ENTREGA DE PROJETO

Projeto de Bloco: Processamento Digital de Sinais

Instituto Infnet - ESTI - Engenharia da Computação

Christian Rocha

Prof. Mario Cesar Francisco Pego

17/08/2022

Objetivo

Este projeto aborda a filtragem de um sinal de áudio, onde um sinal contendo múltiplas frequências (graves e agudas) é digitalmente processado com auxílio de um filtro passa-baixa e ao final do processo um novo áudio é gerado contendo apenas o sinal com tom mais grave e frequência mais baixa.

Foi utilizado digitalmente para auxílio do processamento, um analisador de espectro para conhecer os componentes harmônicos do sinal, sendo estes componentes caracterizados por frequências e amplitudes diferentes espalhadas no espectro de frequência do sinal em estudo.

No quesito de filtragem, o filtro digital utilizado foi do tipo FIR (*Finite Impulse Response* ou Resposta ao Impulso Finita), caracterizado pelo sinal de entrada usando um filtro passa baixa, que elimina as componentes de alta frequência no espectro da frequência de entrada. Este filtro é chamado de Anti-Aliasing pois previne as distorções conhecidas como Aliasing, que no escopo acústico é uma distorção estática resultante da digitalização abaixo dos 40 quilohertz (kHz).

Todas as operações foram executadas com auxílio do *Octave 7.1.0*.

Teoria

Os sinais senoidais de 150, 500 e 1.000 Hertz (Hz) foram gerados no *Octave* através da função *sine.m* (Figura 1) disponível na pasta *src* do Projeto. Foi aplicado o efeito de fade in e fade out na geração das senoides. Fade, em engenharia acústica, é o aumento ou diminuição gradual do nível de um sinal de áudio. Esta técnica contribuiu para o sinal sobreposto ter Aliasing.

Após, foi utilizado o software *Audacity 3.1.3* para realizar o *overlay*, técnica utilizada para sobreposição de faixas de áudio para tornar possível a audição de mais de uma faixa de áudio simultaneamente. O resultado (Figura 2) foi um único sinal acústico de cinco segundos com as três frequências acima sobrepostas.

