

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**LUCAS ANJOS DA SILVA  
00329736**

**ENG04477 – Processamento Digital De Sinais  
Tarefa 05: Amostragem**

**Porto Alegre  
2025**

## 01. INTRODUÇÃO

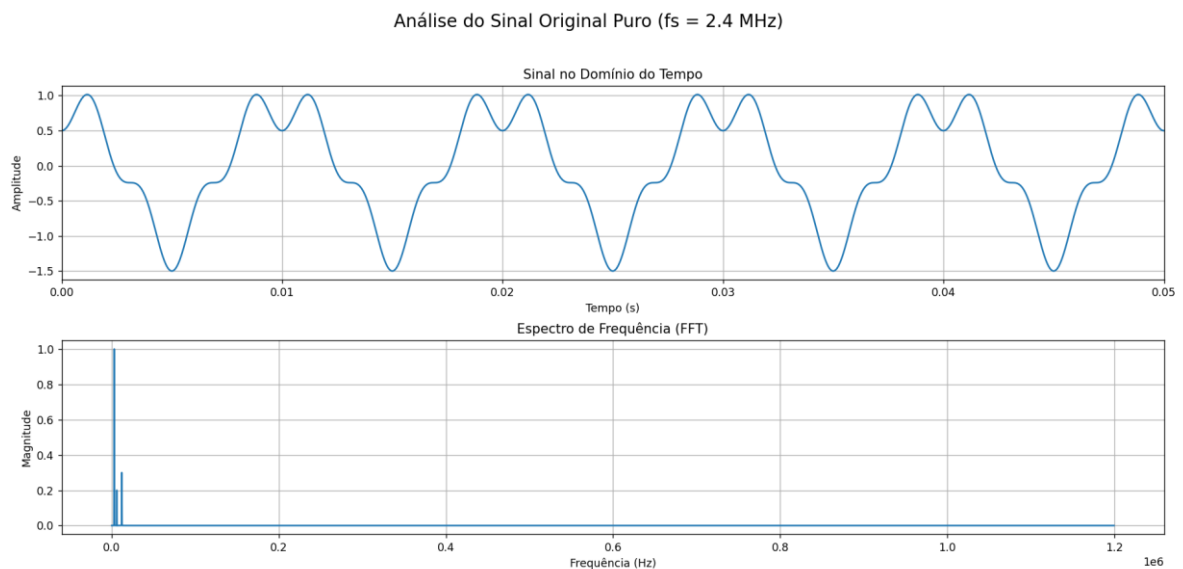
Este documento tem como finalidade apresentar a solução proposta pelo aluno ao problema apresentado na Tarefa 5 da disciplina ENG04477- Processamento Digital de Sinais. A tarefa proposta pelo professor tem como objetivo a análise dos efeitos da diminuição da taxa de amostragem de um determinado sinal

## 02. ANÁLISE DE SUBAMOSTRAGEM

O caso analisado nessa tarefa será o rebatimento de um ruído para baixas frequências ao amostrar um sinal de 3kHz, iniciando com uma frequência de 2.4MHz de frequência de amostragem, descendo até 2kHz.

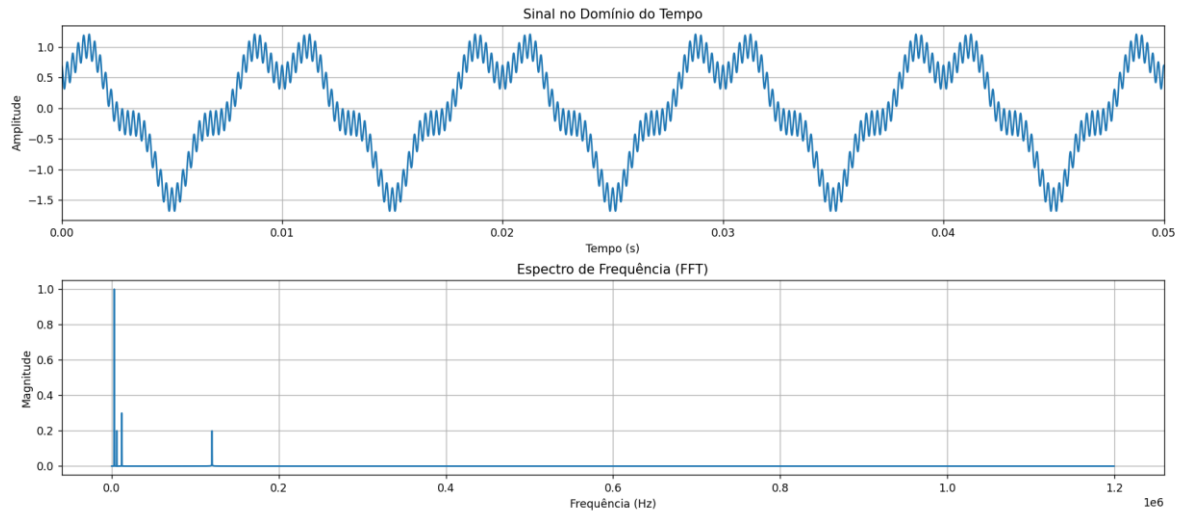
Abaixo está a representação dos sinais e suas respectivas FFT:

### 2.1 Sinal Original



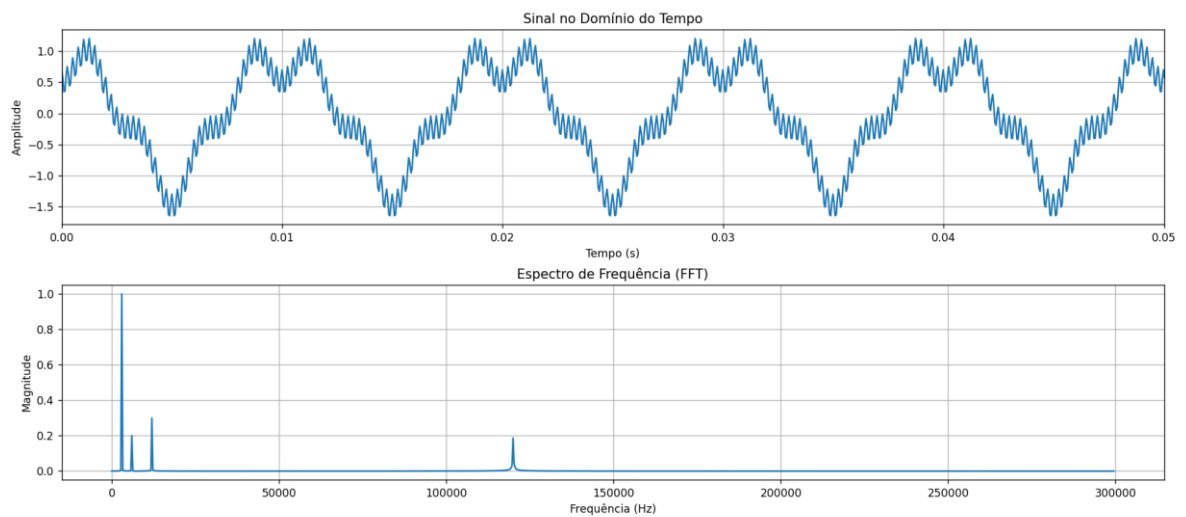
## 2.2 Sinal com Ruído

Análise do Sinal com Ruído ( $f_s = 2.4 \text{ MHz}$ )

