INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina
Câmpus
São José

Modelo COM1

Sistemas de Comunicações I

Gabriel Luiz Espindola Pedro

18 de Março de 2024

Sumário

1. Introdução

O trabalho tem como objetivo a análise e manipulação de sinais no domínio do tempo e da frequência utilizando linguagens de programação e ferramentas para simulação das características e comportamento da interação de sinais em sistemas de comunicação.

Foi utilizada a linguagem de programação Python juntamente com Jupyter Notebook para a descrição e simulação dos sinais. Os pacotes utilizados em Python foram Numpy, para manipulação de vetores e materiais matemáticos, Matplotlib, para a geração de gráficos e SciPy para a análise de sinais.

2. Fundamentação teórica

A fundamentação teórica do trabalho é baseada em sinais e sistemas, onde sinais são funções de uma ou mais variáveis independentes, e sistemas são entidades que manipulam sinais. A análise de sinais e sistemas é uma área fundamental para a compreensão de sistemas de comunicação, pois permite a análise de sinais em diferentes domínios, como o domínio do tempo e da frequência.

Foi utilizado o conceito de transformada de Fourier para a análise de sinais no domínio da frequência. A transformada de Fourier é uma ferramenta matemática que permite a análise de sinais no domínio da frequência, ou seja, permite a decomposição de um sinal em suas componentes de frequência. Como algoritmo foi utilizada a transformada rápida de Fourier (FFT), que é uma implementação eficiente da transformada de Fourier discreta.

Para realizar uma medição da distribuição de energia de um sinal no domínio da frequência, utilizamos da densidade espectral de potência, pela função `scipy.signal.welch` que realiza o cálculo utilizando o método de Welch, gerando uma aproximação para o valor de densidade espectral.

3. Análise dos resultados

Foi iniciado o experimento criando três cossenos e gerando um sinal que é a composição da soma dos três cossenos. Na coluna da esquerda, temos a representação dos sinais no domínido do tempo, e na coluna da direita, temos a representação dos sinais no domínio da frequência. Sendo os sinais:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= 6\cos(2\pi 1000t) \\ x_2(t) &= 2\cos(2\pi 3000t) \\ x_2(t) &= 4\cos(2\pi 5000t) \end{aligned} \tag{1}$$