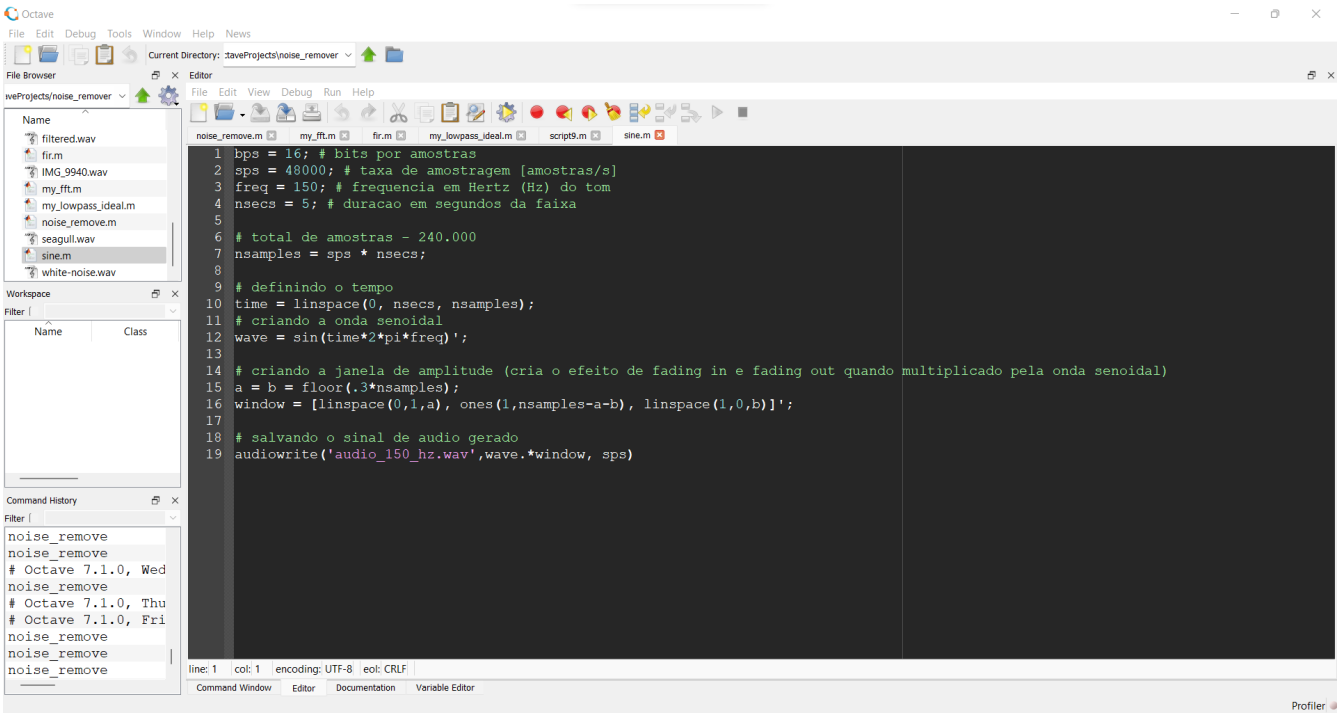

Figura 1 – Geração dos sinais senoidais.

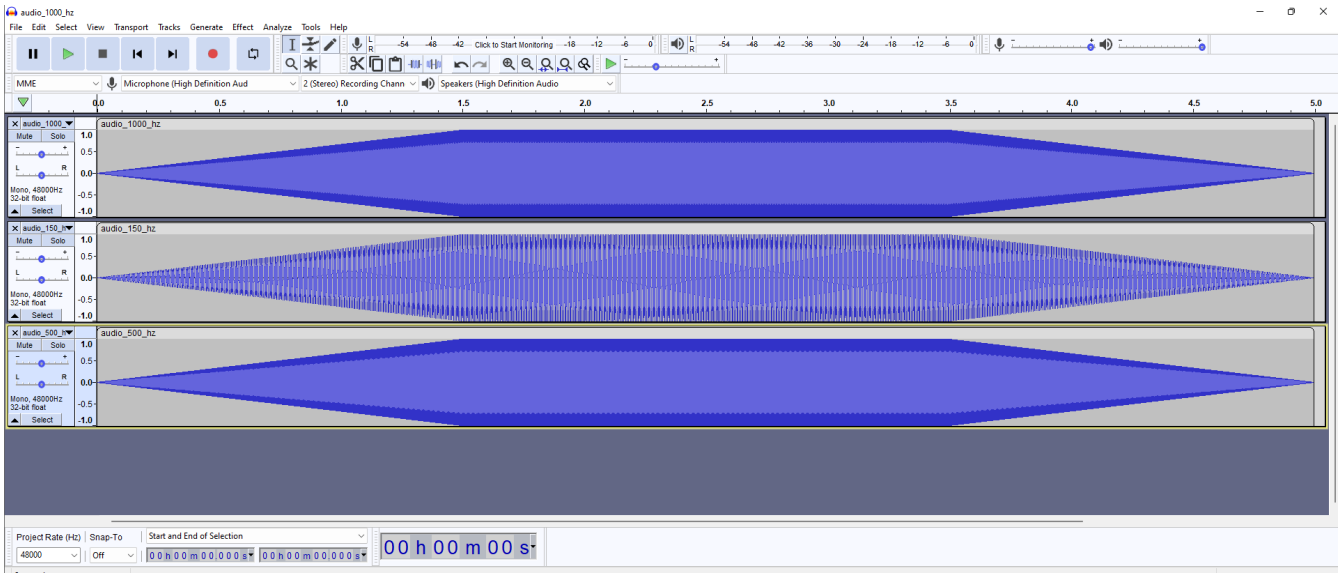

Figura 2 – Overlay das frequências em software.

Os três sinais são idênticos na maior parte de suas características (amostras, bits e duração), diferem-se apenas no valor da frequência. O formato hexagonal é resultante do processo de fading aplicado no processo de geração do sinal.

