfico encontrado no mercado.



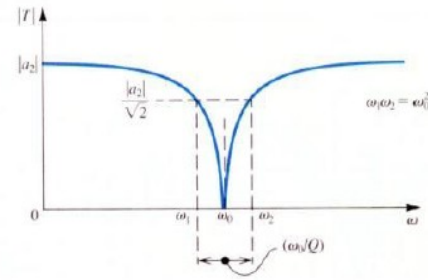
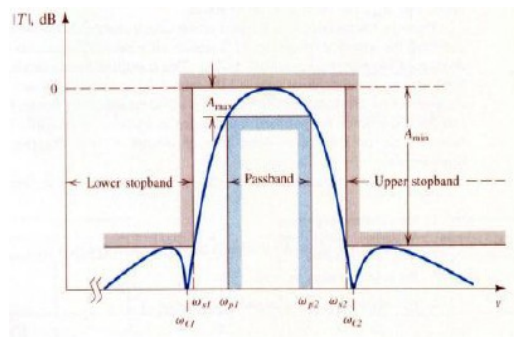
Esse exemplo de aplicação ressalta a principal característica de um filtro: **sua sensibilidade à frequência do sinal**. Esta característica permite que eles sejam utilizados para selecionar uma determinada faixa de frequências, ou para elimina-las (sinais indesejáveis) ou para amplificá-las. Esta característica é chamada seletividade.

Os tipos clássicos de filtros são:

- **Filtro passa-baixa:** permite que somente frequências abaixo de uma frequência determinada (frequência de corte) passem para a saída, eliminando todas as componentes de frequências superiores;
- **Filtro passa-alta:** funciona de maneira inversa ao filtro passa-baixa. Deixando passar para a saída apenas frequências estejam acima de certo valor. A figura a seguir mostra a resposta em frequência de um filtro passa-baixa (à esquerda) e um filtro passa-alta (à direita);



- **Filtro passa-faixa:** permite a seleção de apenas uma faixa de frequências (banda-passante), ou seja, apenas essa faixa (intervalo) selecionada passará para a saída do filtro;
- **Filtro rejeita-faixa:** atua de forma inversa ao filtro passa-faixa, eliminando os sinais contidos em um determinado intervalo de frequências definido. A figura a seguir mostra a resposta em frequência de um filtro passa-faixa (à esquerda) e um rejeita-faixa (à direita);



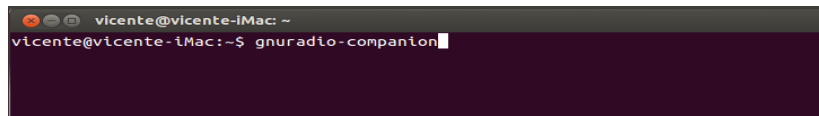
## Referências

- [1] <http://www2.unicid.br/telecom/fintel/VI-Fintel/feira/E2B2.html> - acesso em:15/11/2012
- [2] <http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro> - acesso em:15/11/2012
- [3] Vicente A. de Sousa Jr.; Slide sobre Modulação AM unidade II - acesso em:15/11/2012
- [4] [http://www.csun.edu/~skatz/katzpage/sdr\\_project/sdr/](http://www.csun.edu/~skatz/katzpage/sdr_project/sdr/) - Acesso em:12/11/2012
- [5] <http://lists.gnu.org/archive/html/discuss-gnuradio/2006-07/txtNbXJrpGud.txt> - Acesso em:12/11/2012
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/wav> - Acesso em:12/11/2012
- [7] <http://support.microsoft.com/kb/89879> - Acesso em:12/11/2012
- [8] [http://docentes.fam.ulusiada.pt/~d1207/docs/ps/PS\\_Cap5\\_0506.pdf](http://docentes.fam.ulusiada.pt/~d1207/docs/ps/PS_Cap5_0506.pdf) - Acesso em: 30/11/2012

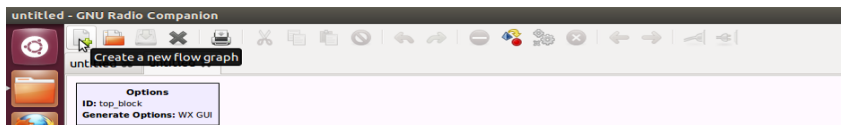
## Exercício

**OBJETIVO:** Usar conceitos básicos e algumas dicas aprendidas em exercícios passados para filtrar a saída de dois sinais com frequências diferentes, tanto usando filtros digitais FIR quanto IIR, utilizando a ferramenta **Filter Design** do GNU Radio.

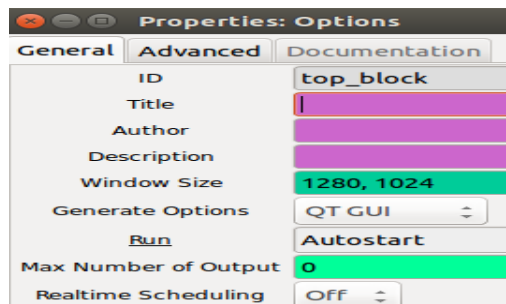
1. Caso ainda não esteja aberto, inicialize o GNU Radio Companion.
  - a. Abra um terminal digitando CTRL+ALT+t
  - b. Digite: gnuradio-companion e pressione ENTER



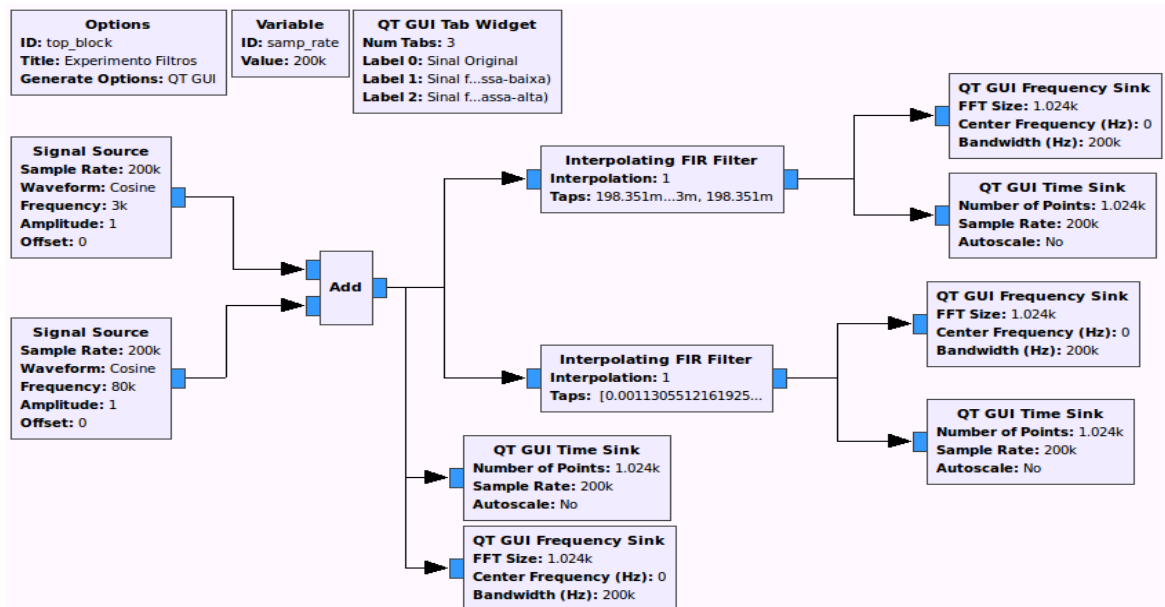
2. Com o GNU RADIO COMPANION aberto, crie um novo projeto.