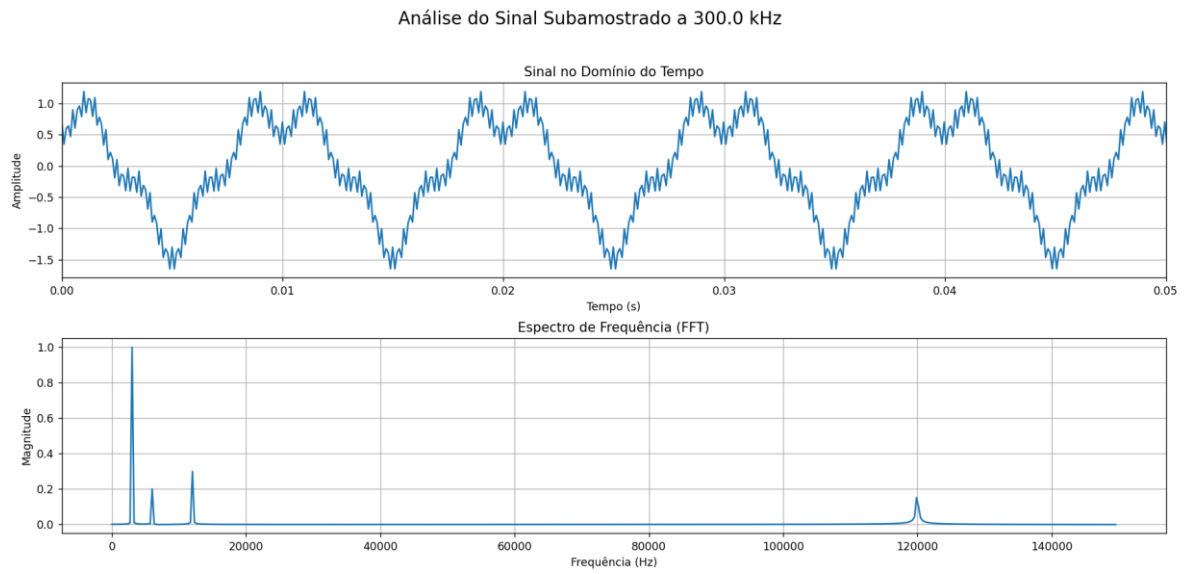


## 2.3 Sinal com Ruído subamostrado a 600 kHz

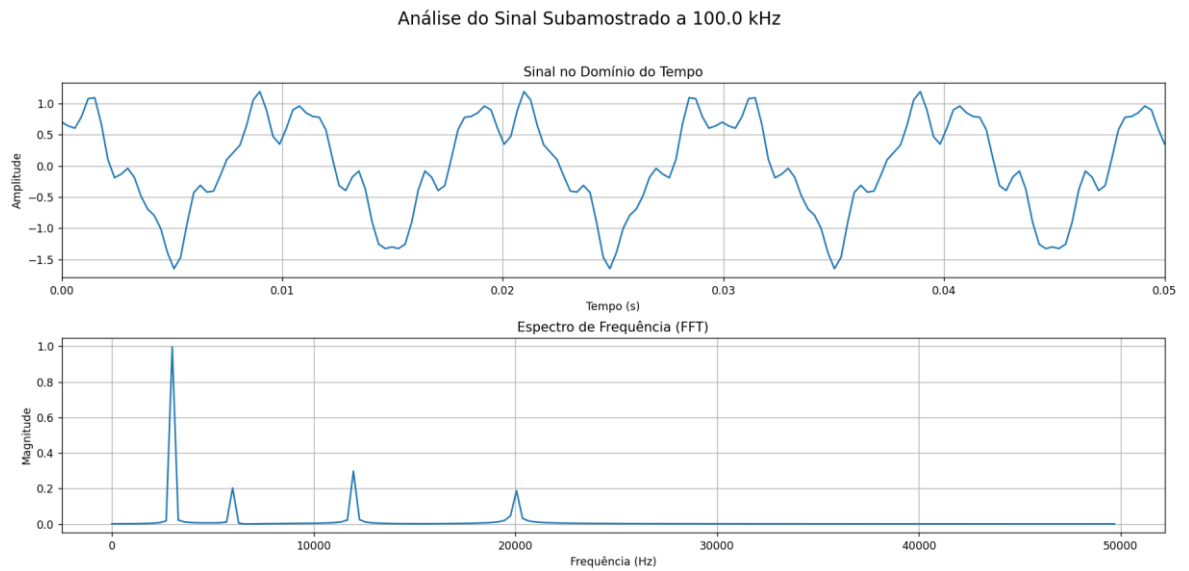
Análise do Sinal Subamostrado a 600.0 kHz



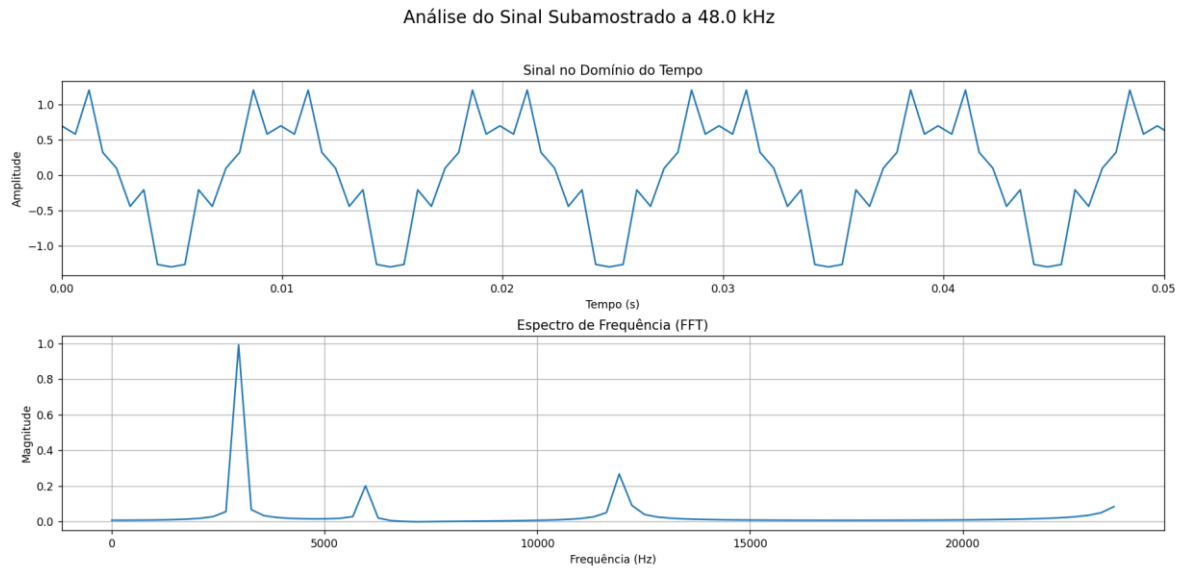
## 2.4 Sinal com Ruído subamostrado a 300 kHz