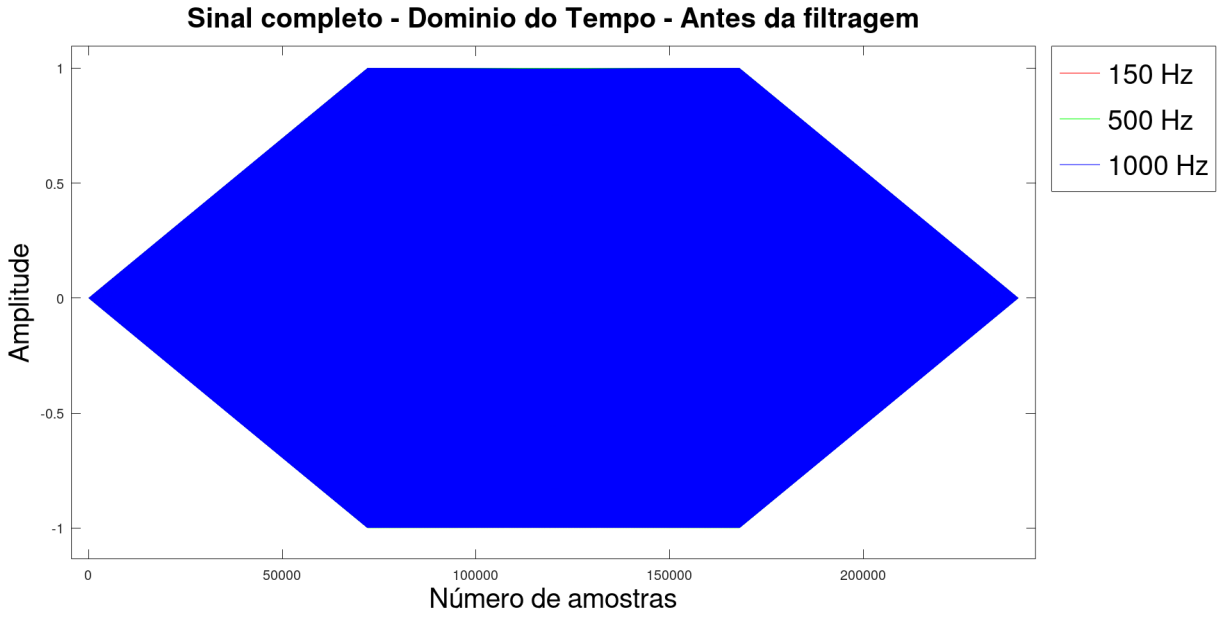

Figura 3 – Sinal completo contendo as três senoides.

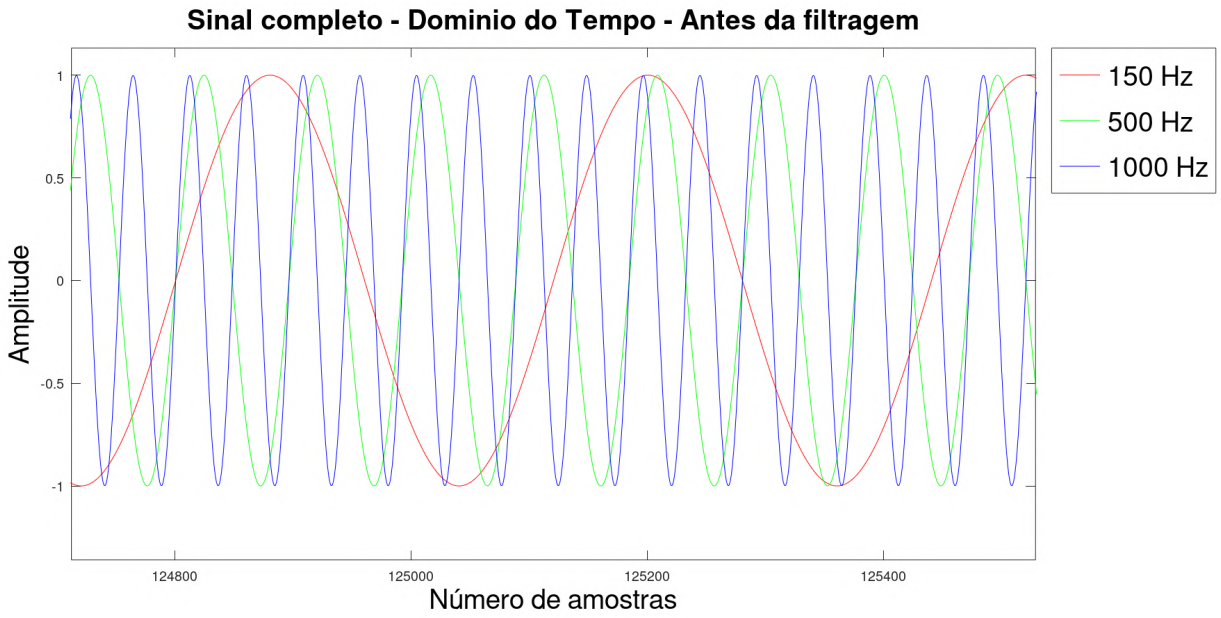

Figura 4 – Hamming do sinal completo contendo as três senoides.