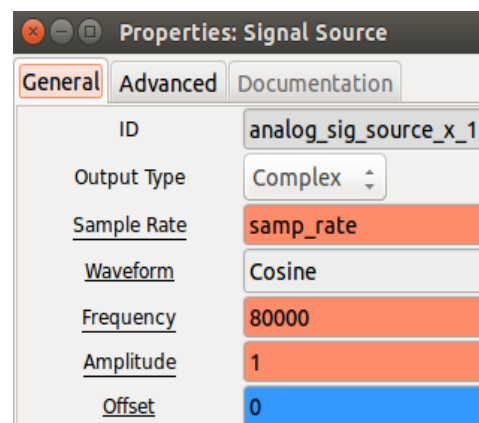
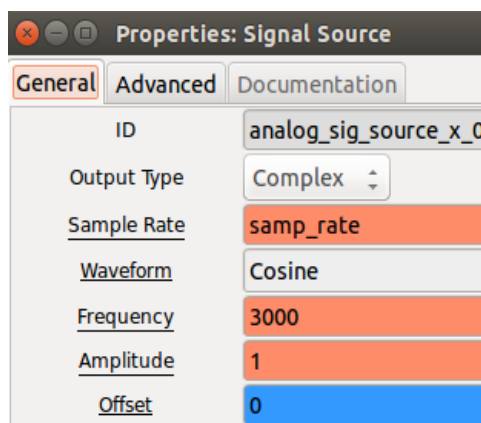
3. Clique duas vezes no Bloco **Options**. Esse bloco configura alguns parâmetros gerais do *flowgraph*. Mantenha o ID como *top\_block*. Digite um título para o projeto e um autor. Selecione *Generate Options* como *QT GUI*, *Run* para *Autostart* e *Realtime Scheduling* para *Off*. Então, feche a janela de propriedades.



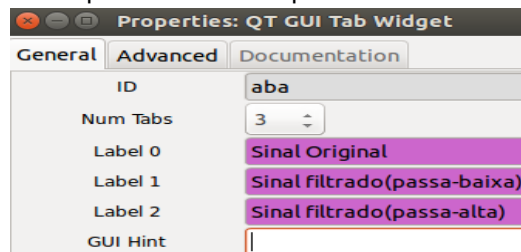
4. O experimento será realizado em duas etapas: a primeira é um projeto utilizando Filtros FIR e a segunda, a construção de um projeto com Filtros IIR. Construa seu primeiro projeto utilizando os seguintes blocos: dois **Signal Source**, um **Add**, três **QT GUI Time Sink**, três **QT GUI Frequency Sink**, dois **Interpolating FIR Filter** e um **QT GUI Tab Widget**. Faça a conexão dos blocos de forma que sua área de trabalho fique igual à figura abaixo.



- Agora configure os parâmetros de cada bloco. Clique duas vezes no bloco **Variable** e atribua uma frequência de amostragem, no campo *Value*, de 200 kHz. No primeiro bloco **Signal Source** atribua uma frequência de 3 kHz e no segundo bloco para 80 kHz. Em ambos os blocos altere o parâmetro *Output Type* para Complex.

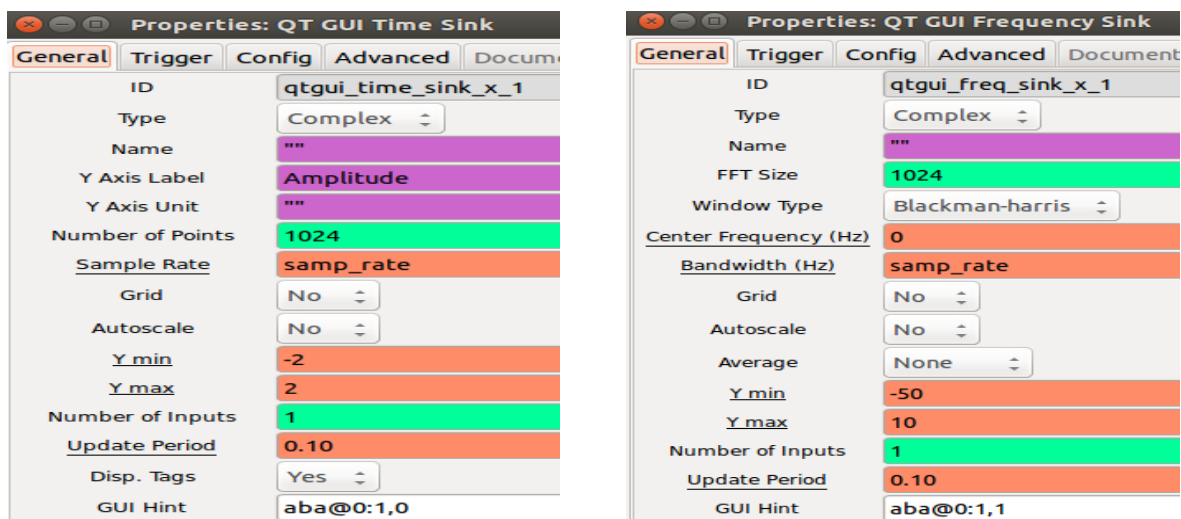


- No próximo passo, configure os blocos da família **QT GUI** que são responsáveis pela organização e visualização dos gráficos. Primeiramente, clique no bloco **QT GUI Tab Widget** e edite o parâmetro *ID* para "aba", *Num Tabs* para 3 e preencha os campos *Labels* de acordo com a figura abaixo.

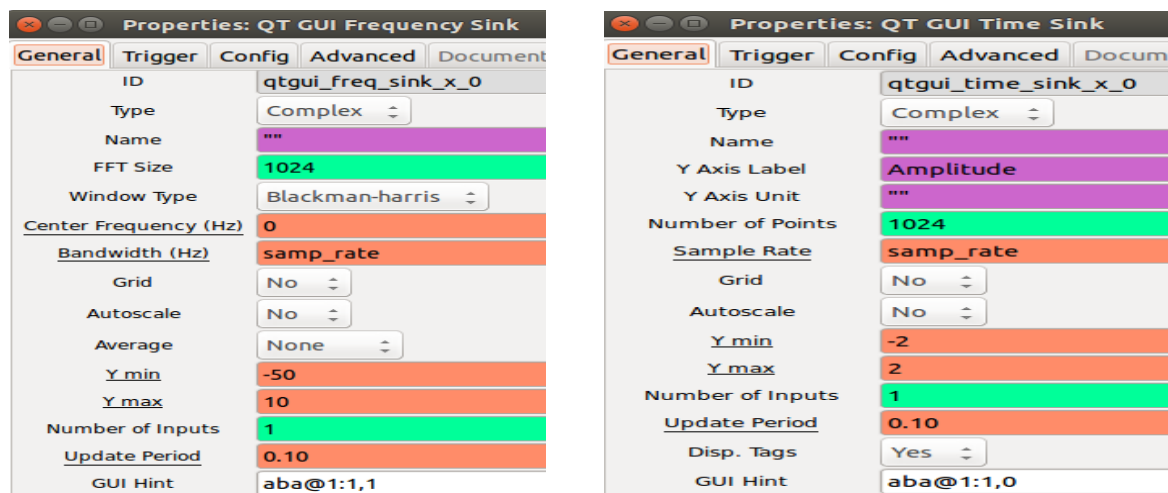


- Agora configure os blocos **QT GUI Time Sink** e **QT GUI Frequency Sink** que estão na saída do bloco **Add**; altere o *Type* de ambos os blocos para Complex e o parâmetro *GUI Hint* conforme é

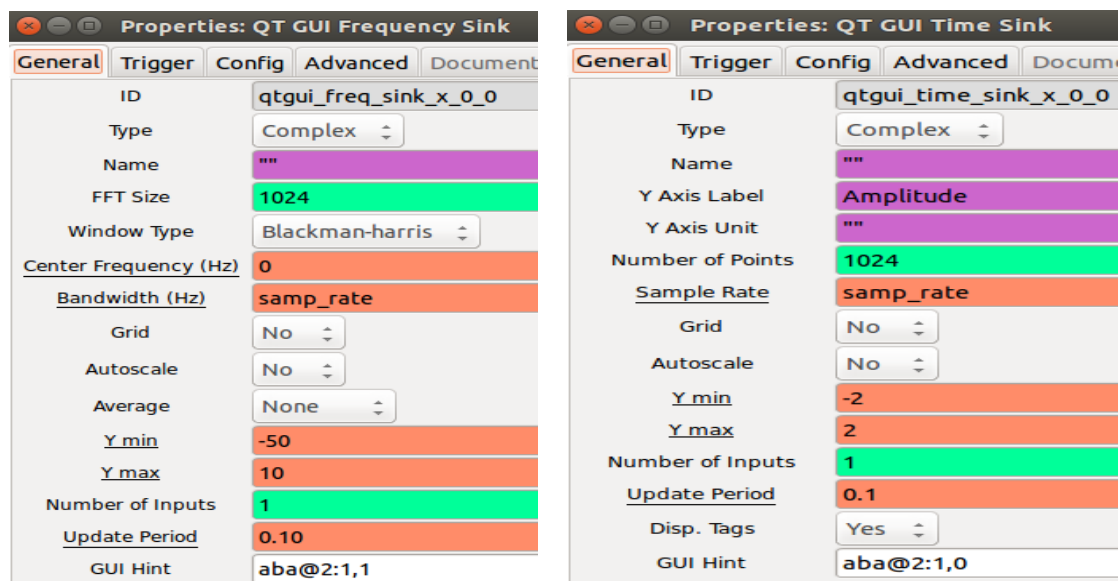
ilustrado nas figuras seguinte. Esses blocos serão responsáveis por mostrar os sinais originais no domínio do tempo e da frequência.



