



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Departamento de Eletrônica e Sistemas

# Processamento Digital de Sinais

## Projeto 3: Filtros Digitais

Matheus de Oliveira Roma

Wallace Nascimento Melo

06 de Novembro de 2019

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Parte 1</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Parte 2</b>	<b>5</b>
3.1	Conclusão . . . . .	14

# 1 Introdução

A filtragem de sinais digitais é um dos processos fundamentais da engenharia de telecomunicações, os filtros digitais são de grande importância para o tratamento e transmissão de dados entre sistemas de forma eficaz. Os filtros digitais são caracterizados dependendo da duração da sequência  $y[n]$  quando aplicado em sua entrada um sinal do tipo impulso, são divididos em duas classes, filtros Digitais cuja resposta ao impulso apresenta duração finita (FIR – Finite Impulse Response) e aqueles que possuem resposta ao impulso com duração infinita (IIR – Finite Impulse Response)

## 2 Parte 1: Filtros IIR

Através da linguagem de programação *Python* foi criado um programa que simula um filtro passa-baixas IIR de sexta ordem. A frequência de corte foi escolhida como sendo  $0.6Hz$ , enquanto a frequência de amostragem foi  $2Hz$ , é mostrado uma representação gráfica do sinal. O comportamento aproximado do sinal pode ser observado nas figuras abaixo, sendo os gráficos referentes ao ganho e a fase do filtro, respectivamente:

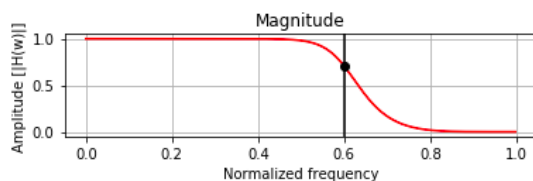


Figura 2.1: Gráfico de Magnitude do Filtro

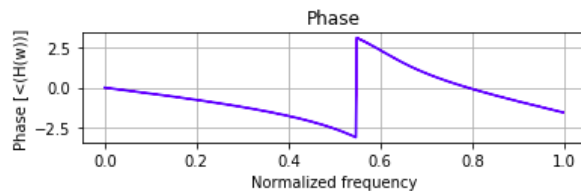


Figura 2.2: Gráfico de Fase do Filtro

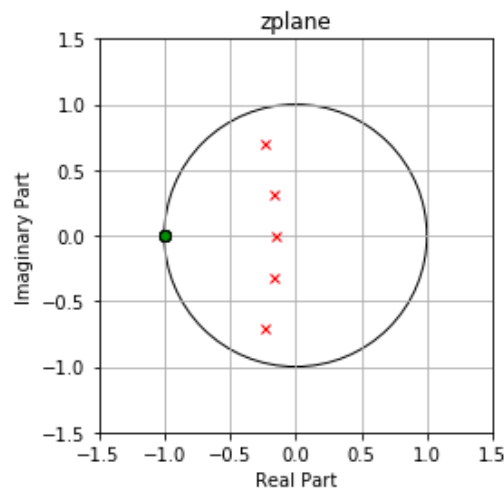


Figura 2.3: Diagrama de Polos e Zeros

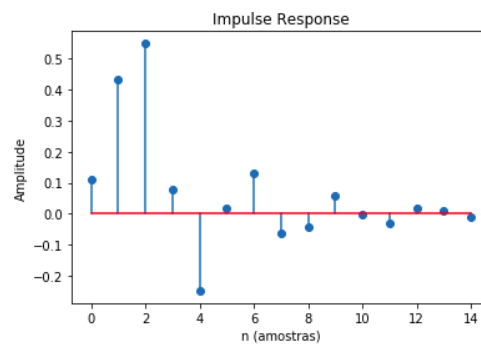


Figura 2.4: Resposta ao Impulso

Pelos resultados obtidos, podemos concluir que o filtro é estável, pois possui os polos dentro do ciclo unitário.

Pode-se observar a correlação entre os gráficos, pois através do gráfico de polos ou da resposta ao impulso pode-se encontrar o ganho e a fase do filtro já os mesmos fornecem dados suficientes para se encontrar a função transferência do sistema.

Para esboçar a relação entre a frequência digital e a frequência analógica foram escolhidos três valores de períodos diferentes,  $T = 1$ ,  $T = 0.01$  e  $T = 100$ .

