



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Processamento Digital de Sinal

## Relatório Projeto

# Diminuição da Frequência de amostragem de um sinal por meios Digitais – Modelo de Decimação

Curso: Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

Unidade Curricular: Processamento Digital de Sinal

Docente: Carlos Manuel Gregório Santos Lima

Realizado por: César Gonçalo Macedo Melo

Filtro utilizado: Janela de Kaiser



## Índice

Introdução .....	3
Fundamentos Teóricos .....	4
Implementação .....	7
Conclusão: .....	12



## Introdução

Este trabalho foi proposto no âmbito da Unidade Curricular de Processamento Digital de Sinal, sob a orientação do professor Carlos Lima, com a finalidade da implementação de um módulo capaz de diminuir a frequência de amostragem por meios digitais, evitando, desta forma, a ocorrência do fenómeno de Aliasing.

De forma a combater este acontecimento prejudicial, recorreu-se à técnica designada por “Downsampling” ou modelo de decimação, com a eliminação de zeros, ao reduzir a taxa de amostragem do sinal gerado.

Para isso, foi utilizado um filtro FIR, mais detalhadamente a Janela de Kaiser, de forma de resolução do problema proposto.



## Fundamentos Teóricos

### Filtro Passa Baixo

Os filtros passa-baixo permitem a passagem de sinais de baixas frequências, atenuando ou reduzindo sinais com amplitude superior à frequência de corte.

São constituídos por três bandas de frequência distintas: Banda Passante, Banda de Transição e Banda de Corte:

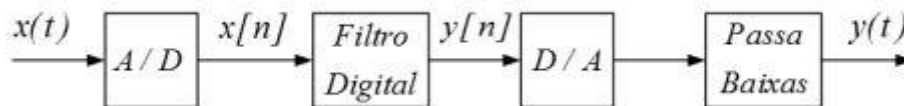
- ➔ **Banda Passante** – Ou PassBand, corresponde às frequências do sinal de entrada, que passam para a saída sem atenuação ou com ligeira atenuação;
- ➔ **Banda de Corte** – Ou StopBand, corresponde à gama de frequências do sinal de entrada que são rejeitadas pelo filtro;
- ➔ **Banda de Transição** – Zona intermédia entre as duas bandas anteriores, sendo que, nesta zona, o comportamento do filtro varia entre a atenuação ligeira e a rejeição do sinal de entrada.

De forma a garantir que os filtros apresentem uma característica bem definida na banda de transição, é comum a utilização de filtros de ordem elevada.



## Filtros Digitais

A filtragem de sinais pode ser efetuada de forma digital, conforme é mostrado na figura abaixo:



O bloco conversor A/D converte um determinado sinal contínuo de entrada  $x(t)$ , numa sequência  $x[n]$ .

No próximo passo, esta função discreta é processada digitalmente por um filtro, dando origem a uma outra sequência  $y[n]$ , representando a função inicial  $x[n]$ , na forma digital correspondente.

Mais tarde, esta nova sequência é convertida novamente para um sinal contínuo, através de um conversor D/A e, finalmente, reconstruída através de um filtro passa-baixo, cuja saída final é o sinal  $y(t)$ , que representa a versão filtrada do sinal inicial  $x(t)$ .

## Filtro Fir

Também designado por filtro de resposta ao impulso finito, sendo que, ao contrário dos filtros IIR (de resposta infinita), é um tipo de filtro digital cuja resposta ao impulso é tornada nula após um certo tempo finito.

Este filtro apresenta a função de transferência discreta:

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^M a_k z^{(M-k)}}{z^M}$$



## Filtro Janela de Kaiser

O filtro utilizado no desenvolvimento deste trabalho foi o de Janela de Kaiser, definido pela expressão:

$$w(n) = \begin{cases} \frac{I_0\left(\beta\sqrt{1-\left(\frac{n-\alpha}{\alpha}\right)^2}\right)}{I_0(\beta)} & 0 \leq n \leq L-1 \\ 0 & n < 0 \text{ ou } n \geq L, \end{cases}$$

Sendo o parâmetro L o comprimento da resposta impulsiva do filtro que se pretende projetar.