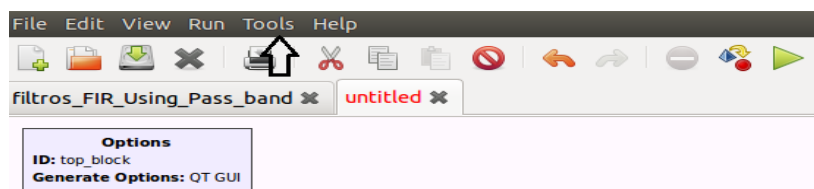
8. Repeta o passo 7 para os blocos **QT GUI Time Sink** e **QT GUI Frequency Sink** que estão na saída do primeiro bloco **Interpolating FIR Filter**, alterando o **GUI Hint** com os parâmetros mostrados abaixo. Esses serão responsáveis por mostrar a filtragem da menor componente de frequência dos sinais transmitidos.



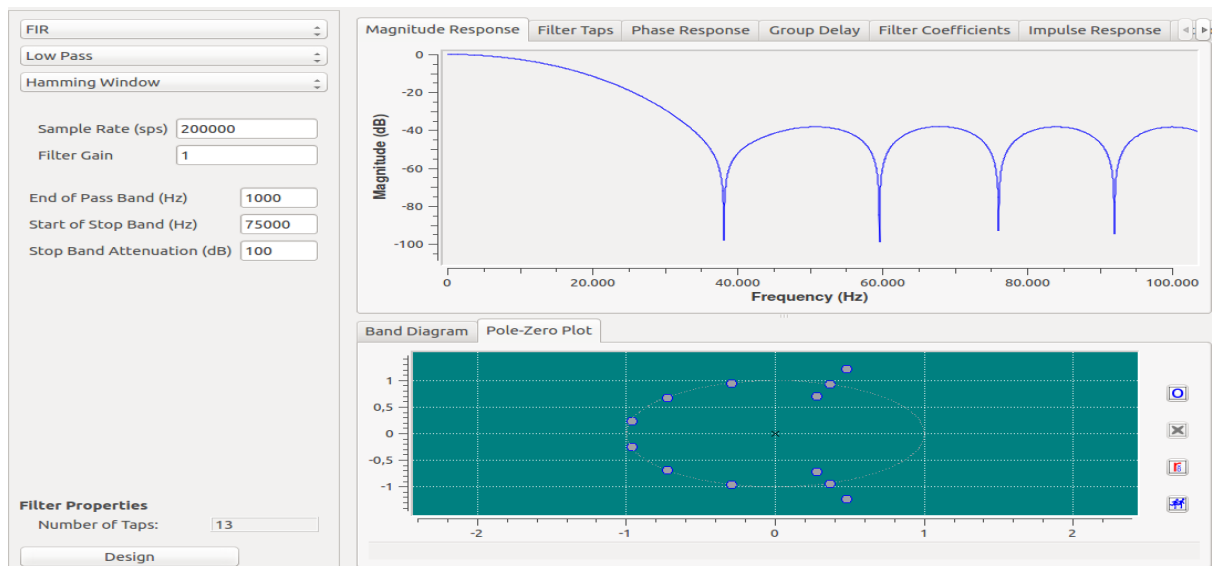
9. Para finalizar, repeta o mesmo passo para os últimos blocos **QT GUI Time Sink** e **QT GUI Frequency Sink**, na saída do segundo bloco **Interpolating FIR Filter**. Esses mostrarão a maior componente de frequência e o sinal no domínio do tempo.



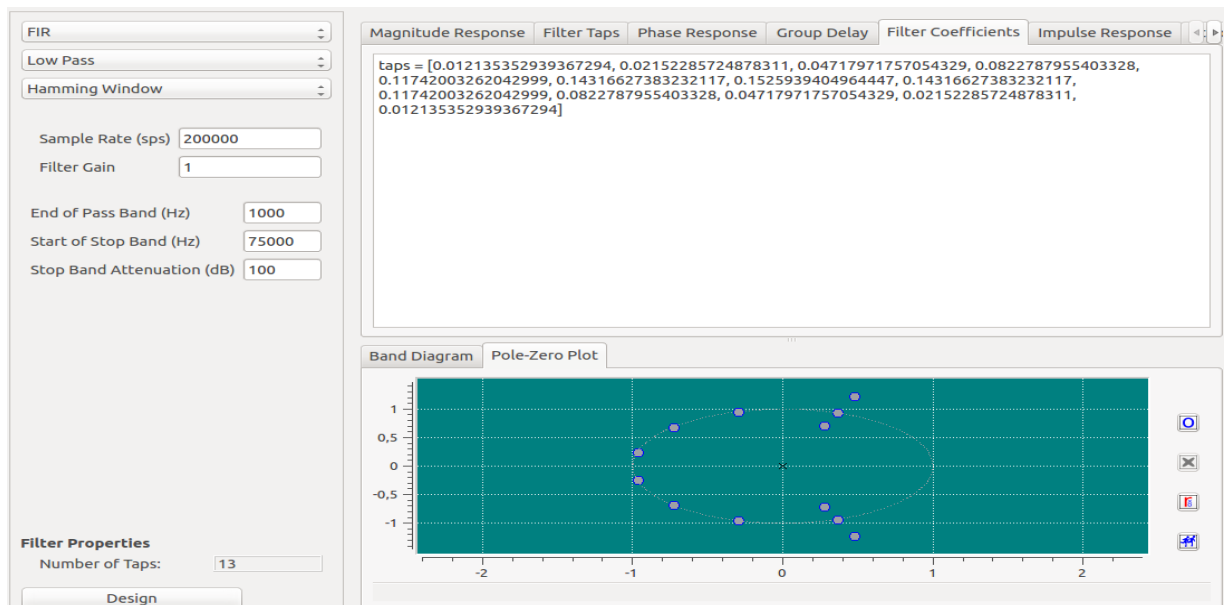
10. Agora configure os dois blocos **Interpolating FIR Filter**. Para isso, utilize o auxílio da ferramenta **Filter Design**. Ela vai gerar os Taps necessários para inserir nos blocos, além de apresentar várias características relevantes dos filtros, permitindo uma melhor análise do projeto. Então, clique em **Tools** e depois na opção **Filter Design** (veja o indicativo na figura a seguir).



11. Feito isso, insira os parâmetros do filtro a projetar nos campos a seguir. Primeiro, projete um filtro passa-baixa para filtrar a componente de menor frequência. Para isso, selecione **FIR**, **Low Pass** e **Hamming Window** (depois tente refazer os experimentos utilizando diferentes tipos de janela. Neste caso, qualquer outro tipo de janela será suficiente, pois os sinais estão bem distantes em frequência). Altere o **Sample Rate (sps)** para a frequência de amostragem do projeto, ou seja, 200 kHz e **Filter Gain** para 1. Para obter só a componente de menor frequência e aproveitando a boa distância em frequência entre os dois sinais, mantenha uma zona de transição maior entre os dois parâmetros, exigindo assim um número menor de Taps. Isso significará menor custo computacional. Assim, altere o parâmetro **End of Pass Band (Hz)** para 1 kHz, **Start of Stop Band (Hz)** para 75 kHz e **Stop Band Attenuation (dB)** para 100 dB. Agora gere os resultados em **Design** e sua interface deverá ficar semelhante à figura a seguir.



12. Clique na aba *Filter Coefficients*, copie todos os coeficientes gerados e cole no parâmetro *Taps* do primeiro bloco **Interpolating FIR Filter**.