Acima os sinais encontram-se na representação do domínio do tempo, dando a amplitude do sinal no instante de tempo escolhido. No domínio da frequência, separam-se conceitualmente as senoides que formam o sinal em espectros para aplicar o filtro desenvolvido neste projeto para remover os ruídos desejados.

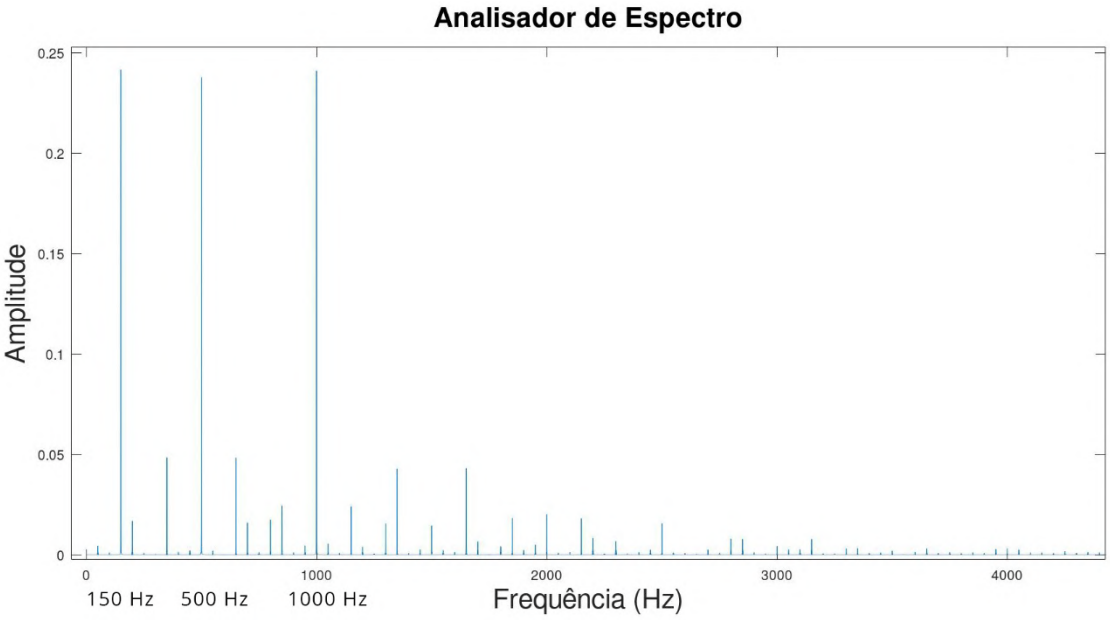

Figura 5 – Representação espectral antes da filtragem.

Para observar o sinal no âmbito espectral, é necessário processar o sinal em um analisador de espectro, o sinal digital será tratado no Octave com a utilização da FFT (Fast Fourier Transform - Transformada Rápida de Fourier), para ser depois apresentando graficamente. O analisador de espectros é um instrumento utilizado para a análise de sinais alternados no domínio da frequência.

Na representação espectral, nota-se que as três principais frequências estão claramente representadas, porém é observado que outras frequências intermediarias também aparecem na análise até aproximadamente ao intervalo de 10 kHz, junto a frequências irrelevantes com baixíssima amplitude que se estendem ao longo do espectro que também compõem o ruído no sinal a ser filtrado.

O teorema de Nyquist foi atendido pois 1.000 Hz é a maior frequência do sinal e como o sinal foi amostrado em 48.000 amostras por segundo tem-se ao final 240.000 amostras, a quantidade mínima de amostras necessária para atender a esta máxima seria o dobro da maior frequência no valor de 2.000 amostras. De fato, está tendo um valor de amostragem maior que o mínimo para o estudo.