$$s(t) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) \tag{2}$$

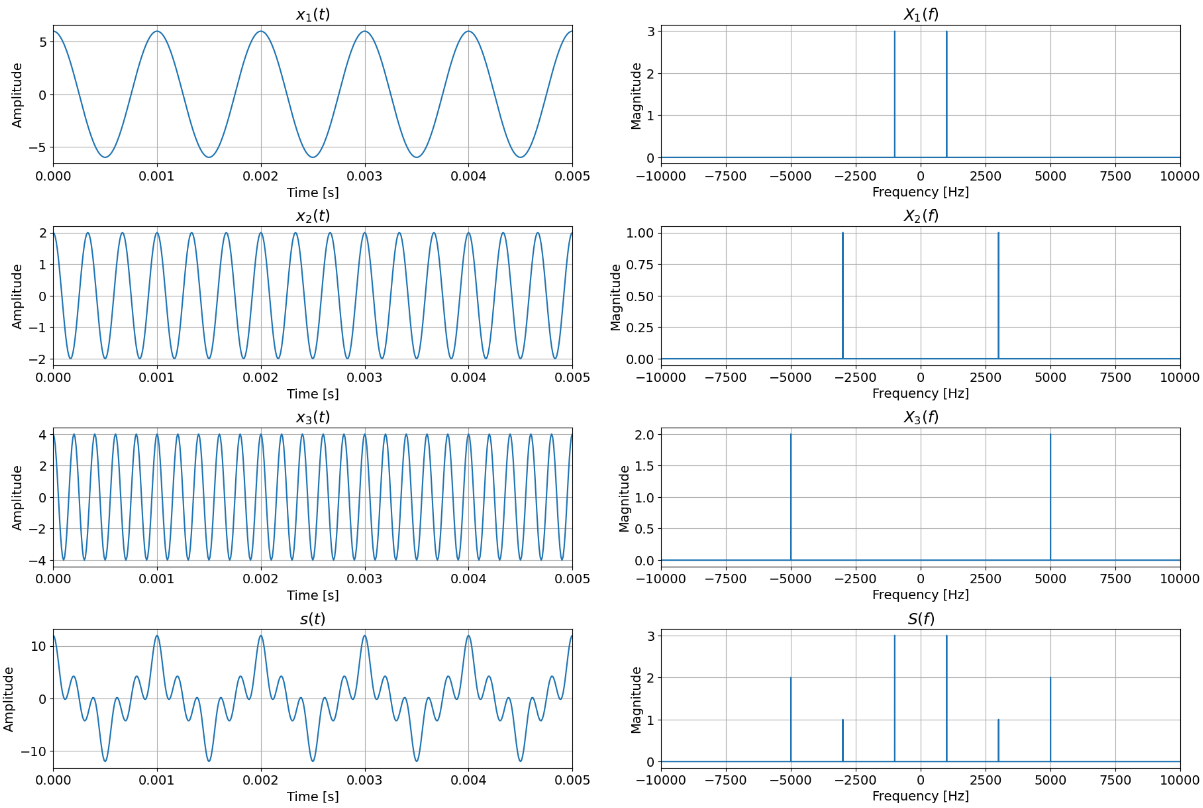

Figura 1: sinais no domínio do tempo e da frequência

Notamos que no domínio da frequência, o sinal é muito mais claro e fácil de ser analisado, pois conseguimos visualizar as componentes de frequência que compõem o sinal.

Calculamos a potência média do sinal utilizando a função `np.linalg.norm` e encontramos um valor de 28, que é a soma do quadrado das amplitudes dos impulsos do sinal analisado na figura anterior.

Utilizando a função `scipy.signal.welch` para calcular a densidade espectral de potência do sinal, encontramos o gráfico que descreve a distribuição de energia do sinal no domínio da frequência, se aproximando do valor esperado.

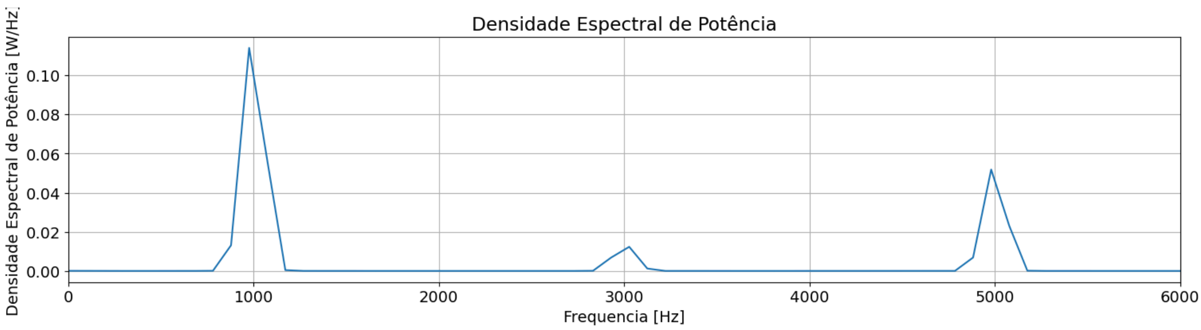

Figura 2: densidade espectral de potência utilizando o algoritmo de Welch

Trabalhando agora com senos foi possível gerar um sinal que se aproxima de uma onda quadrada, porém com poucas harmônicas. A figura a seguir mostra os sinais no domínio do tempo e da frequência:

$$
\begin{gathered}
x_1(t) = 6\sin(2\pi 1000t) \\
x_2(t) = 2\sin(2\pi 3000t) \\
x_3(t) = 1\sin(2\pi 5000t) \\
s(t) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t)
\end{gathered}
\tag{3}
$$