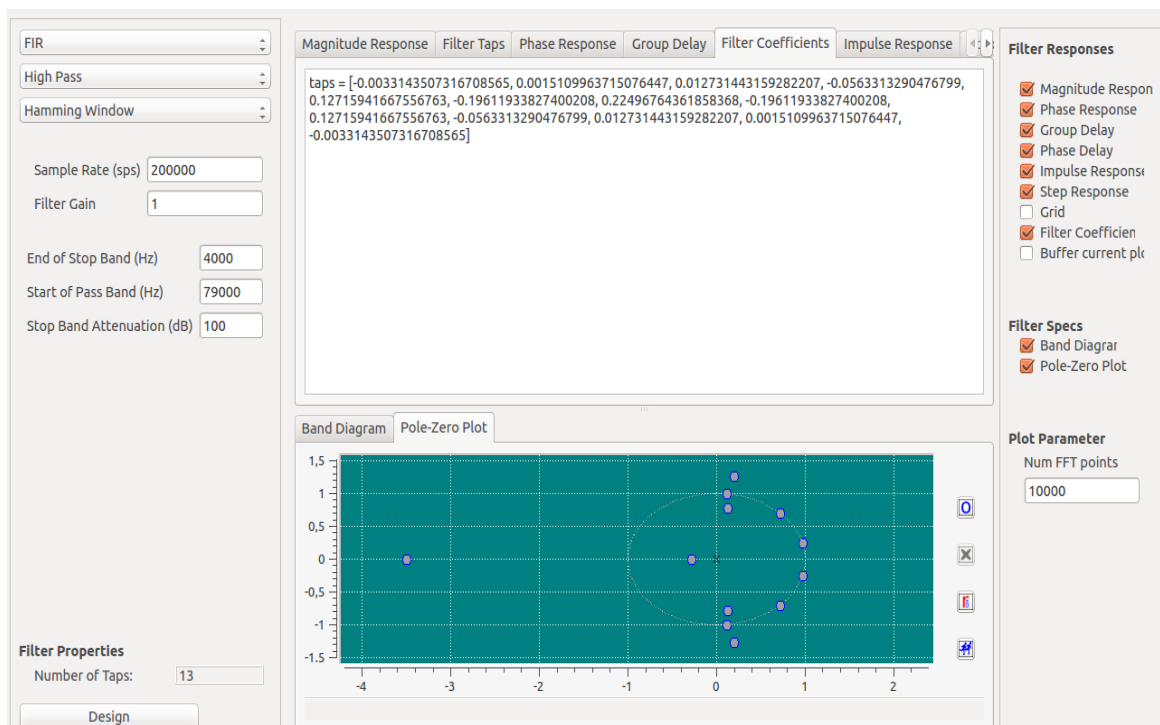
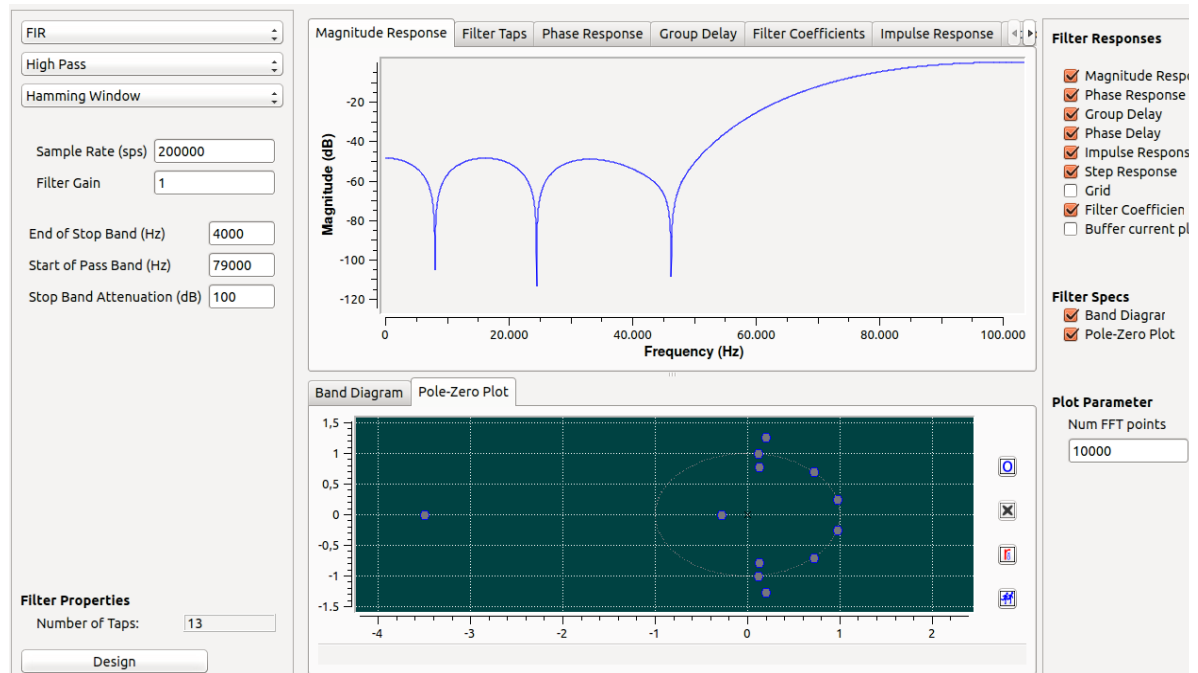
**Properties: Interpolating FIR Filter**