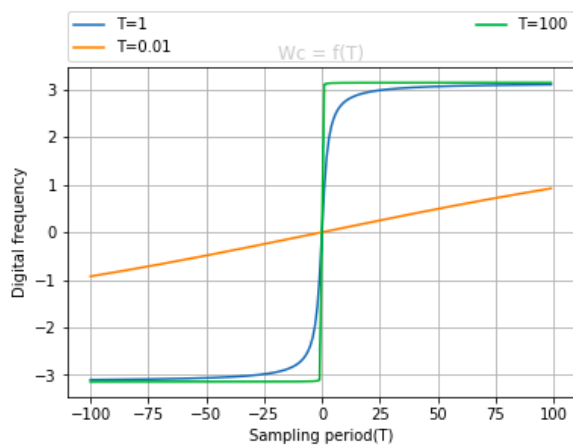


Figura 2.5: Relação entre Frequência Analógica e Digital para diferentes  $T$

Para um valor fixo da frequência analógica com  $\omega c = 1 \text{ rad/s}$ , temos que a frequência digital de corte se comporta como na figura abaixo:

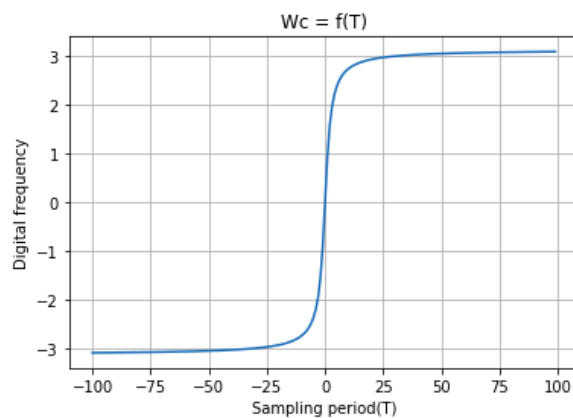


Figura 2.6: Frequência digital em função de  $T$ .

### 3 Parte 2: Filtros FIR

Nesta parte, devemos projetar um filtro FIR FLG passa-altas  $h[n]$  de comprimento 22 com  $\omega_s = 0.2\pi$  e  $\omega_p = 0.4\pi$  usando os quatro tipos de janelamentos abaixo, façamos isso no software do MATLAB para facilitar as operações:

i)Retangular;