A função  $I_0$  é a função de Bessel modificada de primeira espécie de ordem zero, cuja série de Taylor é representada:

$$I_0(x) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left[ \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^k}{k!} \right]^2.$$

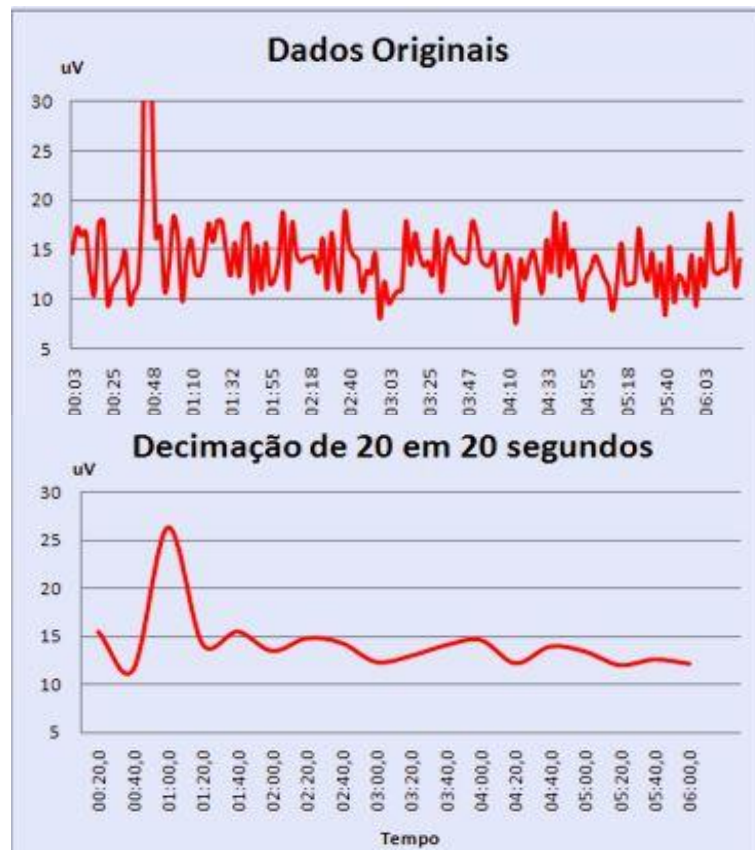
## Modelo de Decimação

Em processamento digital de sinal, a decimação (ou DownSampling), é um processo de redução da frequência de amostragem de um sinal, de acordo com um fator de decimação D (inteiro).

Se um sinal  $x[n]$  for simplesmente amostrado, iria dar origem a uma forte distorção, sendo então necessário, primeiramente, remover com um filtro passa-baixo a banda superior do sinal, a  $\pi/D$ .

Abaixo encontra-se um exemplo de um sinal original, bem como, o mesmo, sujeito ao processo de decimação, com a redução do número de amostras retiradas.

O processo de “DownSampling”, por si só, faz com que sinais de alta frequência sejam sobrepostos por outras informações (fenómeno de Aliasing). De forma a combater este problema, é precisamente aplicado, neste caso, o Filtro de Kaiser, que funciona como filtro anti-aliasing.



## Implementação

Numa primeira fase, é feita uma gravação áudio durante 3 segundos, de forma a ser gerado um sinal de entrada que, mais tarde, vai ser sujeito ao processo de decimação.



```
gravacao = audiorecorder (8000,8,1); % 8000 Hz, 8-bit, 1-channel
disp('Inicio da gravacao.')
recordblocking(gravacao, 3);
disp('Fim da gravacao.');
```

```
audio_gravado = getaudiodata(gravacao);
plot (audio_gravado);
```

De seguida, são definidos os parâmetros a serem utilizados, de maneira a originar o filtro com as especificações pedidas no enunciado. Os limites da banda de transição utilizados foram de 2000Hz e de 2400Hz, correspondendo a uma largura da banda de transição de 20% da Banda Passante.

```
% Parametros para inserir no kaiserord
Sampling_Frequency = 8000; % frequencia de amostragem
Limites_Banda_transicao=[Sampling_Frequency/4 1.2*Sampling_Frequency/4]; % 20% banda passante
mags = [1 0]; % Filtro Passa Baixo
devs = [0.01 0.001]; % Ripple passa banda e atenuação na banda de rejeicao
```

Em último processo, é criado o filtro kaiser com os parâmetros definidos acima, aplicando este ao sinal de áudio gerado no início do programa.