**General** | Advanced | Documentation

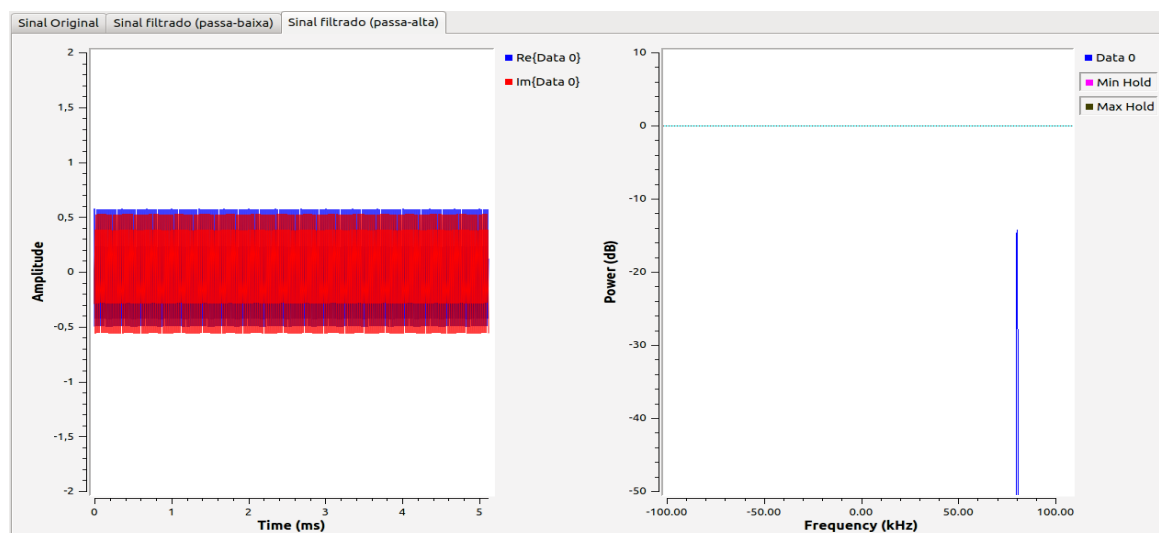
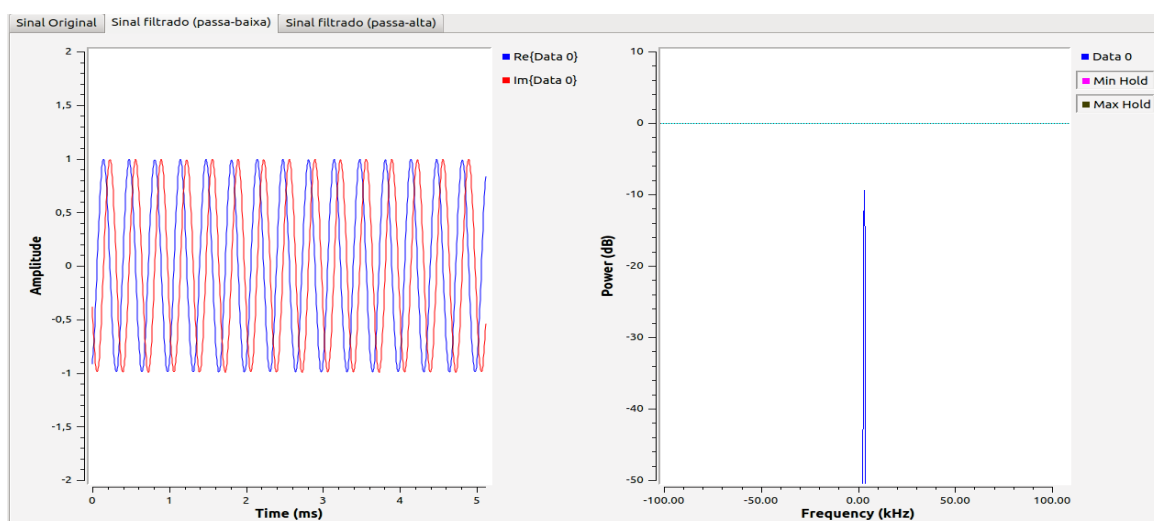
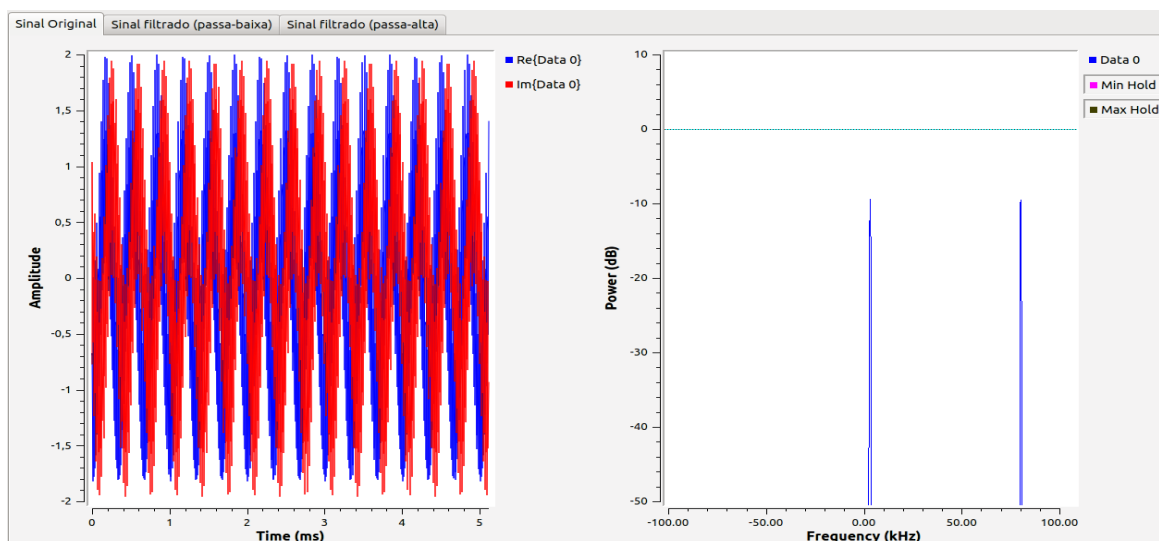
ID	interp_fir_filter_xxx_0
Type	Complex->Complex (Complex Taps)
Interpolation	1
Taps	[0.012135352939367294, 0.02152285724878311, 0
Sample Delay	0



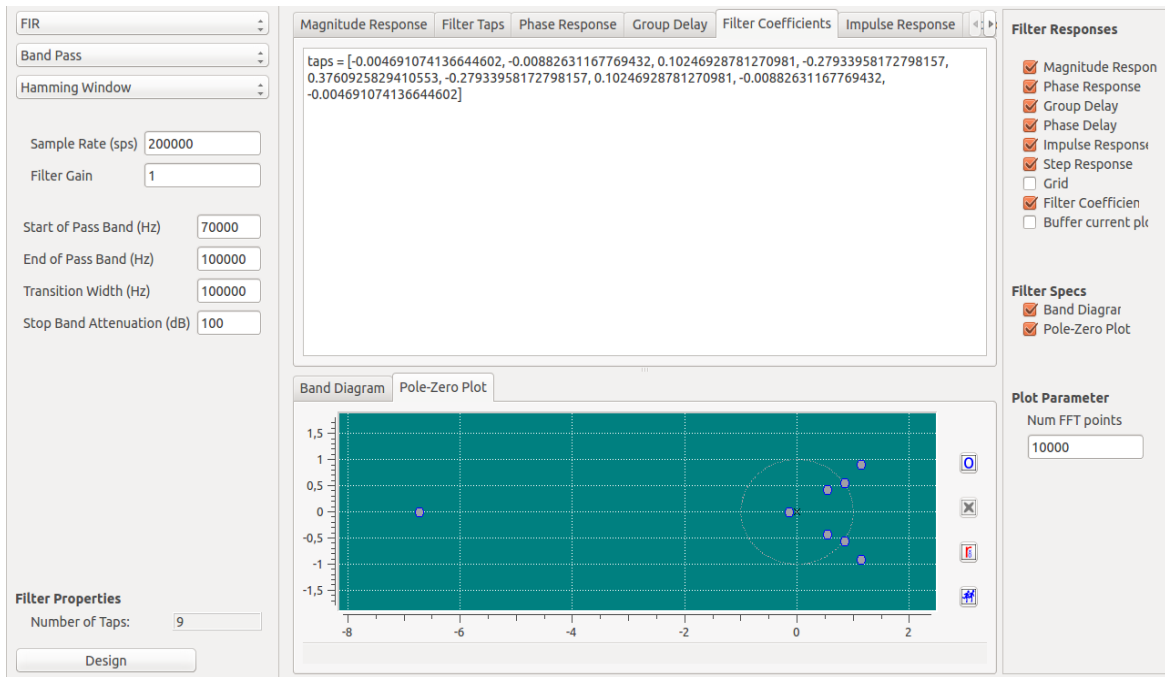
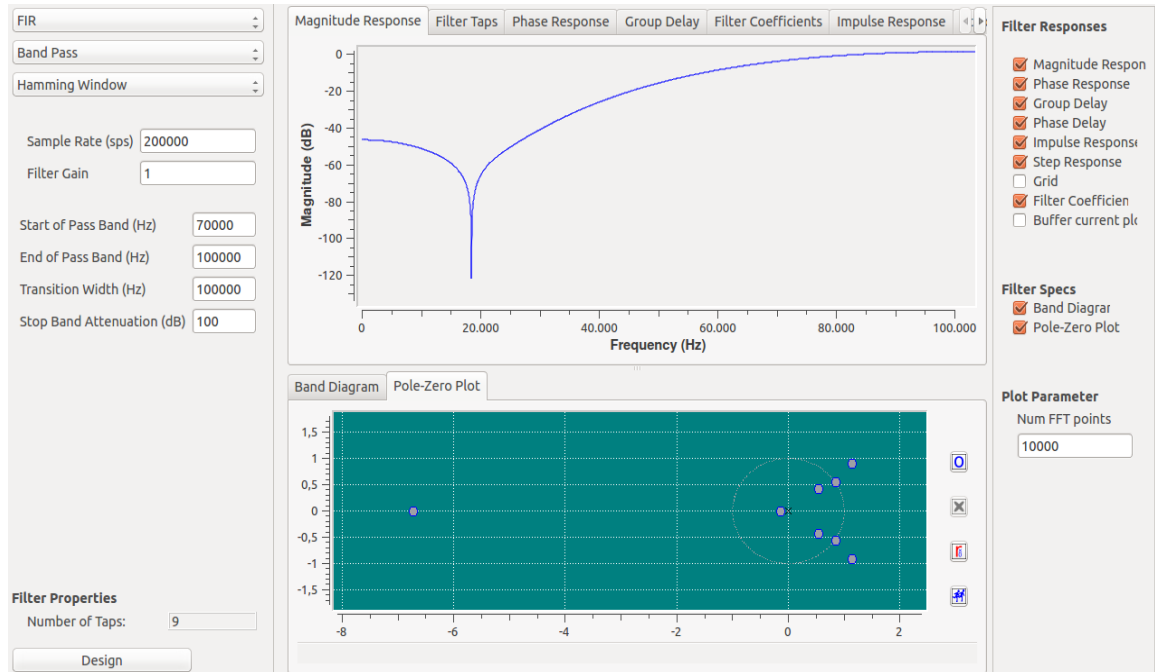
13. Agora repeta o processo anterior para o segundo bloco **Interpolating FIR Filter**, sendo que este será responsável por filtrar a maior componente de frequência. Para isso, utilize um filtro passa-alta. Selecione no **Filter Design** os seguintes parâmetros: **FIR**, **High Pass** e **Hamming Window**. Mantenha os valores de **Sample Rate (sps)**, **Filter Gain** e **Stop Band Attenuation (dB)**; e altere **End of Stop Band (Hz)** para 4 kHz e **Start of Pass Band (Hz)** para 79 kHz. Em seguida, repita o passo do tópico 12.



