



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

Projetos de Filtros Por Amostragem

Processamento de Sinais Digitais

Arthur Cadore Matuella Barcella

07 de Julho de 2024

Engenharia de Telecomunicações - IFSC-SJ

Sumário

1. Exemplo:	3
2. Questão 1:	5
3. Questão 2:	8
4. Questão 3:	11
5. Questão 4:	14
6. Questão 5:	17
7. Questão 6:	20

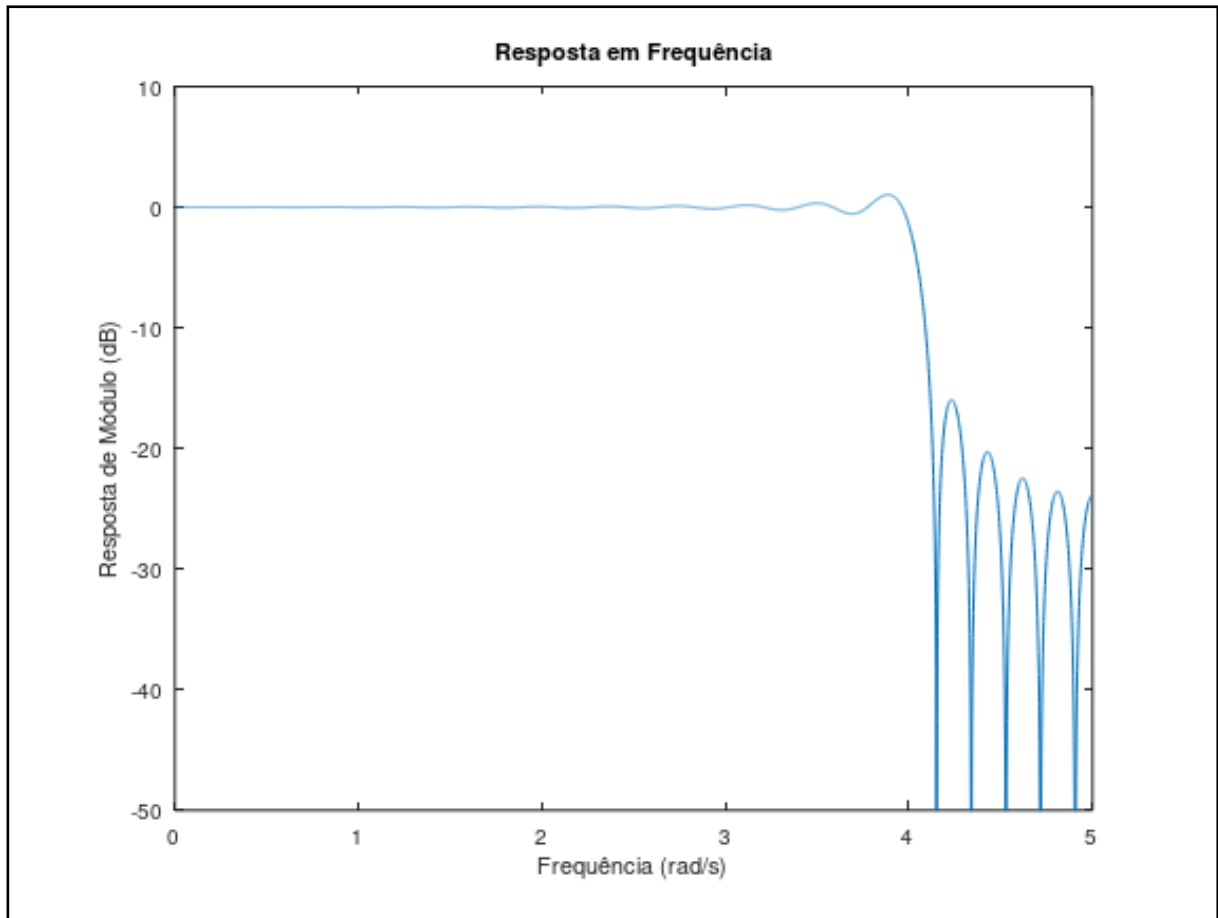
1. Exemplo:

Abaixo está o exemplo apresentado em sala para entender o projeto do filtro:

```
1  clear all; close all; clc;
2
3  % Define a ordem do filtro
4  M = 52;
5  % Define o comprimento do filtro
6  N = M + 1;
7
8  Omega_p = 4; % Frequência de passagem
9  Omega_r = 4.2; % Frequência de rejeição
10 Omega_s = 10; % Frequência de amostragem
11
12 kp = floor(N * Omega_p / Omega_s); % Índice de passagem
13 kr = floor(N * Omega_r / Omega_s); % Índice de rejeição
14
15 % Criando o vetor 'A'
16 A = [ones(1, kp + 1) zeros(1, ceil(M / 2 - kr) + 1)];
17
18 % Ajuste de kp se a diferença entre kr e kp for maior que 1
19 if (kr - kp) > 1
20     kp = kr - 1;
21 end
22
23 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
24 h = zeros(1, N);
25
26 % Realizando laço de criação do vetor de resposta ao impulso
27 k = 1:M/2;
28 for n = 0:M
29     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1) .^ k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2
30 * n) / N));
31 end
32
33 % Normalização da resposta ao impulso
34 h = h / N;
35
36 % Calculando a resposta em frequência
37 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
38
39 % Plotando a resposta em frequência
40 figure(1)
41 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
42 axis([0 5 -50 10])
43 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
44 xlabel('Frequência (rad/s)')
45 title('Resposta em Frequência')
46
47 % Plotando a resposta ao impulso
48 figure(2)
49 stem(h)
50 ylabel('Resposta ao impulso')
51 xlabel('Amostras (n)')
```

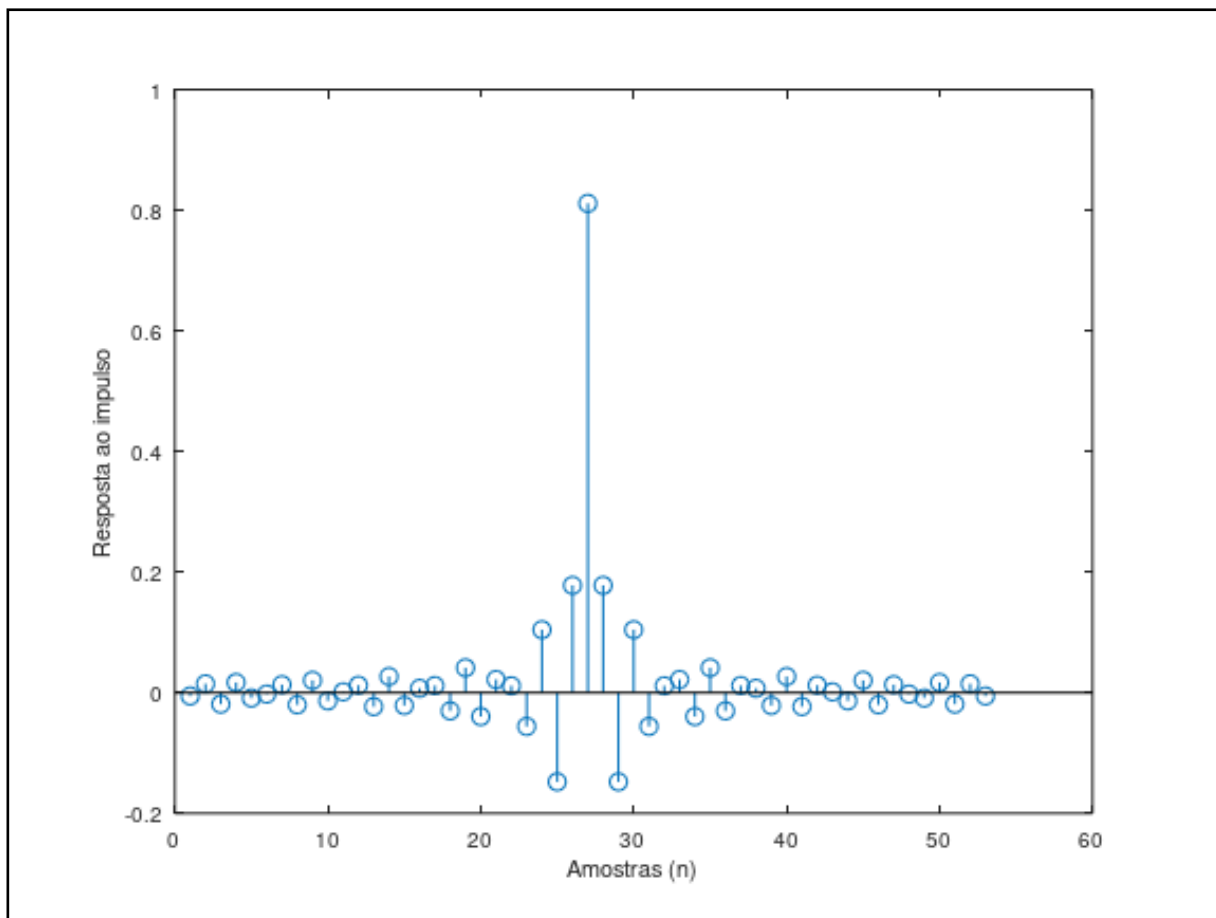
A partir deste script, temos os seguintes resultados:

Figura 1: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

Figura 2: Elaborada pelo Autor



Resposta ao impulso do filtro

2. Questão 1:

Projete um filtro passa-baixas usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 200$
- $\Omega_p = 4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_r = 4,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_s = 10,0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

```
1 clear all; close all; clc;
2
3 % Define a ordem do filtro
4
5 % Define a ordem do filtro
6 M = 200;
7
8 % Define o comprimento do filtro
9 N = M + 1;
10
11 Omega_p = 4.0; % Frequência de passagem
12 Omega_r = 4.2; % Frequência de rejeição
```

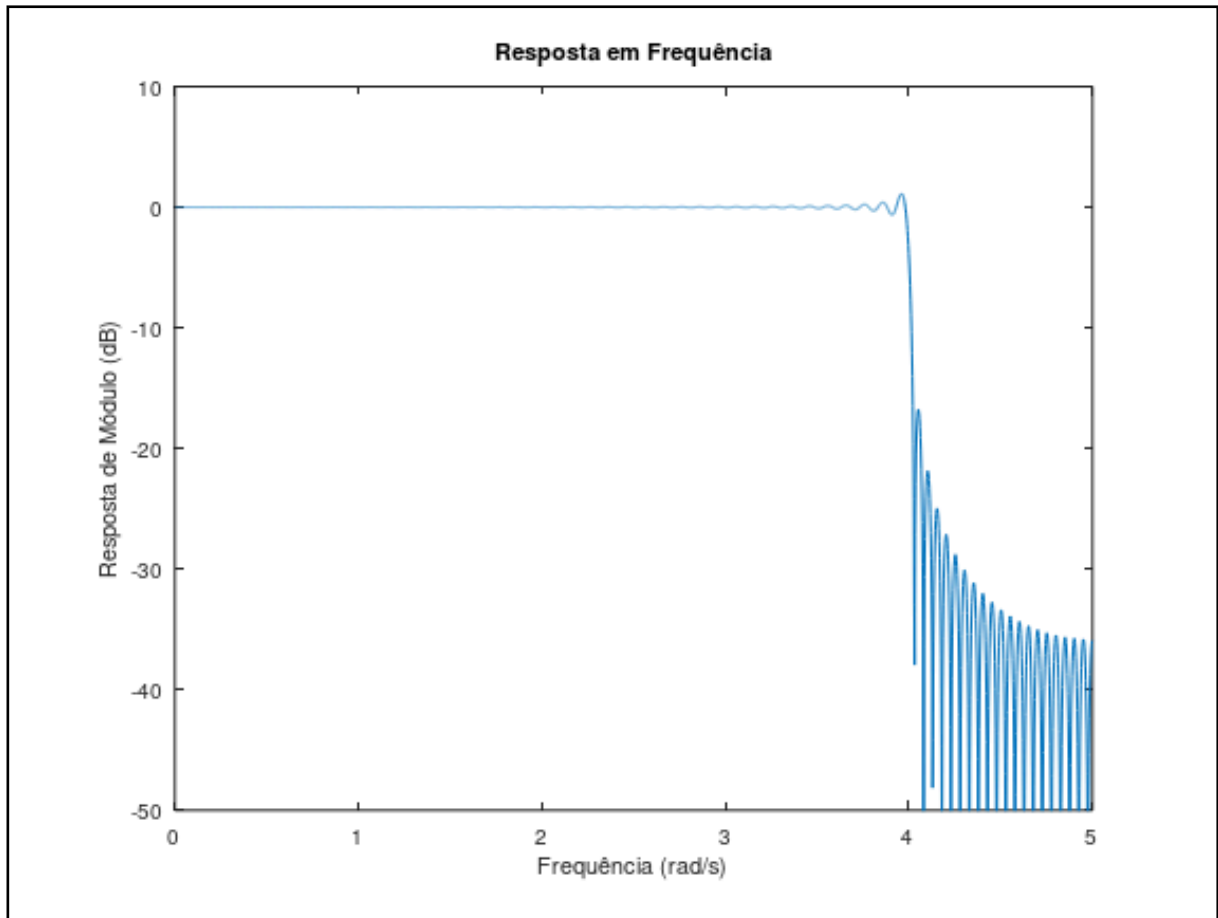
```

13 Omega_s = 10.0; % Frequência de amostragem
14
15 kp = floor(N * Omega_p / Omega_s); % Índice de passagem
16 kr = floor(N * Omega_r / Omega_s); % Índice de rejeição
17
18 % Vetor de resposta em frequência
19 A = [ones(1, kp + 1) zeros(1, N - (kp + 1))];
20
21 % Criando o vetor 'A'
22 if (kr - kp) > 1
23     kp = kr - 1;
24 end
25
26 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
27 h = zeros(1, N);
28
29 % Realizando laço de criação do vetor de resposta ao impulso
30 k = 1:M/2;
31 for n = 0:M
32     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1) .^ k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2
33 * n) / N));
34 end
35
36 % Normalização da resposta ao impulso
37 h = h / N;
38
39 % Calculando a resposta em frequência
40 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
41
42 % Plotando a resposta em frequência
43 figure(1)
44 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
45 axis([0 5 -50 10])
46 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
47 xlabel('Frequência (rad/s)')
48 title('Resposta em Frequência')
49
50 % Plotando a resposta ao impulso
51 figure(2)
52 stem(h)
53 ylabel('Resposta ao impulso')
54 xlabel('Amostras (n)')