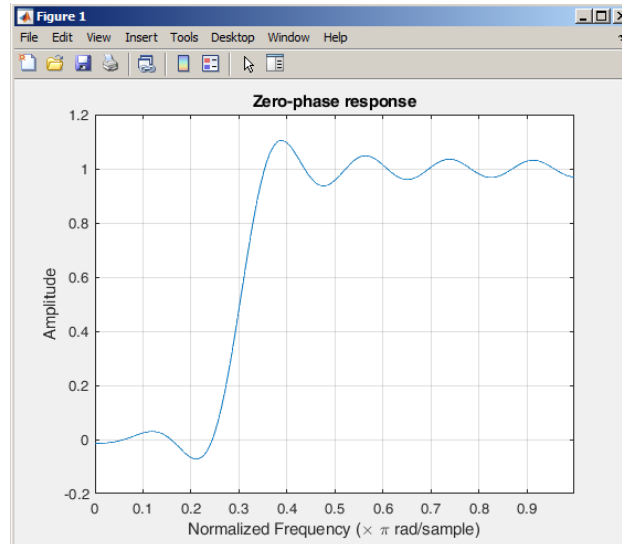


Figura 3.1: Resposta a fase zero retangular

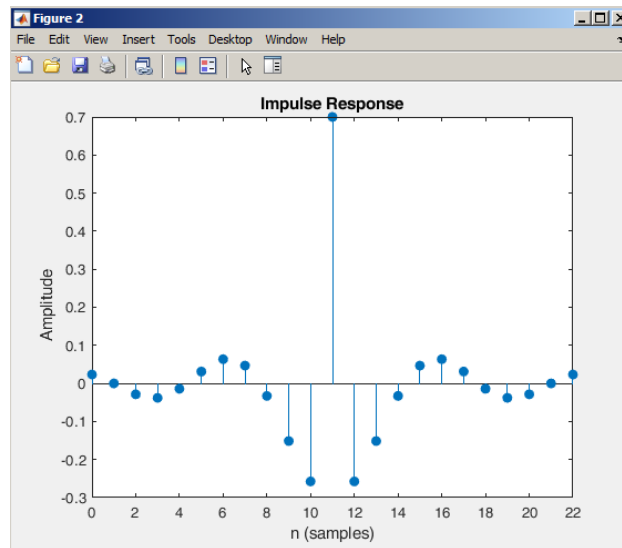


Figura 3.2: Resposta ao impulso retangular

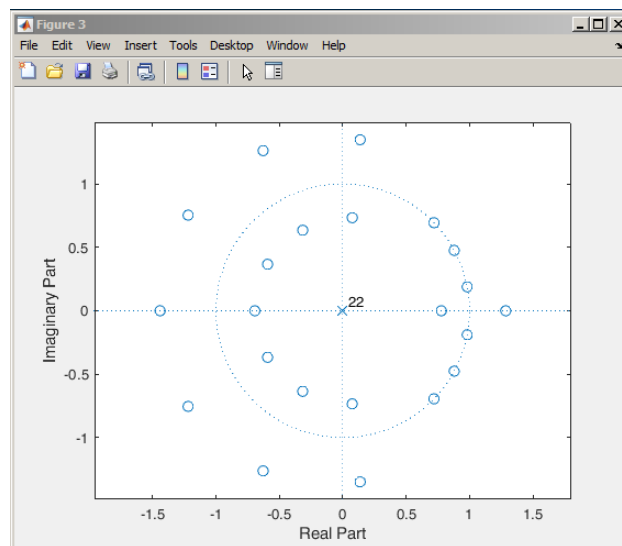


Figura 3.3: Diagrama de polos e zeros retangular

ii) Triangular;