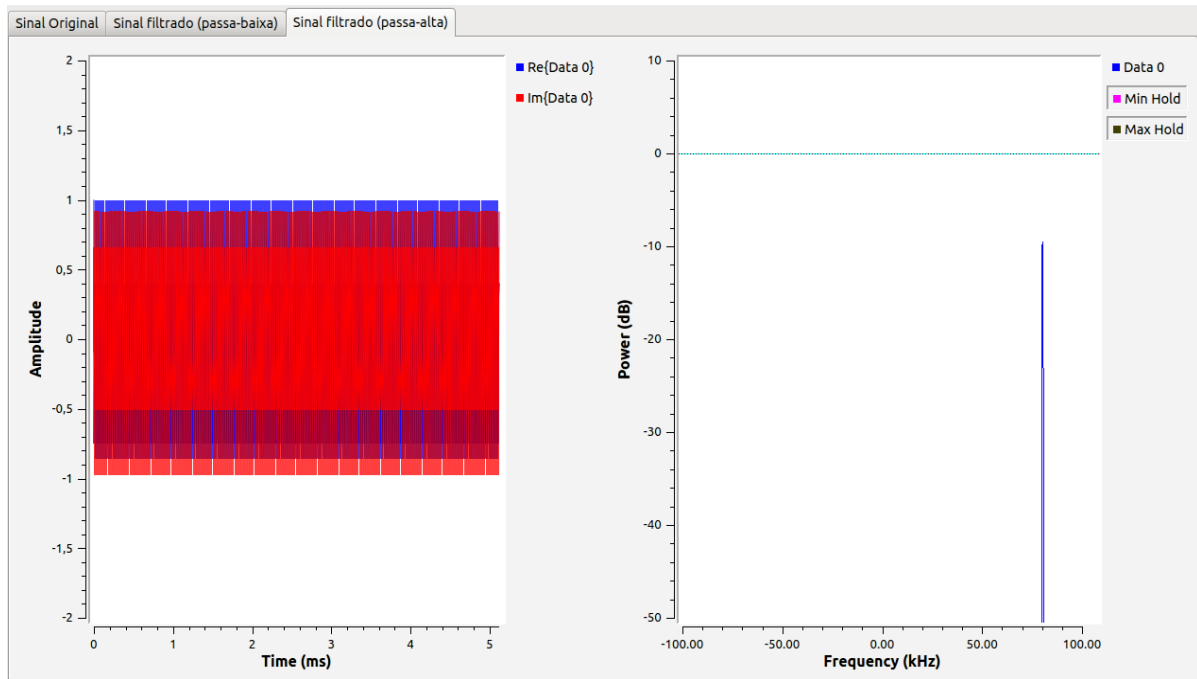
14. Gere e execute o Flowgraph. Os resultados devem ser semelhantes ao das figuras abaixo.



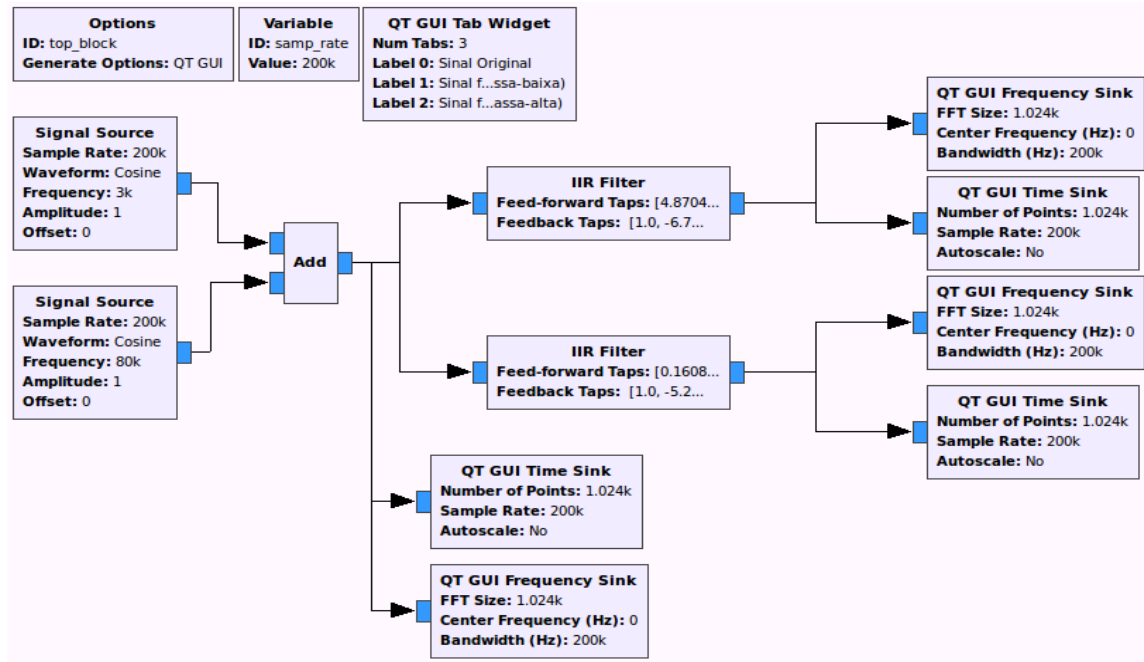
15. Observe que na terceira imagem, saída do filtro passa-alta, houve uma grande perda na amplitude do sinal. Isso ocorreu devido os filtros FIR não trabalharem bem com o High Pass. Visando melhorar o ganho do sistema, utilize um filtro passa-faixa para filtrar a maior componente do sinal. Portanto, edite os seguintes parâmetros no Filter Design: *FIR*, *Band Pass* e *Hamming Window*. Mantenha os valores de *Sample Rate (sps)*, *Filter Gain* e *Stop Band Attenuation (dB)*; e altere os parâmetros *Start of Pass Band (Hz)* para 7 kHz, *End of Pass Band (Hz)* para 100 kHz e *Transition Width (Hz)* para 100 kHz. Todos os parâmetros e os resultados gerados deverão ficar iguais às figuras abaixo.



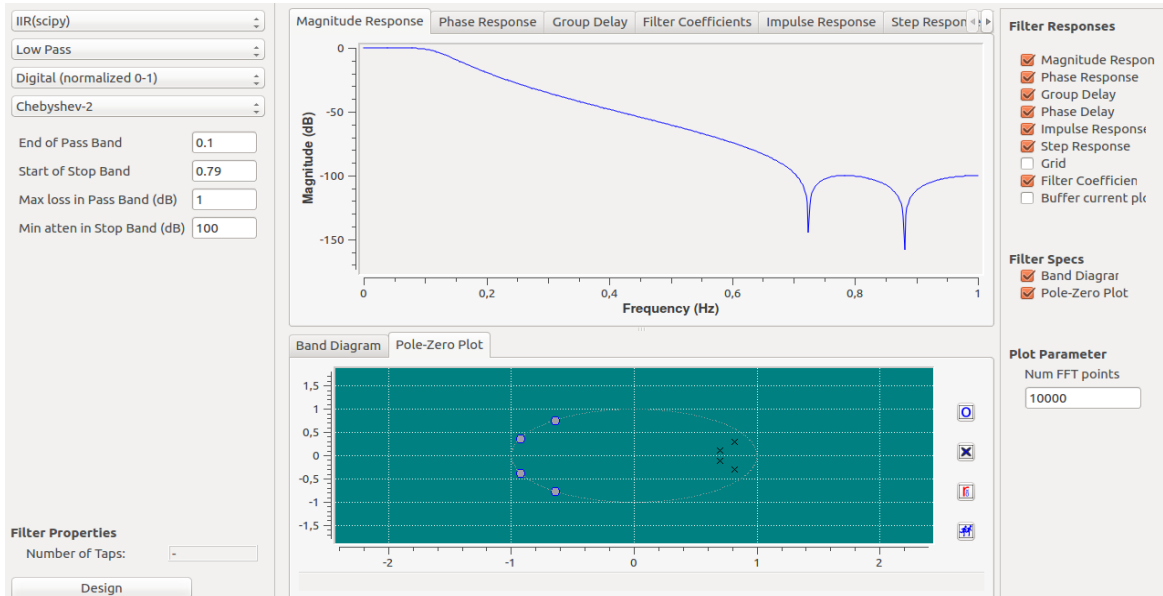
16. Copie os novos coeficientes gerados na opção *Taps* do segundo bloco **Interpolating FIR Filter**. Agora gere e execute o Flowgraph. Observe na figura abaixo que, mesmo com um menor número de taps, conseguimos obter um resultado melhor que o anterior, mantendo a amplitude original do sinal.