```

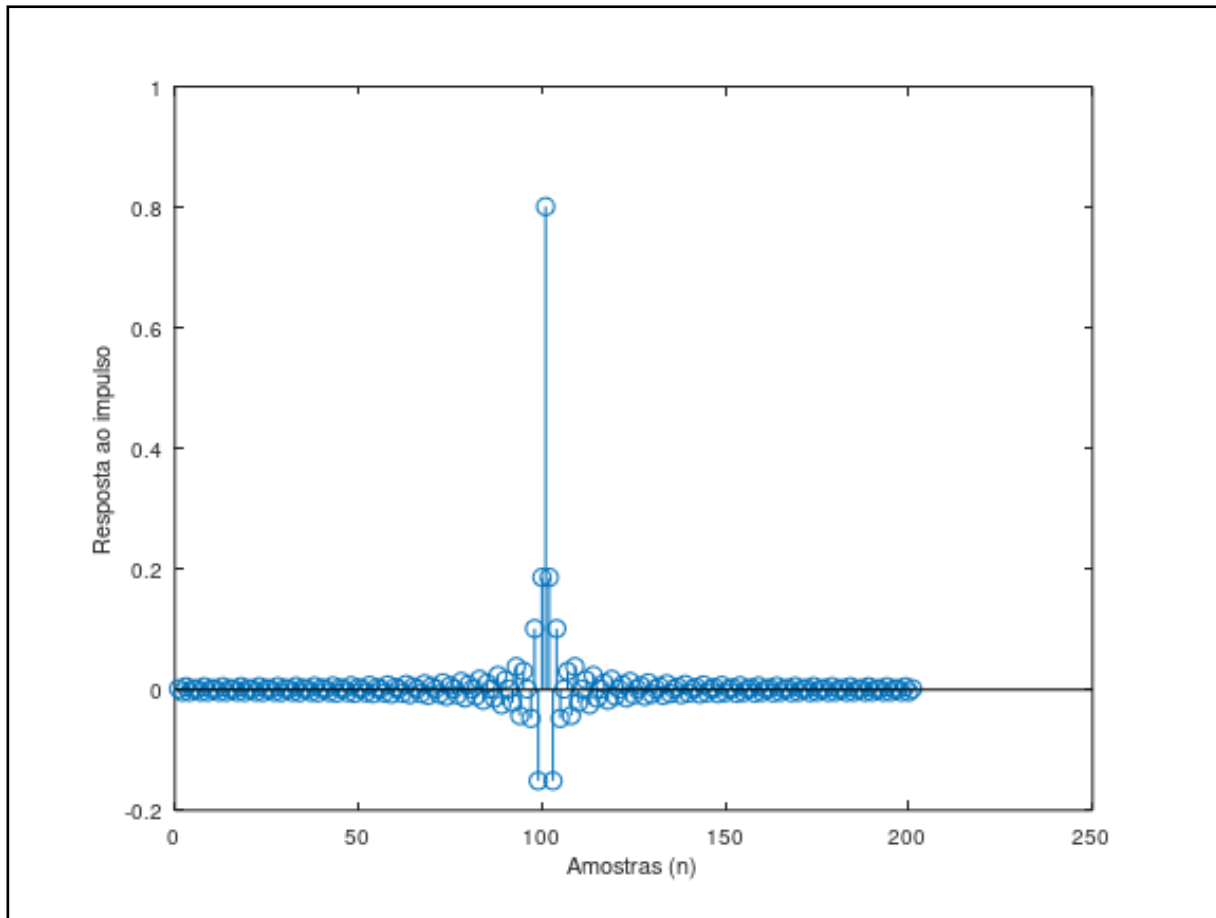
A partir deste script, temos os seguintes resultados:

Figura 3: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

Figura 4: Elaborada pelo Autor



Resposta ao impulso do filtro

Como podemos ver pelas imagens apresentadas, o filtro possui uma resposta em frequência com ganho/atenuação 0 dB na frequência de passagem (até 4 rad/s) e atenuação de 50 dB na frequência de rejeição (a partir de 4,2 rad/s). A resposta ao impulso do filtro é apresentada na segunda imagem, onde podemos ver que o filtro possui uma resposta ao impulso com 201 amostras, sendo a amostra central a de maior valor.

3. Questão 2:

Projete um filtro passa-altas usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 52$
- $\Omega_p = 4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_r = 4,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_s = 10,0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- Agora aumente o número de amostras, mantendo a paridade e faça suas considerações.

```
1 clear all; close all; clc;
2
3 % Define a ordem do filtro
```