Foi criado um ciclo 'for', de forma a atribuir diferentes valores à Banda Passante e, gerar o DownSampling do sinal original, sendo que, à medida que o valor de 'i' aumenta, são recolhidas cada vez menos amostras do sinal original, já filtrado, dando cada vez mais um áudio irreconhecível, pois há sempre perdas de informação.





# Processamento Digital de Sinal

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

```
for i=1:5
[n,Wn,beta,ftype] = kaiserord(Limites_Banda_transicao/i ,mags ,devs ,Sampling_Frequency);
filtro = fir1(n,Wn,ftype,kaizer(n+1,beta),'noscale');

figure (1);
audio_filtrado = filter(filtro,1,audio_gravado);

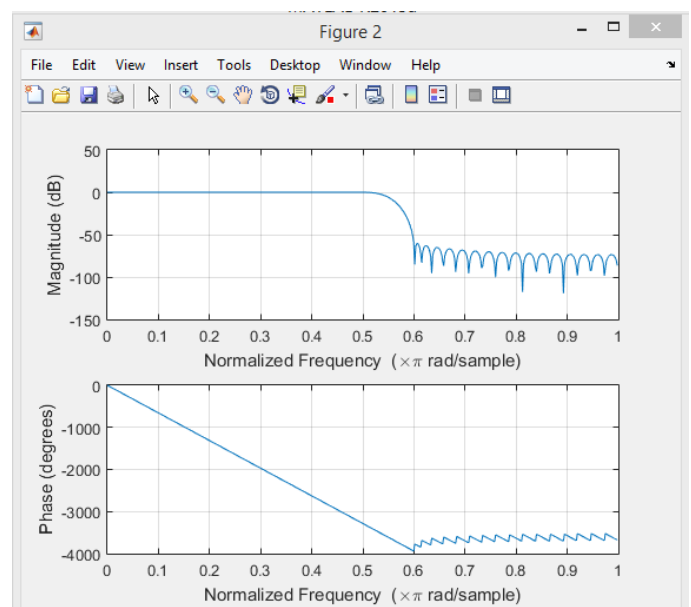
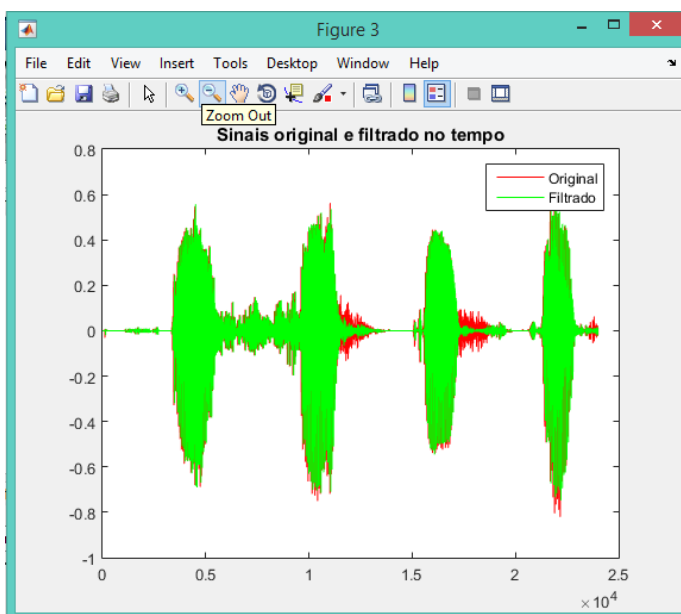
audio_compactado = downsample(audio_filtrado, i);
freqz (filtro);

disp('N=');
disp(i);
figure(3)
plot(audio_gravado,'r')
hold on
plot(audio_compactado,'g')
title('Sinais original e filtrado no tempo')
legend('Original','Filtrado');
hplayer = audioplayer(audio_compactado, 8000);
play(hplayer);
pause(5); % esperar pelo fim do som gravado
end
```

## Testes experimentais

Depois de realizada uma gravação áudio, os resultados obtidos foram:

### Utilizando N=1:

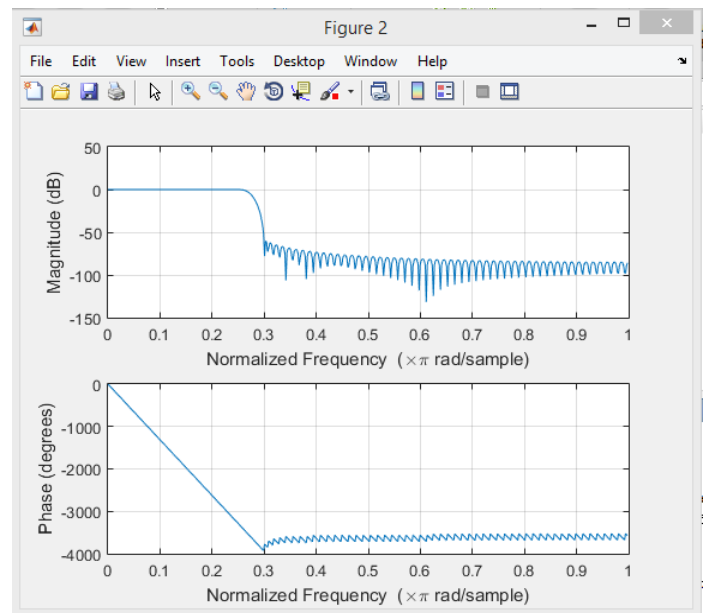
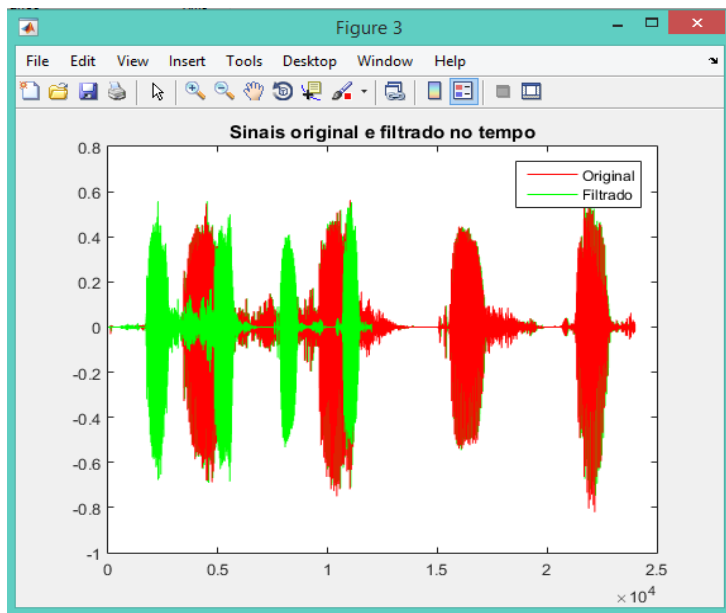