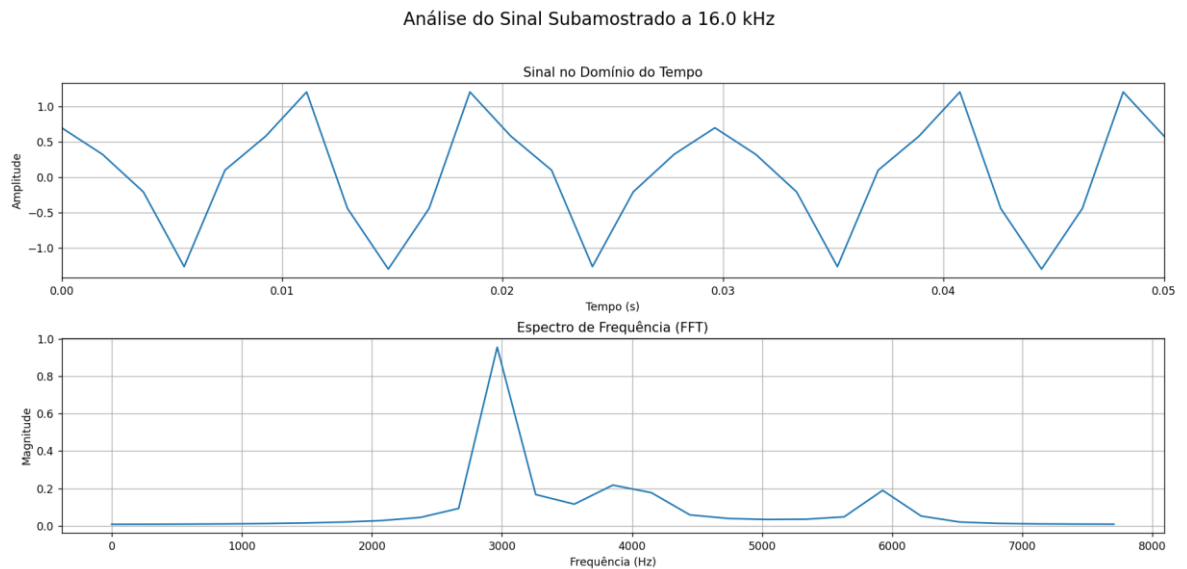
## 2.5 Sinal com Ruído subamostrado a 100 kHz



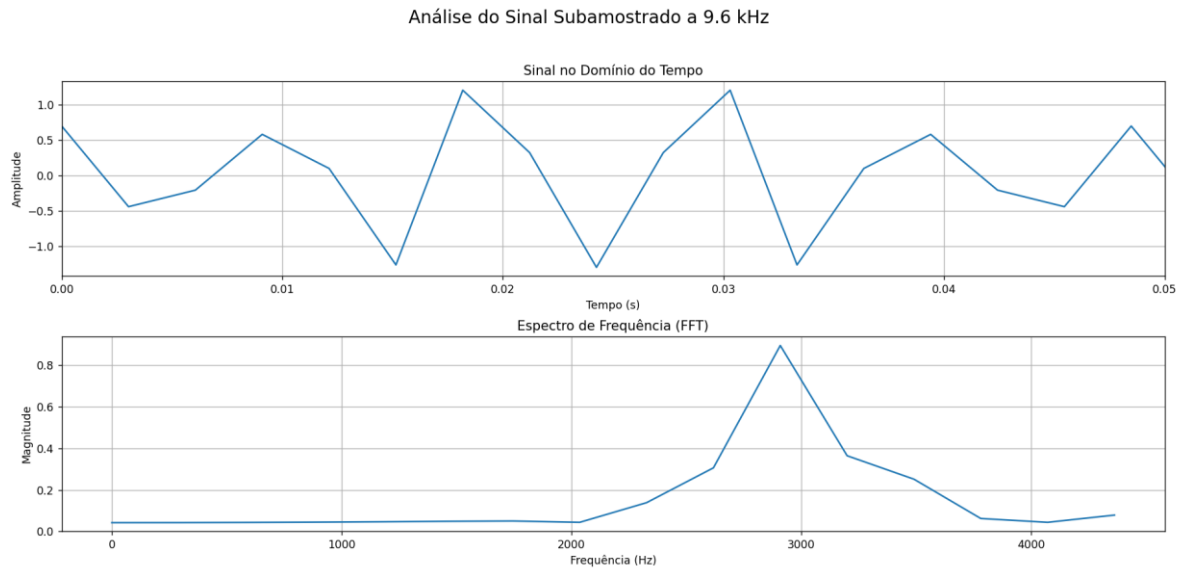
## 2.6 Sinal com Ruído subamostrado a 48 kHz