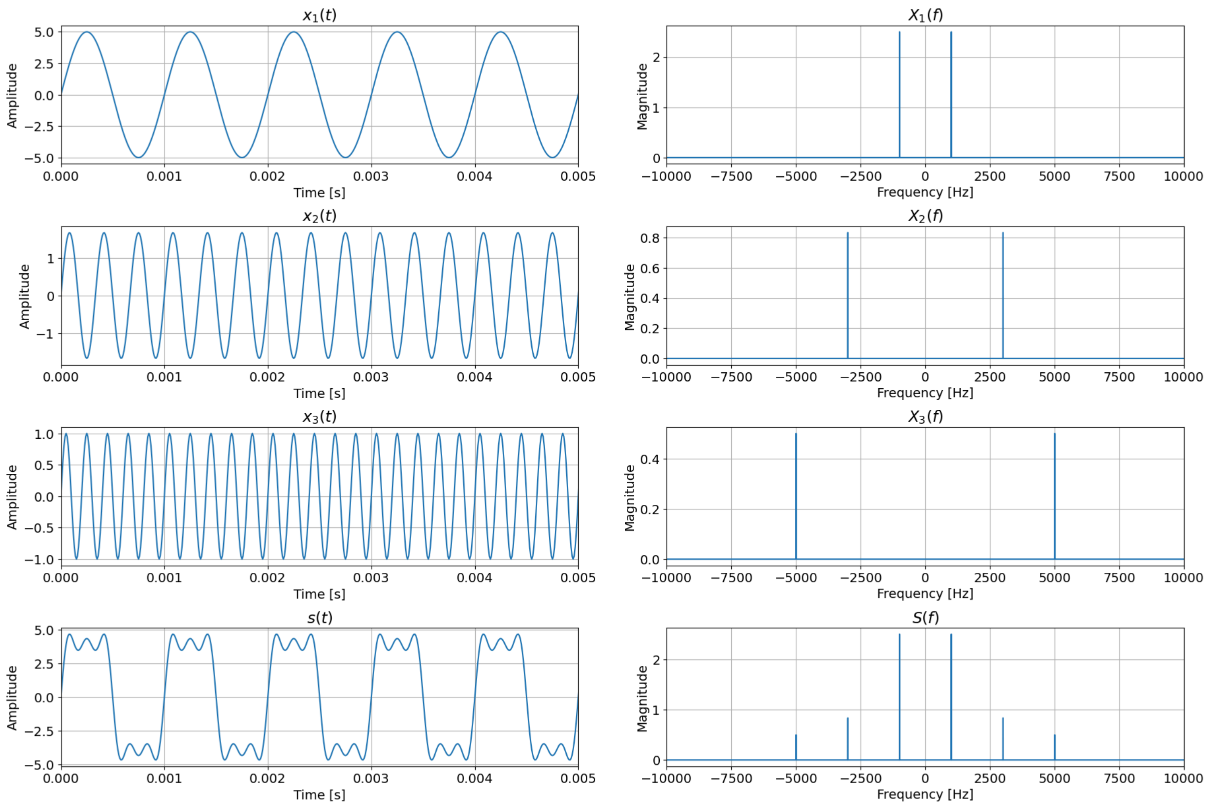

Figura 3: sinais no domínio do tempo e da frequência

Assim como no exemplo foram utilizados os cossenos, é muito mais simples analisar o sinal no domínio da frequência, pois conseguimos visualizar as componentes de frequência que compõem o sinal.

Notamos também que adicionando harmônicas ao sinal, o sinal cada vez mais se aproximaria de uma onda quadrada.

Para retornamos ao sinal origina, geramos por meio de vetores sinais que funcionam como filtros passa-baixa, passa-alta e passa-faixa. A figura a seguir mostra os sinais no domínio da frequência:

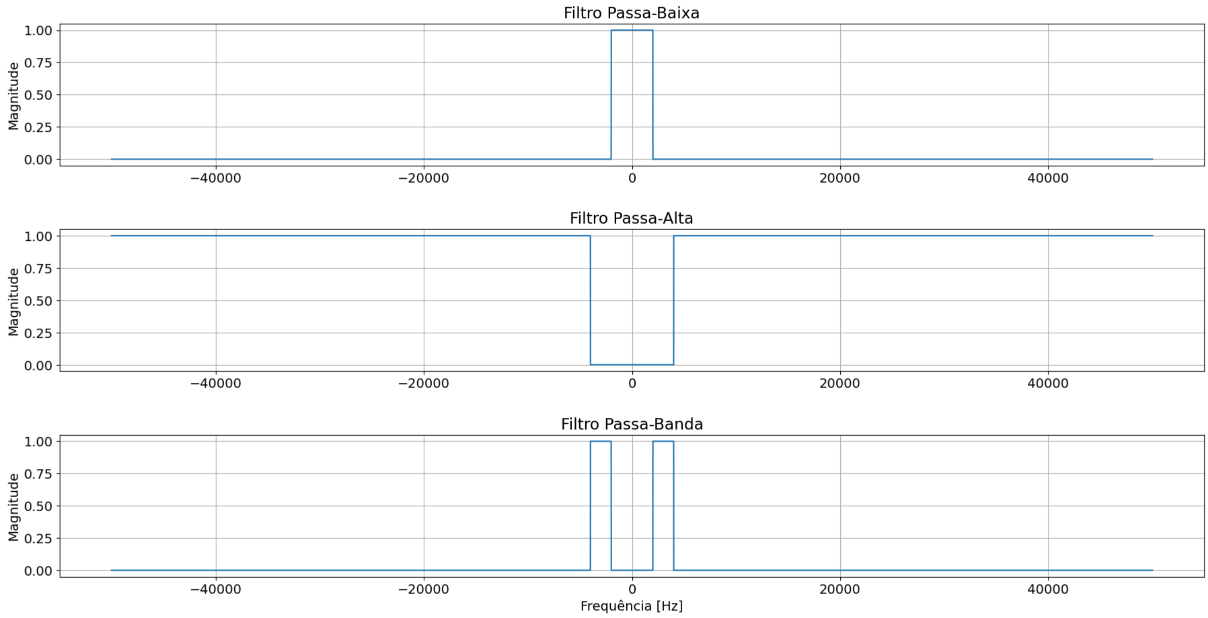

Figura 4: filtros ideais, passa-baixa, passa-alta e passa-faixa

Desta maneira quando multiplicarmos o sinal $s(t)$ composto pelos senso, podemos separa as componentes do sinal original, como mostra a figura a seguir:

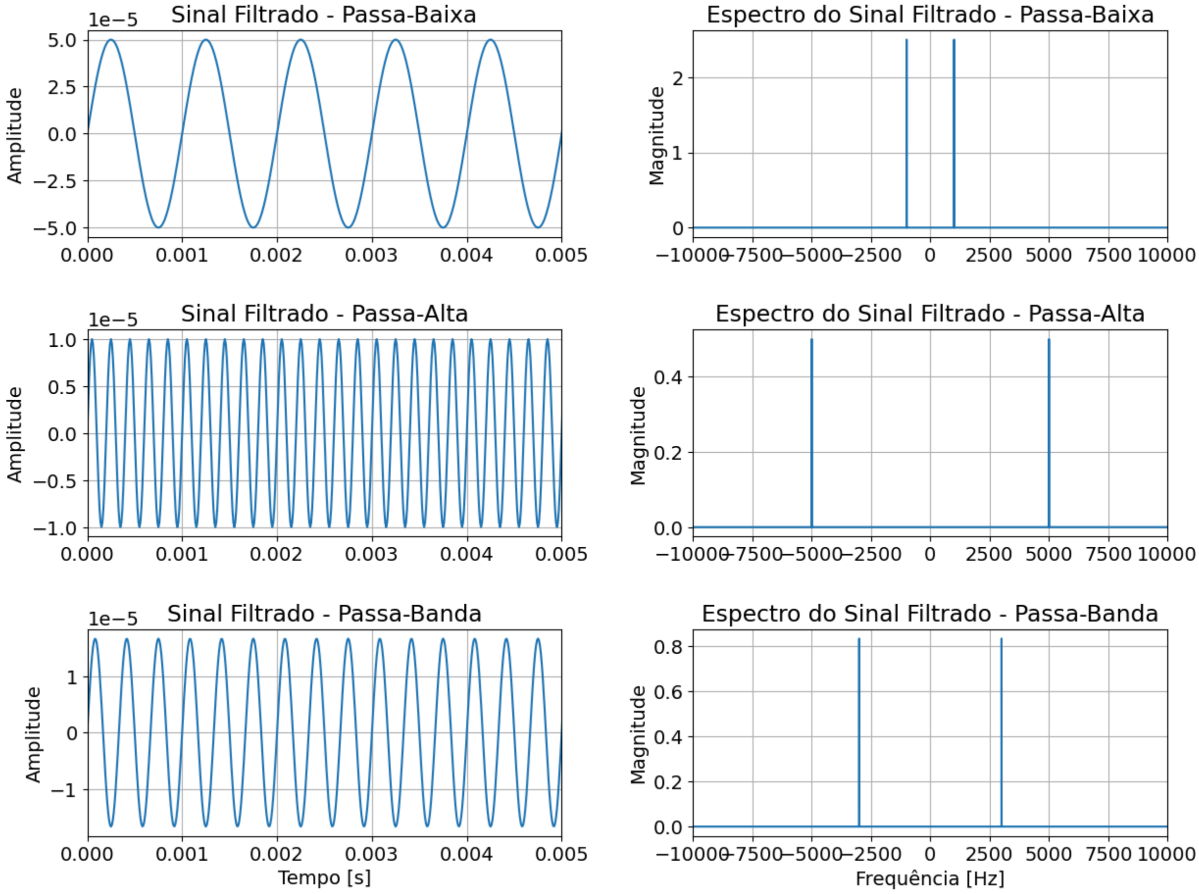

Figura 5: componentes recuperadas do sinal $s(t)$

Com o sinal original filtrado, podemos observar que as componentes do sinal original foram separadas, e que o sinal original foi recuperado.