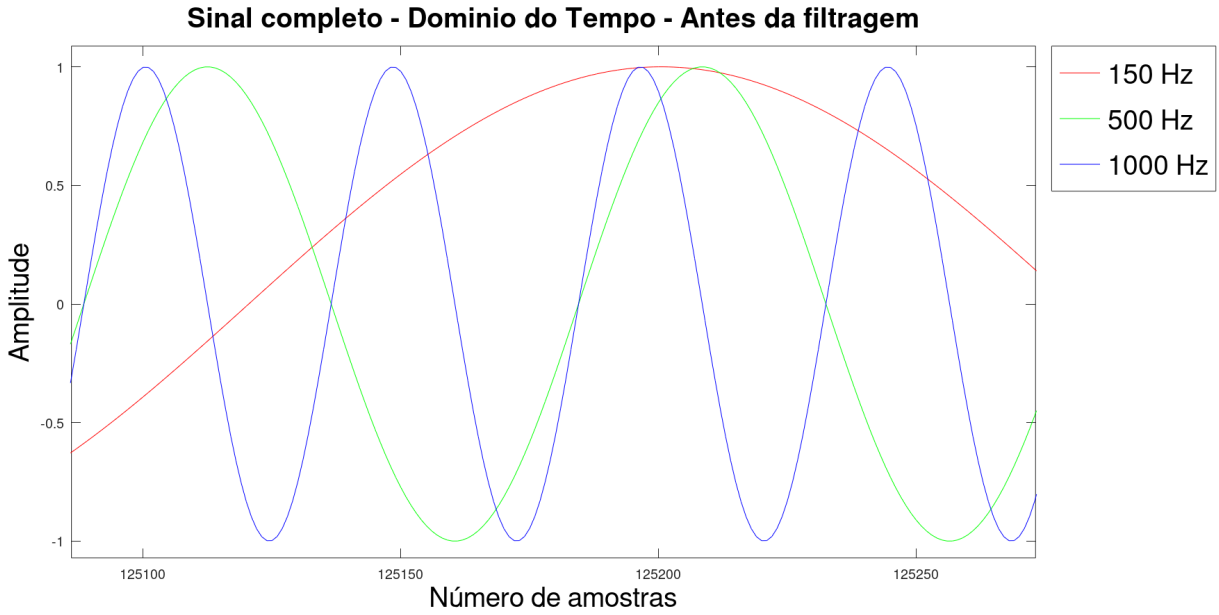

Figura 6 – Aliasing no sinal completo.

Em conformidade com o explicado previamente e a Figura 6, o sinal original possui Aliasing, principalmente no intervalo de 500 a 1.000 Hz. O formato hexagonal do sinal e a aplicação do efeito de fading também confirmam e atenuam o mesmo.

Código

Dentro da pasta *src*, tem-se:

- firtro.m

  Script principal e responsável por chamar as demais funções que auxiliam a filtragem do sinal de entrada. A função recebe o sinal de áudio a ser filtrado, mostra os gráficos no domínio do tempo e da frequência, chama a função de análise espectral por FFT e o filtro de passa-baixa, realiza normalização das frequências, multiplicar os vetores gerados, define a frequência de corte, passagem e transição, corte e intermediaria, calcula a janela de hamming e realiza a convolução dos sinais, e ao final salva o arquivo de áudio.

- my_fft.m

  Função responsável por realizar a análise espectral do sinal e transformá-lo do domínio do tempo para o domínio da frequência. Através das variações, cálculo da FFT e frequência central, ela realiza a transformação tornando possível analisar o espectro no novo domínio.

- my_lowpass_ideal.m

  Neste passo é realizado a filtragem no escopo de passa-baixa no sinal. As rotinas contidas neste script são responsáveis por filtrar o sinal de entrada e permitir passar apenas as frequências no intervalo de 100 até 200 Hz.

- sine.m

  Função geradora dos sinais senoidais, recebendo os parâmetros que estarão contidos em cada sinal, ela também inclui o efeito de fading nos áudios e salva-os ao final.

Resultado

Foi obtido um resultado excelente. A filtragem passa-baixa foi aplicada corretamente e o analisador de espectro claramente mostra isso. As frequências que permaneceram no sinal foram exatamente as que possuem seu valor compreendido no intervalo de 100 a 200 Hz. Observa-se na análise espectral da Figura 7 um pequeno pico no espectro em 50 Hz, porém não é visto nenhuma interferência significativa a ponto de classificá-la como um ruido.