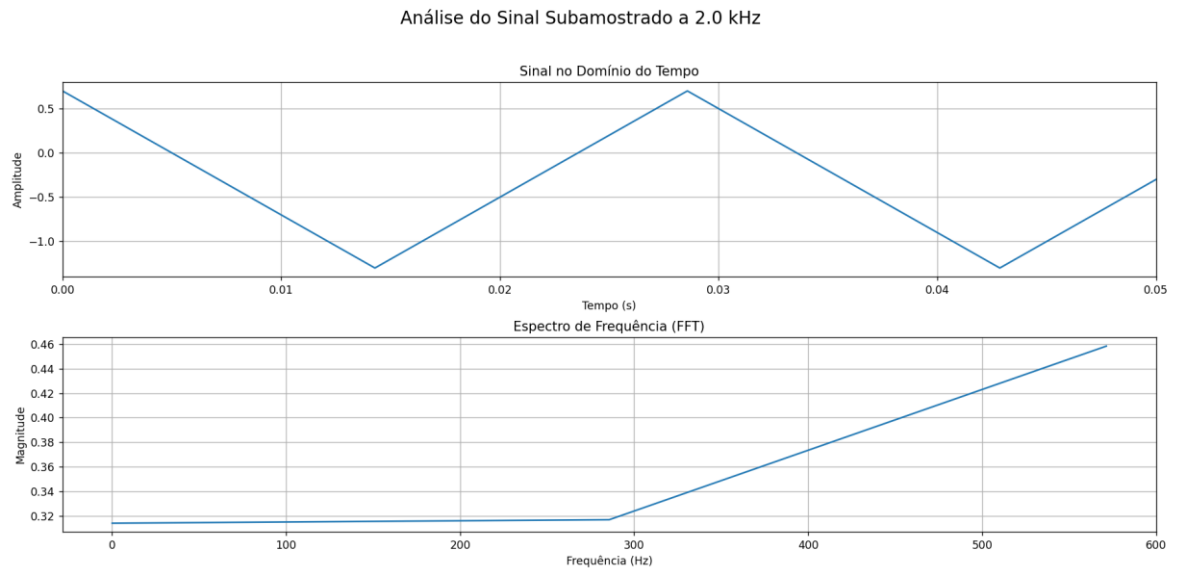
## 2.7 Sinal com Ruído subamostrado a 16 kHz



## 2.8 Sinal com Ruído subamostrado a 9.6 kHz



## 2.9 Sinal com Ruído subamostrado a 2 kHz



## 2.10 Análise dos resultados

Observando os gráficos, percebe-se que o ruído começa a influenciar o sinal original a partir da subamostragem de 100kHz, quando é rebatido para uma frequência mais baixa por sofrer Aliasing.

Conforme diminuimos a frequência de amostragem, a frequência do ruído vai se aproximando cada vez mais do sinal original, chegando a sobrepor as harmônicas em 48kHz e sobrepor o próprio sinal em 9.6kHz.

## 3. CÁLCULO DA MSE

A MSE foi calculada comparando a subamostragem do sinal ruidoso com a subamostragem do sinal original, sem ruído, a partir da equação abaixo:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (sinal_{puro_i} - sinal_{ruidoso\ subamostrado_i})^2$$

Taxa de subamostragem	MSE
600 kHz	0.020009
300 kHz	0.020019
100 kHz	0.020048
48 kHz	0.04
16 kHz	0.04
9.6 kHz	0.04
2 kHz	0.04