Por fim foi gerado um ruído e analisado ele a parte. A figura a a seguir mostra um ruido gaussiano gerado utilizando a fução `np.random.normal`:

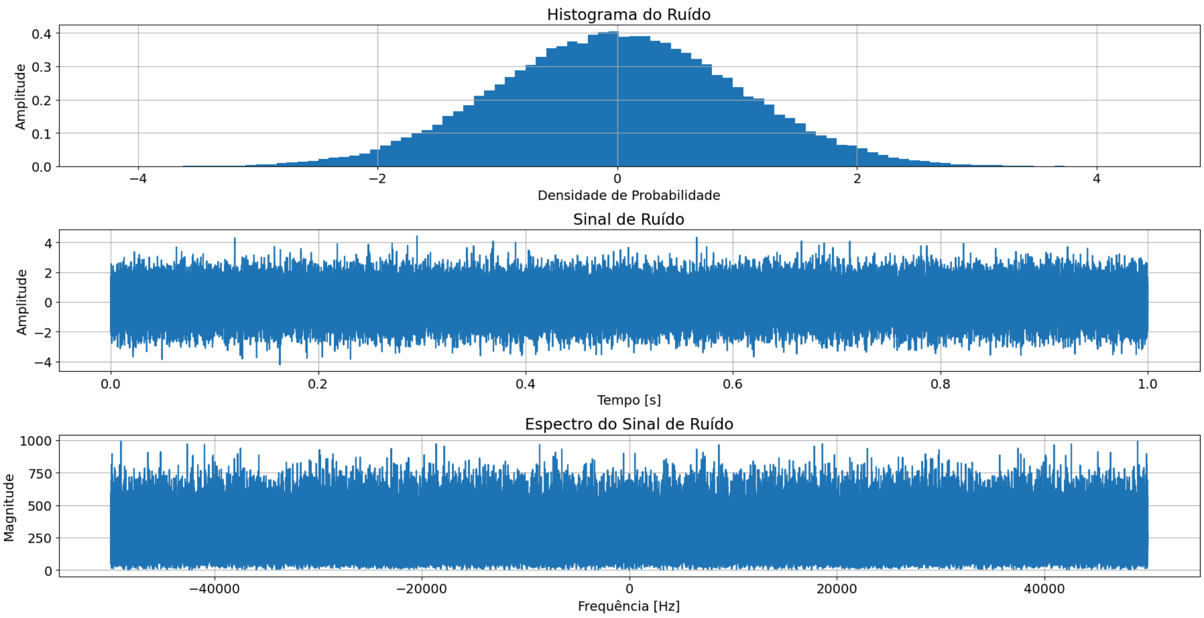

Figura 6: ruído gaussiano

É possível verificar que é um ruído gaussiano analisando o histograma gerado, verificamos que a distribuição do ruído é normal, com média 0 e desvio padrão 1. É notavel também que ele possui componentes em todo o espectro de frequência.

Sua autocorrelação indica que o ruído é branco, ou seja, não possui correlação entre as amostras, apenas quando o ruído se sobrepõe completamente, ou seja em zero na autocorrelação, ele possui um valor que se distancia de zero. A figura a seguir mostra a autocorrelação do ruído:

Figura 7: Autocorrelação do ruido

Para filtrar o ruído, foi utilizado um filtro FIR, que é um filtro de resposta finita ao impulso. A figura a seguir mostra o filtro FIR de ordem 50 e frequência de corte de 1 kHz:

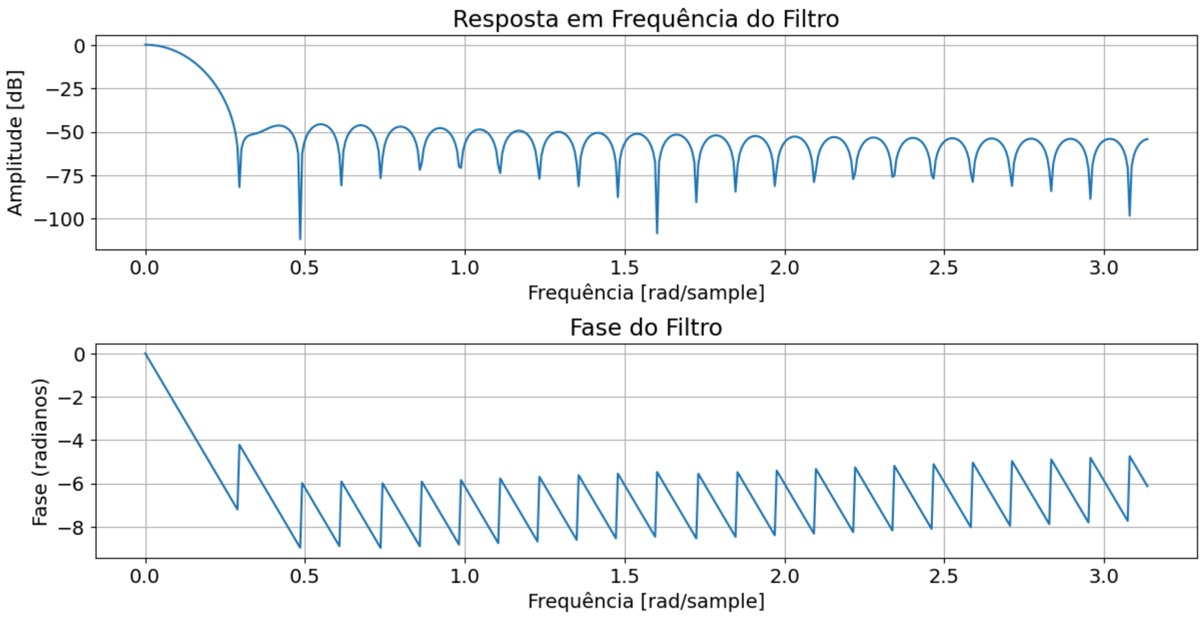

Figura 8: filtro FIR

Ao ser aplicado este filtro ao ruído, verificamos uma diminuição das componentes de alta frequência no espectro de frequência e um estreitamento da distribuição gaussiana.

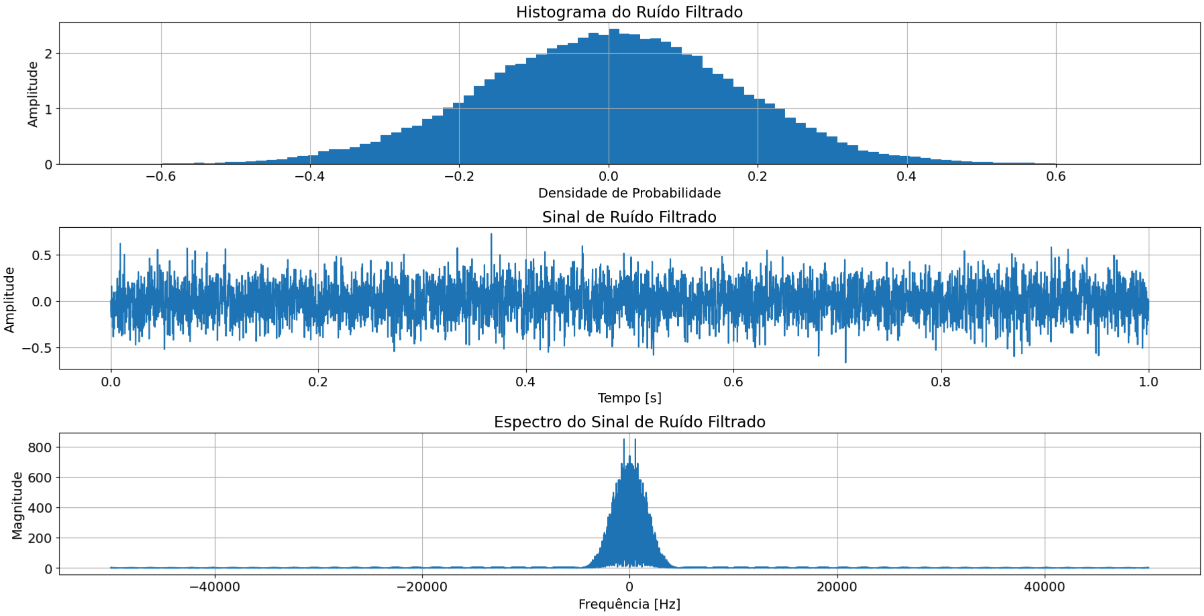

Figura 9: ruído filtrado

4. Conclusões

Realizada a análise é possível verificar que a recuperação de sinais no domínio da frequência é muito mais simples e eficiente do que no domínio do tempo, pois conseguimos visualizar as componentes de frequência que compõem o sinal.