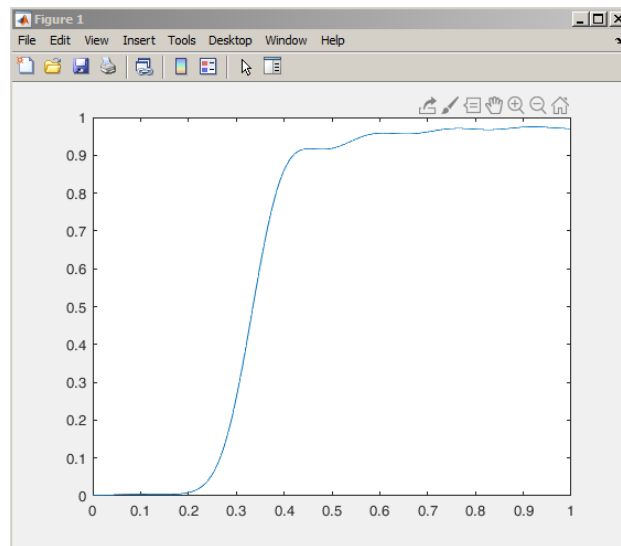


Figura 3.4: Resposta a fase zero triangular

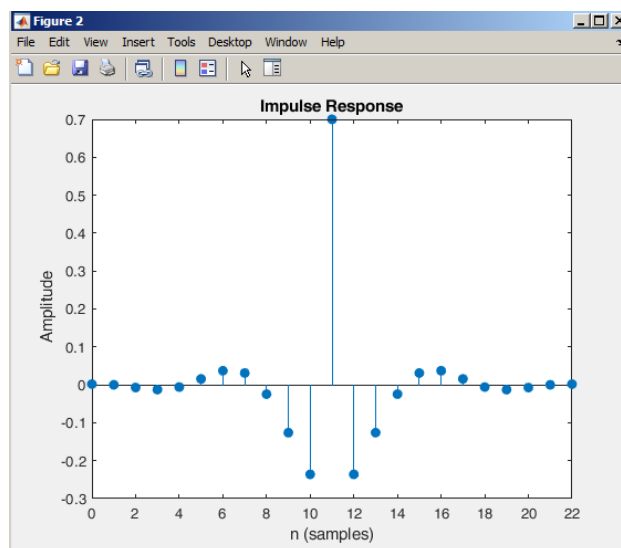


Figura 3.5: Resposta ao impulso triangular

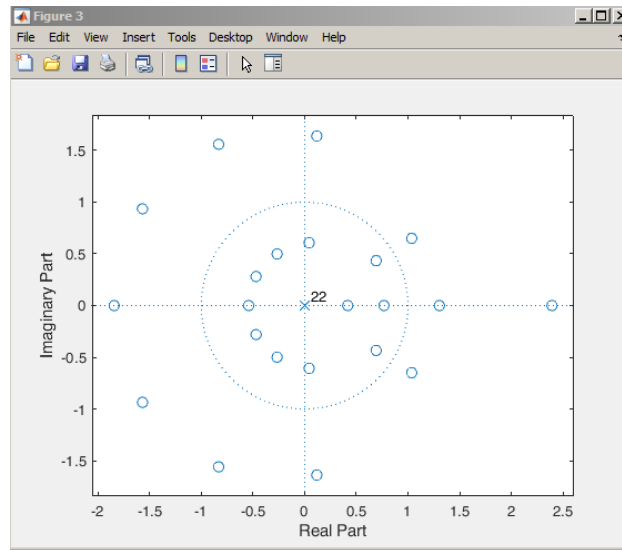


Figura 3.6: Diagrama de polos e zeros triangular

iii) Hamming;

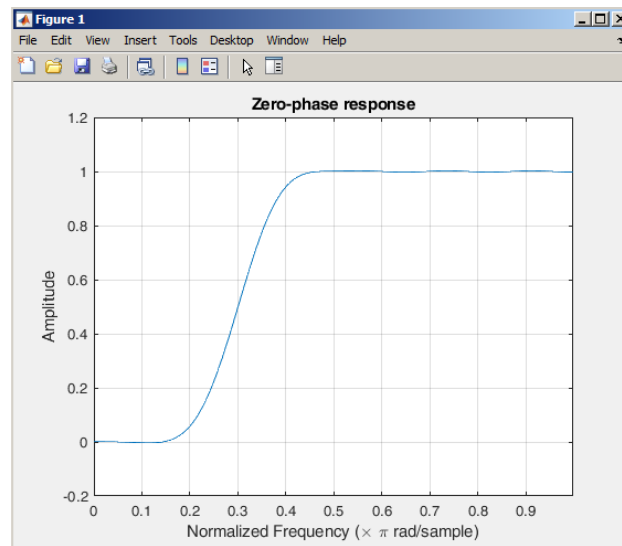


Figura 3.7: Resposta a fase zero hamming

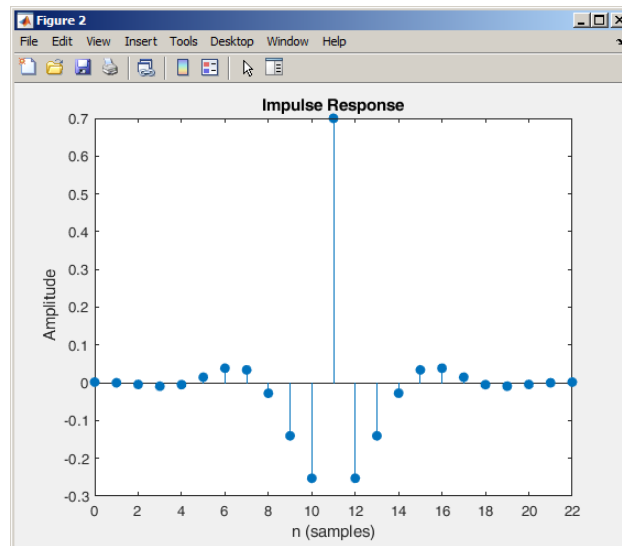


Figura 3.8: Resposta ao impulso hamming

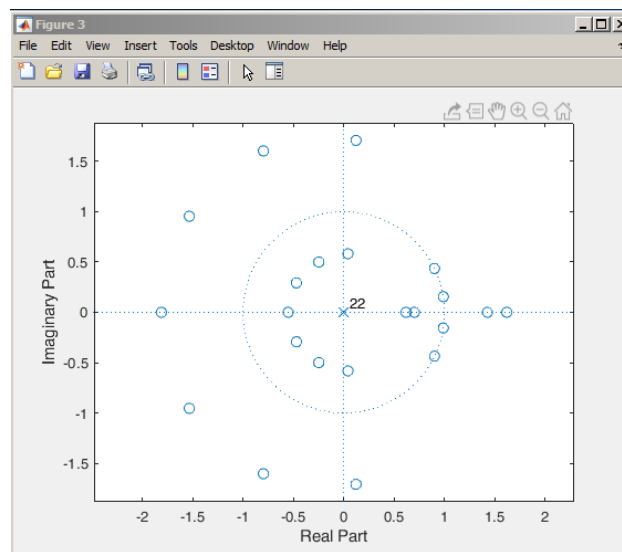


Figura 3.9: Diagrama de polos e zeros hamming

iv) Blackman;