É comum ter alguns picos de amplitude diferentes do formato capsular na Figura 7 e pulsos elétricos fora do intervalo filtrado na análise espectral mostrado na Figura 8. Isso é devido ao efeito de Ripple que foi gerado pelo filtro durante a aplicação. O filtro passa-baixa por se tratar de um filtro capacitativo, ou seja, que possui a finalidade de filtrar efeitos das harmônicas e assim reduzir variações de tensão e corrente de altas frequências, gera no processo de eliminar uma tensão alternada pulsativa e uma (tensão contínua) que varia menos, causando o efeito de Ripple.

Pode-se notar na Figura 9 as três ondas dentro da faixa espectral utilizada no filtro, percebe-se a remoção do Aliasing no sinal resultante. As diferentes ondas presentes não são consideradas como Aliasing. Elas são componentes do sinal e não geram nenhum tipo de interferência no mesmo, sendo consideradas ondulação normal do sinal referente a faixa espectral filtrada no processo.

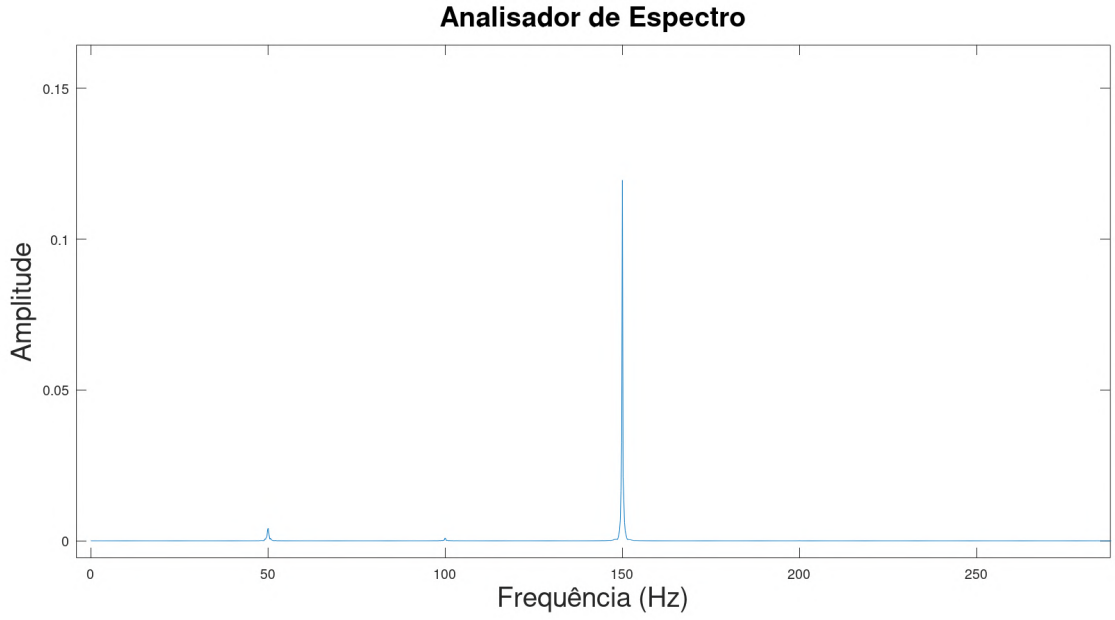

Figura 7 – Representação espectral depois da filtragem.