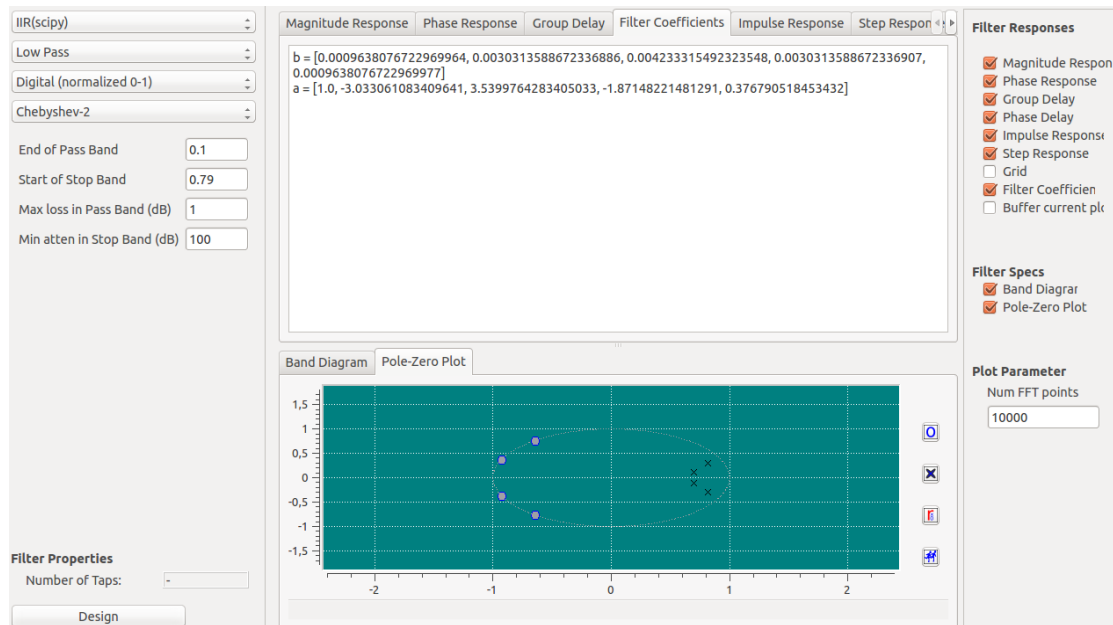
17. Para a segunda etapa do projeto, aproveite a mesma estrutura do projeto anterior (salve-o utilizando o recurso "save as" com novo nome) e substitua os dois blocos **Interpolating FIR Filter** por dois blocos **IIR Filter**. Sua área de trabalho deverá ficar igual à figura abaixo.

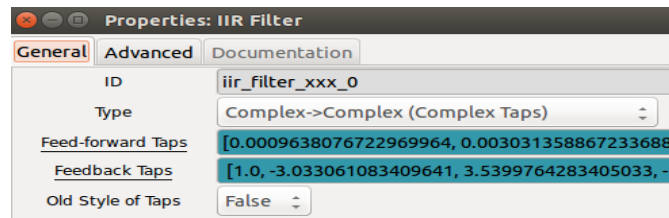


18. Feito isso, configure o primeiro bloco **IIR Filter**. Abra o Filter Design e selecione os seguintes parâmetros: **IIR (scipy)**, **Low Pass**, **Digital (normalized 0-1)** e **Chebyshev-2**. Agora com os valores normalizados, atribua 0.1 para **End of Pass Band**, 0.79 para **Start of Stop Band**, **Max loss in Pass Band (dB)** igual a 1 e 100 para **Min atten in Stop Band (dB)**. Clique em **Design** e a resposta em magnitude do filtro deverá ficar semelhante à figura abaixo.

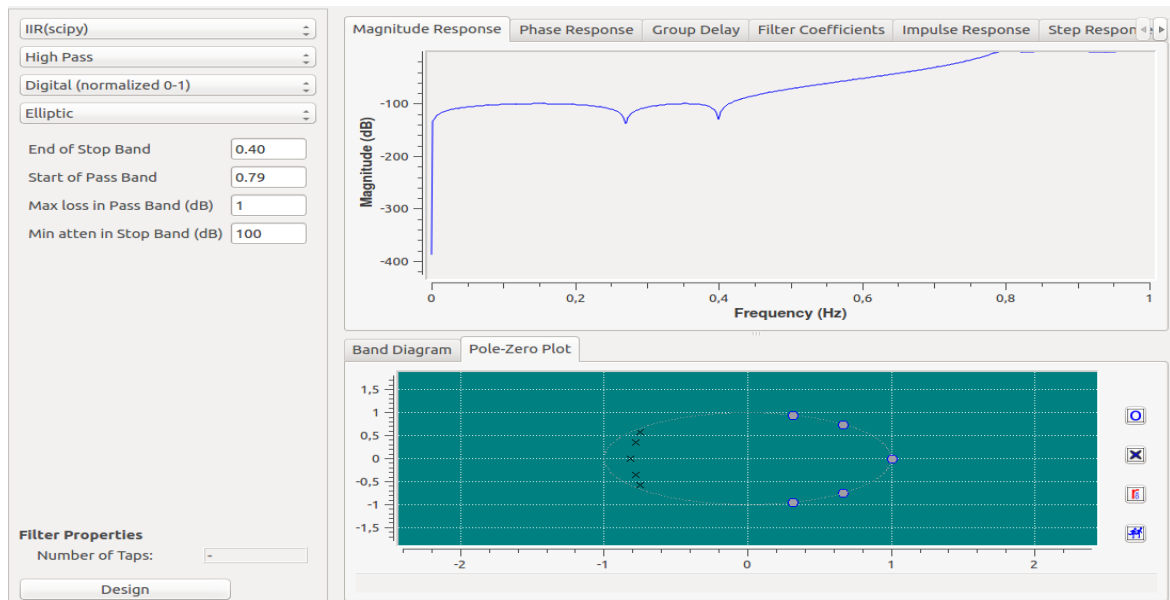


19. Clique na aba **Filter Coefficients**, copie os valores do coeficiente “b” e cole no parâmetro **Feed-forward Taps** do bloco **IIR Filter**, agora copie os valores do coeficiente “a” e cole no parâmetro **Feedback Taps**, depois selecione a opção **Old Style of Taps** para False. Observe o resultado nas figuras seguintes.