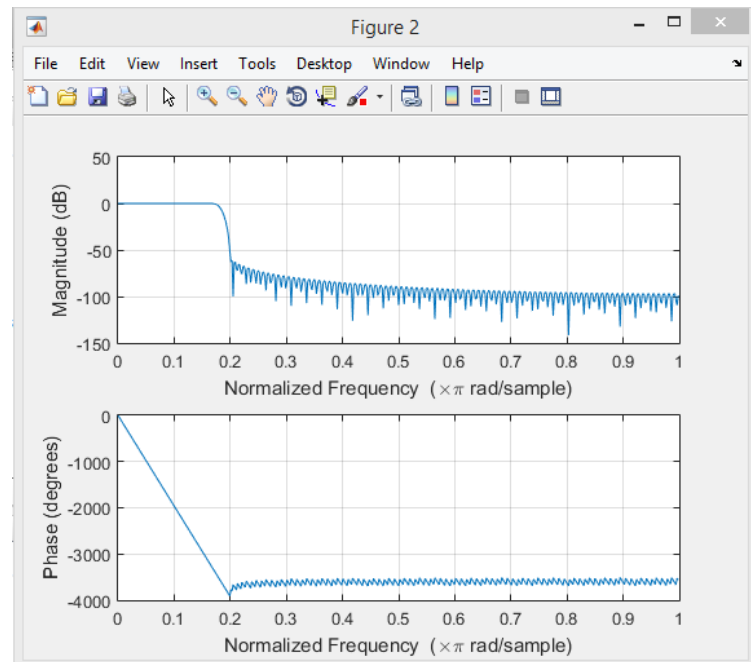
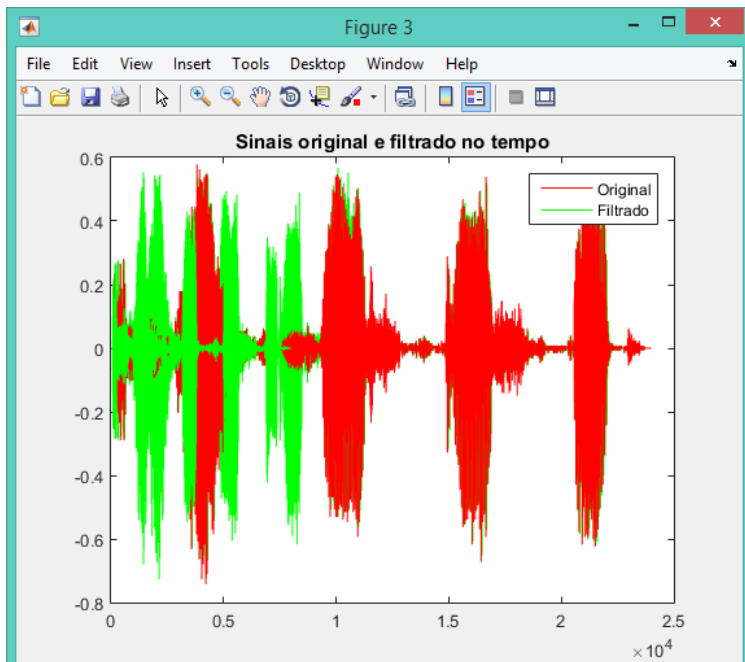
# Processamento Digital de Sinal

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

## Utilizando N=2:



## Utilizando N=3

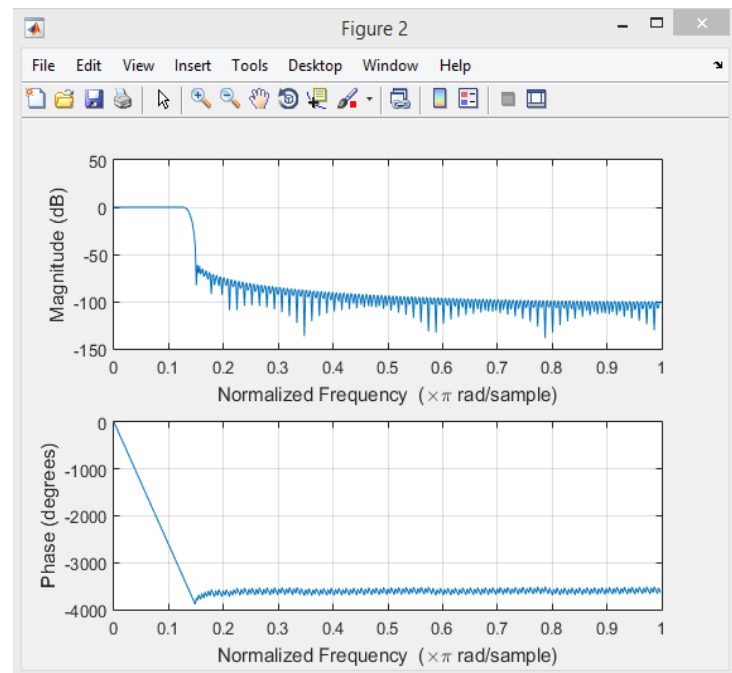
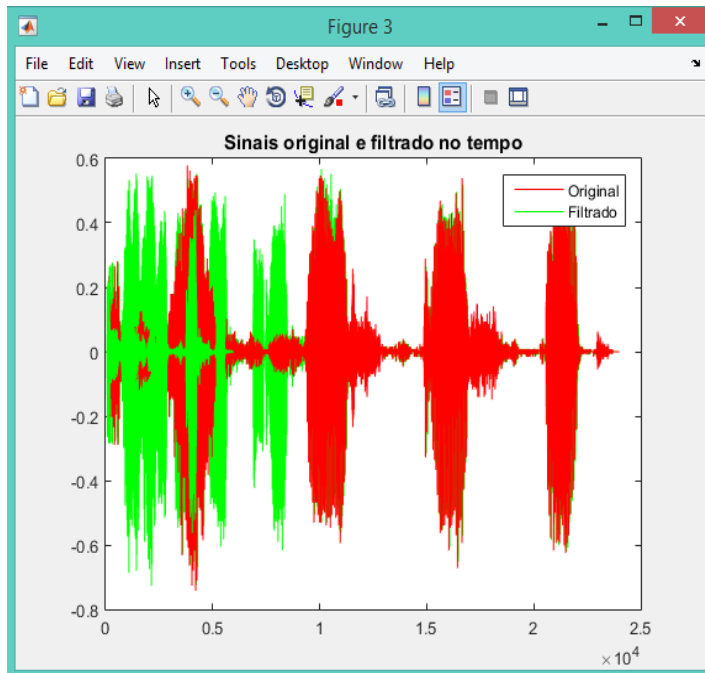