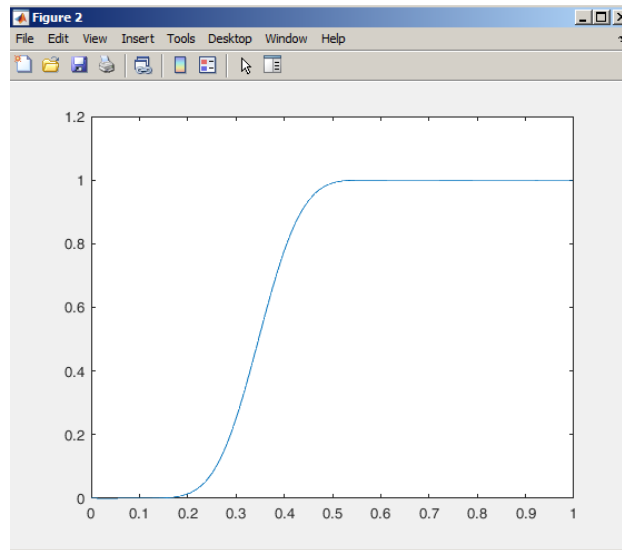


Figura 3.10: Resposta a fase zero blackman

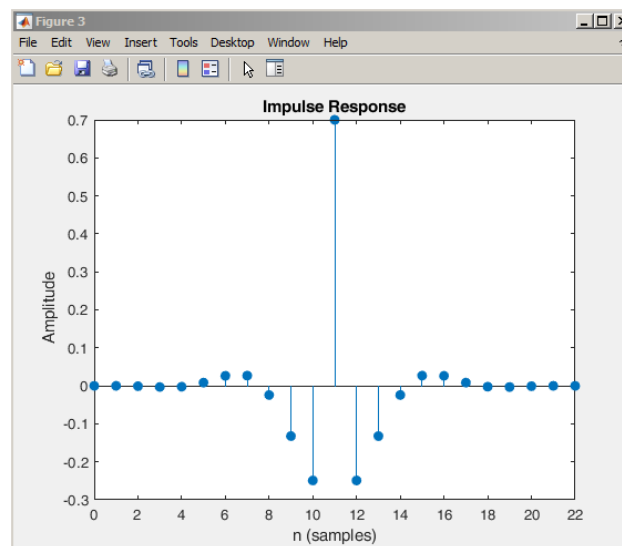


Figura 3.11: Resposta ao impulso blackman

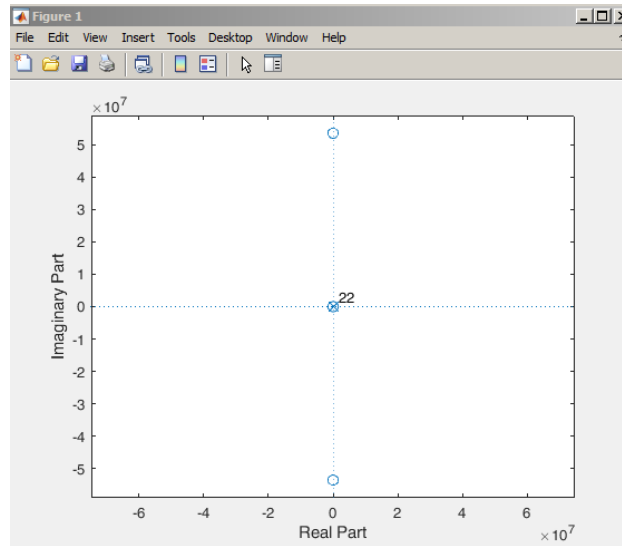
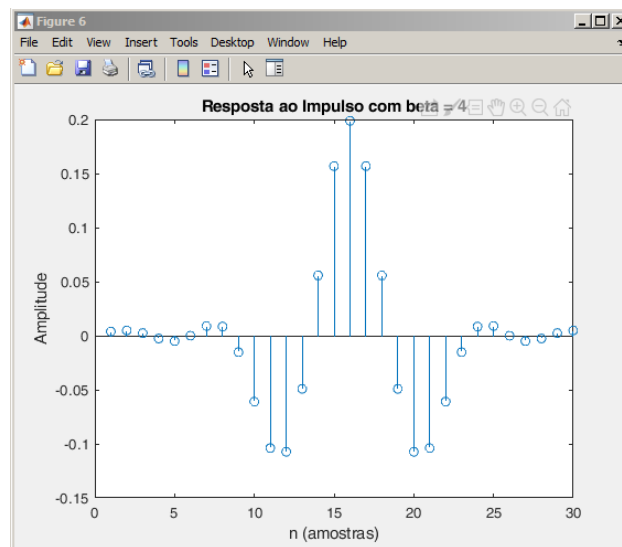