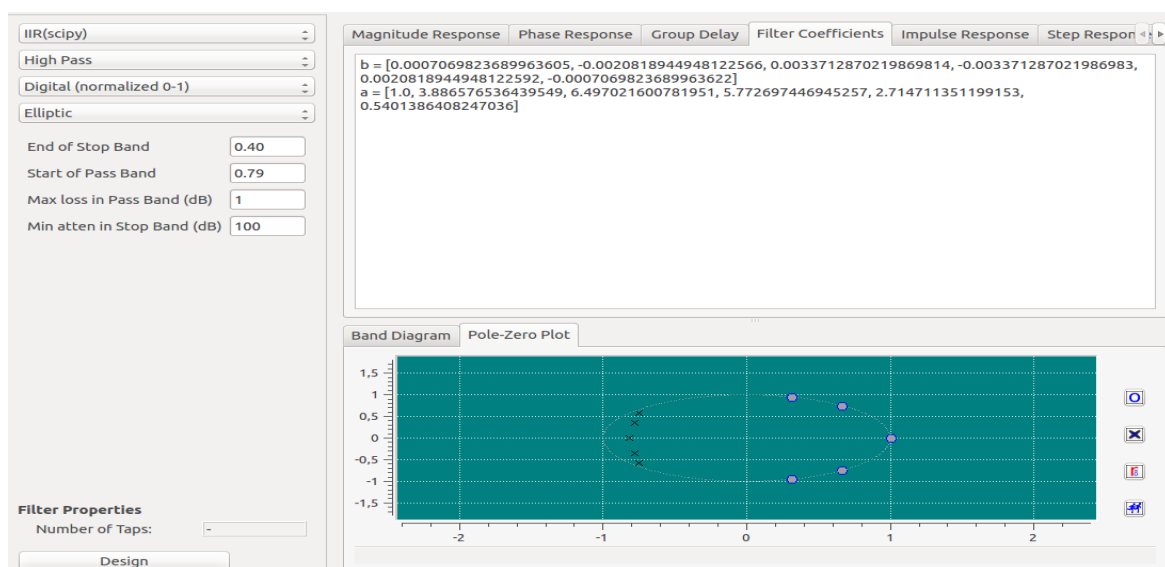




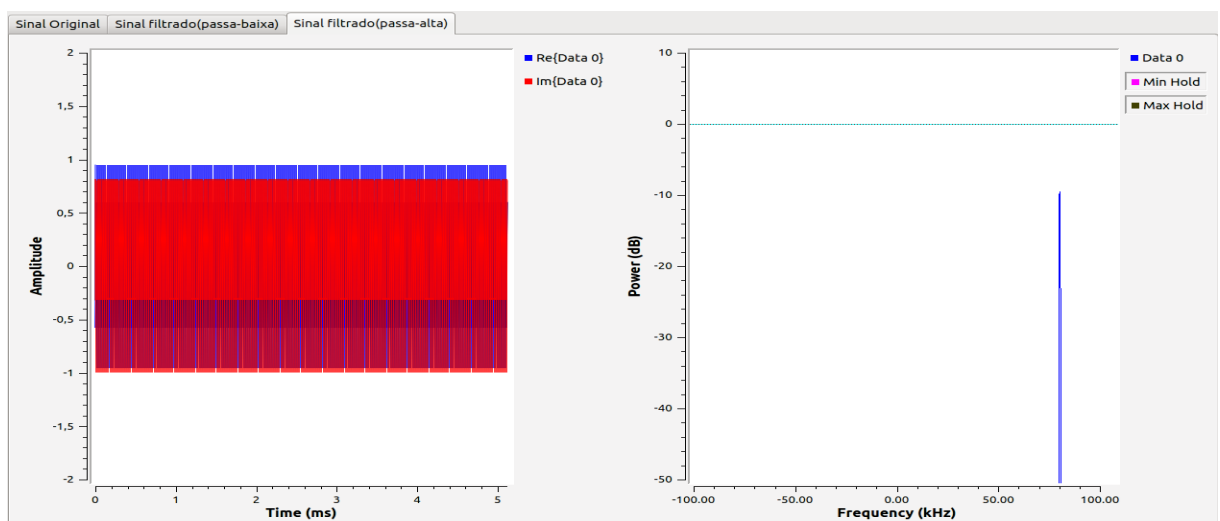
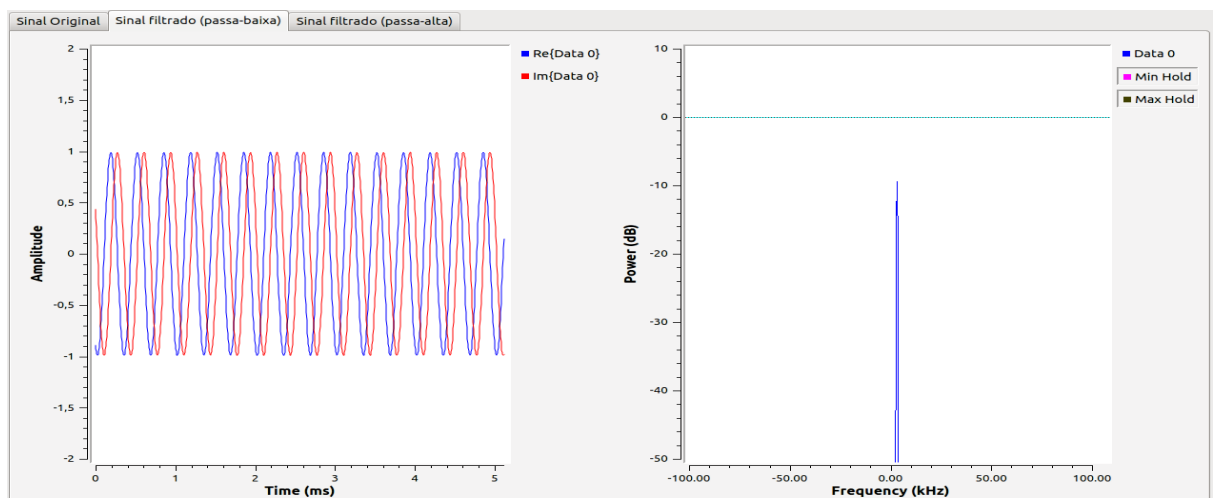
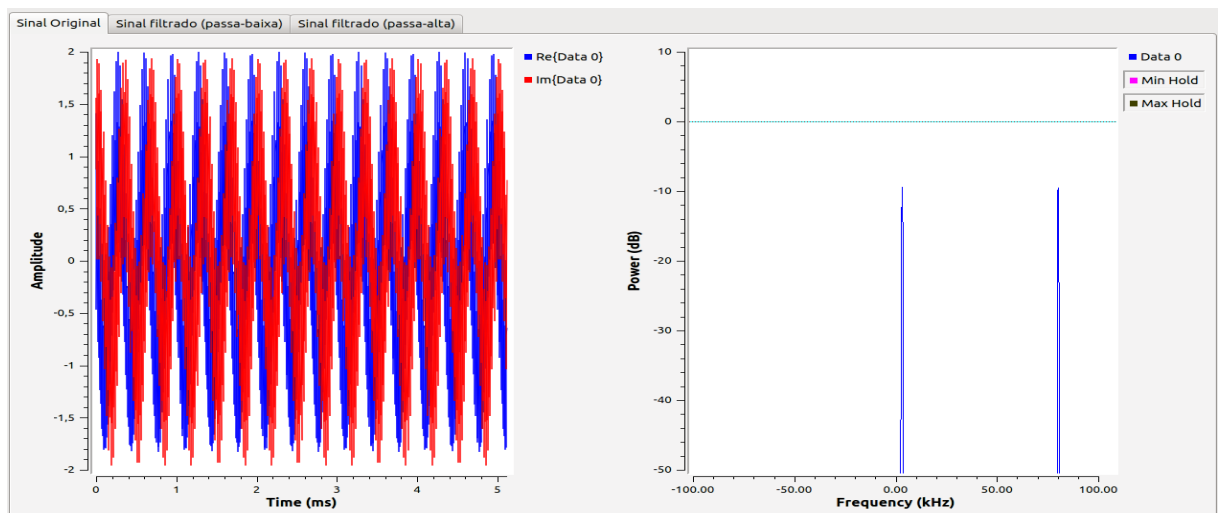
20. Agora configure o último bloco **IIR Filter**. No Filter Design, selecione os seguintes parâmetros: *IIR (scipy)*, *High Pass*, *Digital (normalized 0-1)* e *Elliptic*. *End of Pass Band* igual a 0.40, *Start of Stop Band* a 0.79, *Max loss in Pass Band (dB)* igual a 1 e 100 para *Min atten in Stop Band (dB)*. Os resultados deverão ficar iguais à figura abaixo.



21. Clique na aba *Filter Coefficients* e repita os passos ilustrados no tópico 19 para o segundo bloco.



22. Gere e execute o Flowgraph. Os resultados do projeto final devem ficar semelhantes aos ilustrados a seguir.



23. Analisando os resultados obtidos, conclui-se que os filtros IIR obtiveram melhor desempenho na utilização do filtro passa-alta, comparado com os filtros FIR. Agora repita os experimentos utilizando diferentes tipos de janelas, compare o desempenho dos filtros FIR e IIR para um mesmo número de Taps e veja qual é o mais eficiente para cada situação.