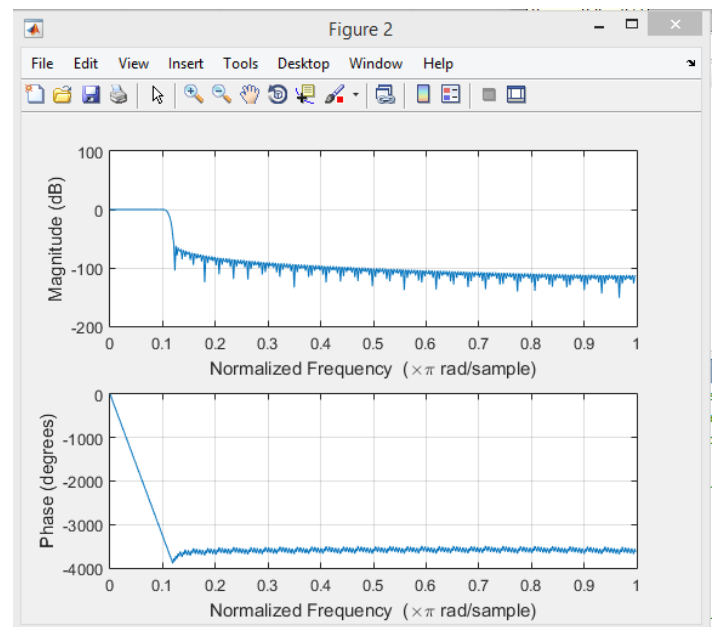
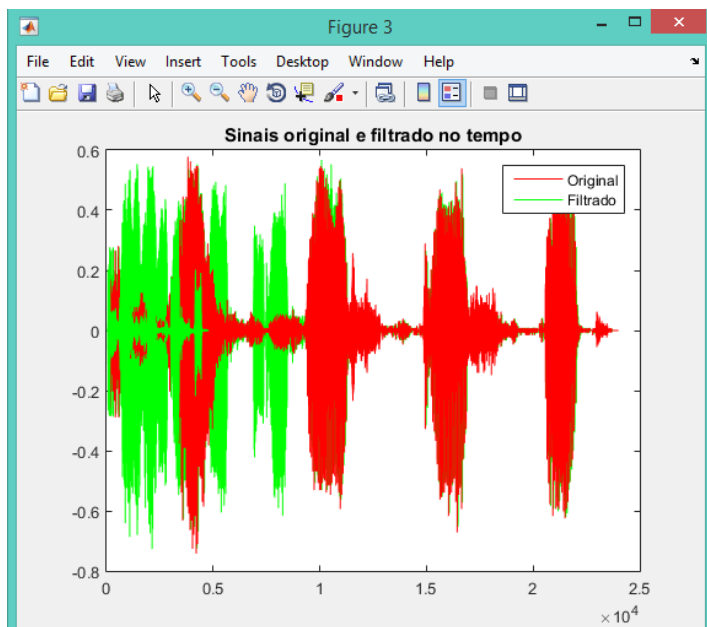
# Processamento Digital de Sinal

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

## Utilizando N=4



## Utilizando N=5





## Conclusão:

Com a realização deste trabalho foi possível aplicar grande parte dos conceitos e procedimentos adquiridos ao longo do semestre até ao momento, relativamente à UC de Processamento de Sinal.

Com a realização dos testes experimentais ilustrados acima, é possível perceber de uma maneira mais objetiva e prática, da forma como funcionam os filtros e como eles conseguem ser cruciais nos dias de hoje.