Figura 3.12: Diagrama de polos e zeros blackman

Figura 3.13:

Ainda, projetemos um filtro passa-faixa de comprimento 31 por meio da janela de Kaiser, com  $\beta = 4,6e9$ . Tomemos as bandas  $0 < \omega < 0.08\pi$  (banda de rejeição inferior),  $0.1\pi < \omega < 0.3\pi$  (banda de passagem) e  $0.4\pi < \omega < \pi$  (banda de rejeição superior).

Figura 3.14: Resposta ao impulso com  $\beta = 4$

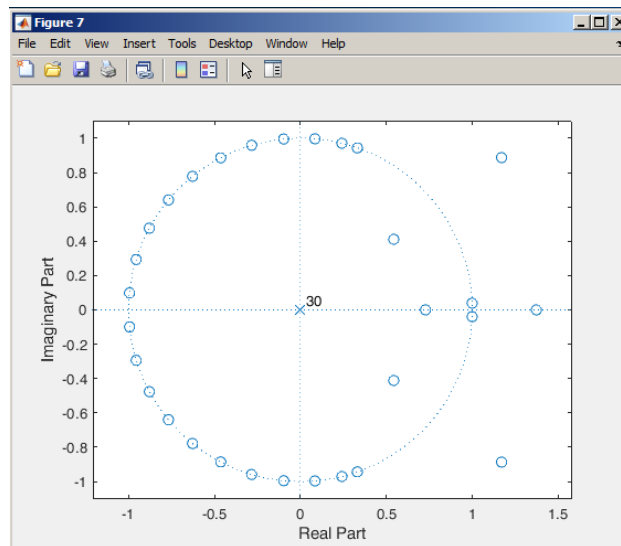


Figura 3.15: Diagrama de polos e zeros com  $\beta = 4$

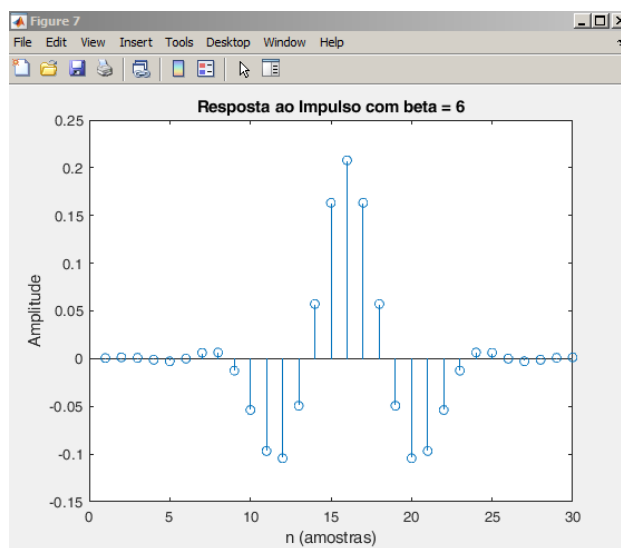


Figura 3.16: Resposta ao impulso com  $\beta = 6$

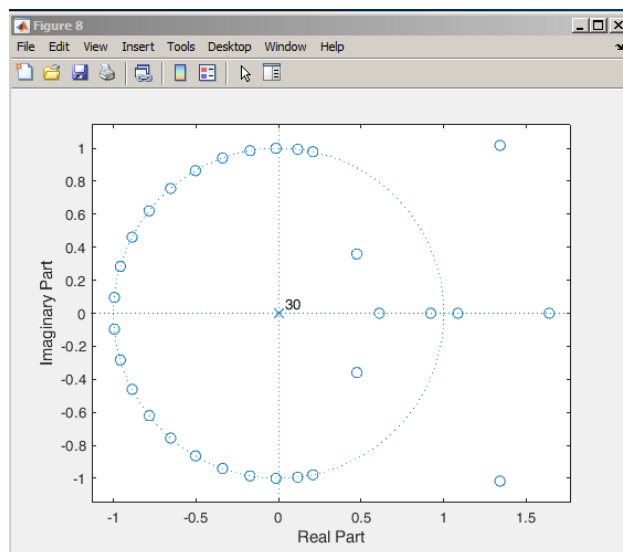


Figura 3.17: Diagrama de polos e zeros com  $\beta = 6$

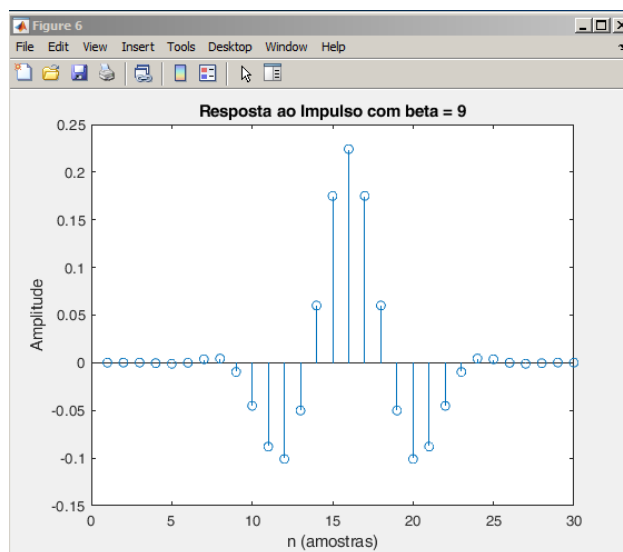


Figura 3.18: Resposta ao impulso com  $\beta = 9$

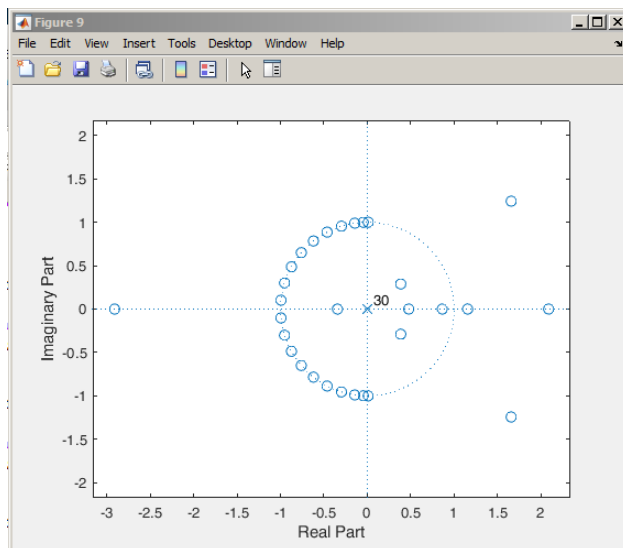


Figura 3.19: Diagrama de polos e zeros com  $\beta = 9$

### 3.1 Conclusão

Projetar filtros não é um processo simples. A forma através de qual eles foram feitos aqui são maneiras conceitualmente simples, então seus comportamentos não são tão bons quanto se é desejado sempre. Nos projetos FIR isto é bastante visível, onde nos passa altas projetados, todos responderam de maneiras “boas”, atenuando para magnitudes próximas de 0 frequências indesejadas afastadas da frequência de corte. Já no passa faixa, o filtro não atenua muito bem os sinais na banda de rejeição, mas aplica um ganho na faixa de passagem, o que facilitaria a separação entre sinal desejado e sinal indesejado.

O primeiro comentário é que selecionar bem o tipo do filtro utilizado para o projeto é um passo muito importante. Isto foi crucial para a melhor performance dos filtros passa alta contra o passa faixa. Outra observação é que o projeto define tudo que você vai fazer, não havendo uma janela melhor que outras sempre. Isto é visto na questão 2.1, onde filtros com janelas mais sofisticadas não possuem seletividade tão alta quanto filtros mais simples, mas ao mesmo tempo eles apresentam menos erros de aproximação no geral.

Algo notado foi que projetos de filtros FIR possuem projeto mais direto, necessitando de menos relações matemáticas para seguir com a relação de frequências. O código para gerar filtros FIR é muito mais simples do que filtros IIR, mas os anteriores são versões mais precisas dos posteriores, já que o filtro FIR é um filtro IIR truncado, praticamente falando.