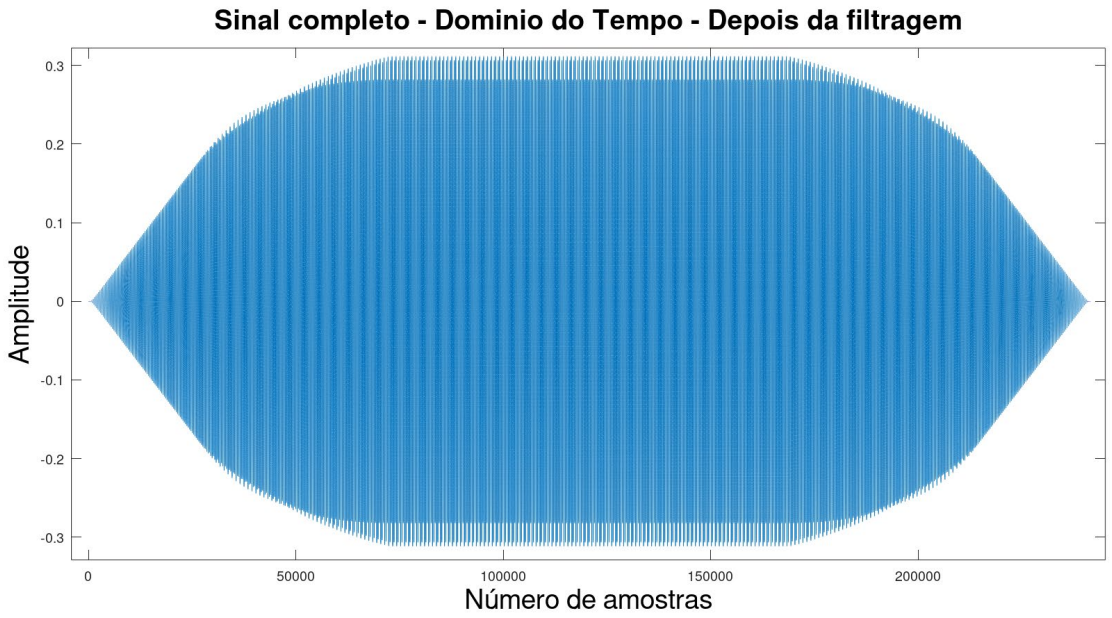

Figura 8 – Representação espectral depois da filtragem.

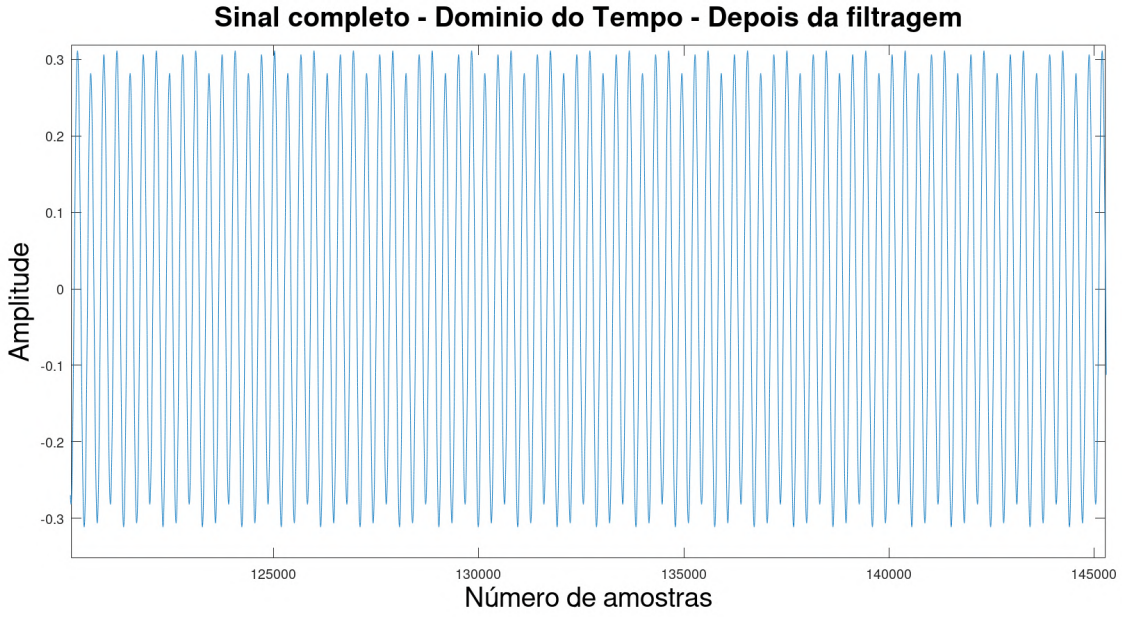

Figura 9 – Zoom na representação espectral depois da filtragem.

Estrutura

- Código: Localizado na pasta src da raiz do projeto.
- Áudios: Localizado na pasta assets da raiz do projeto.