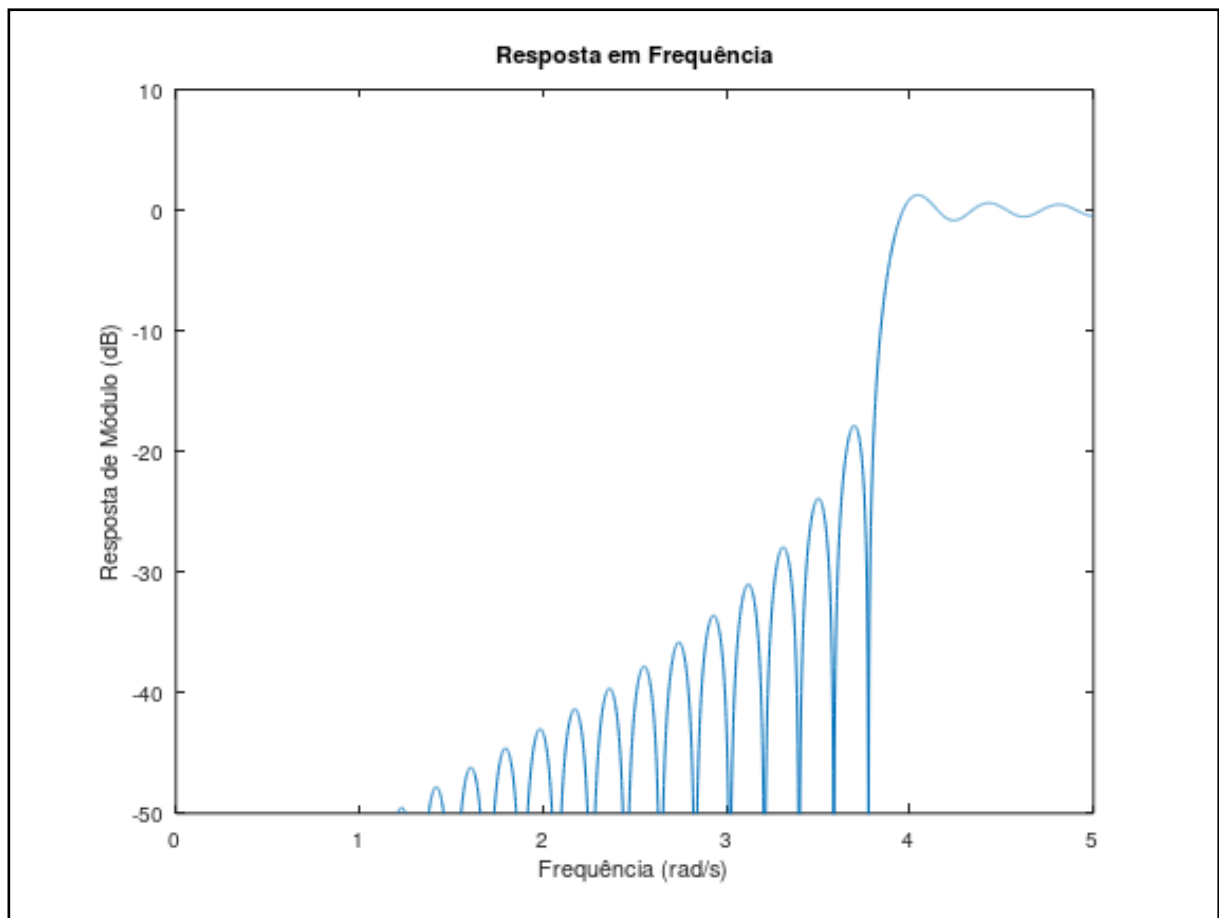
```

4  M = 52;
5
6  % Define o comprimento do filtro
7  N = M + 1;
8
9  Omega_r = 4.0; % Frequência de rejeição
10 Omega_p = 4.2; % Frequência de passagem
11 Omega_s = 10.0; % Frequência de amostragem
12
13 kp = floor(N * Omega_p / Omega_s); % Índice de passagem
14 kr = floor(N * Omega_r / Omega_s); % Índice de rejeição
15
16 % Vetor de resposta em frequência
17 A = [zeros(1, kr) ones(1, N - kr)];
18
19 if (kr - kp) > 1
20     kp = kr - 1;
21 end
22
23 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
24 h = zeros(1, N);
25
26 % Realizando laço de criação do vetor de resposta ao impulso
27 k = 1:M/2;
28 for n = 0:M
29     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1) .^ k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2
30 * n) / N));
31 end
32
33 % Normalização da resposta ao impulso
34 h = h / N;
35
36 % Calculando a resposta em frequência
37 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
38
39 % Plotando a resposta em frequência
40 figure(1)
41 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
42 axis([0 5 -50 10])
43 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
44 xlabel('Frequência (rad/s)')
45 title('Resposta em Frequência')
46
47 % Plotando a resposta ao impulso
48 figure(2)
49 stem(h)
50 ylabel('Resposta ao impulso')
51 xlabel('Amostras (n)')

```

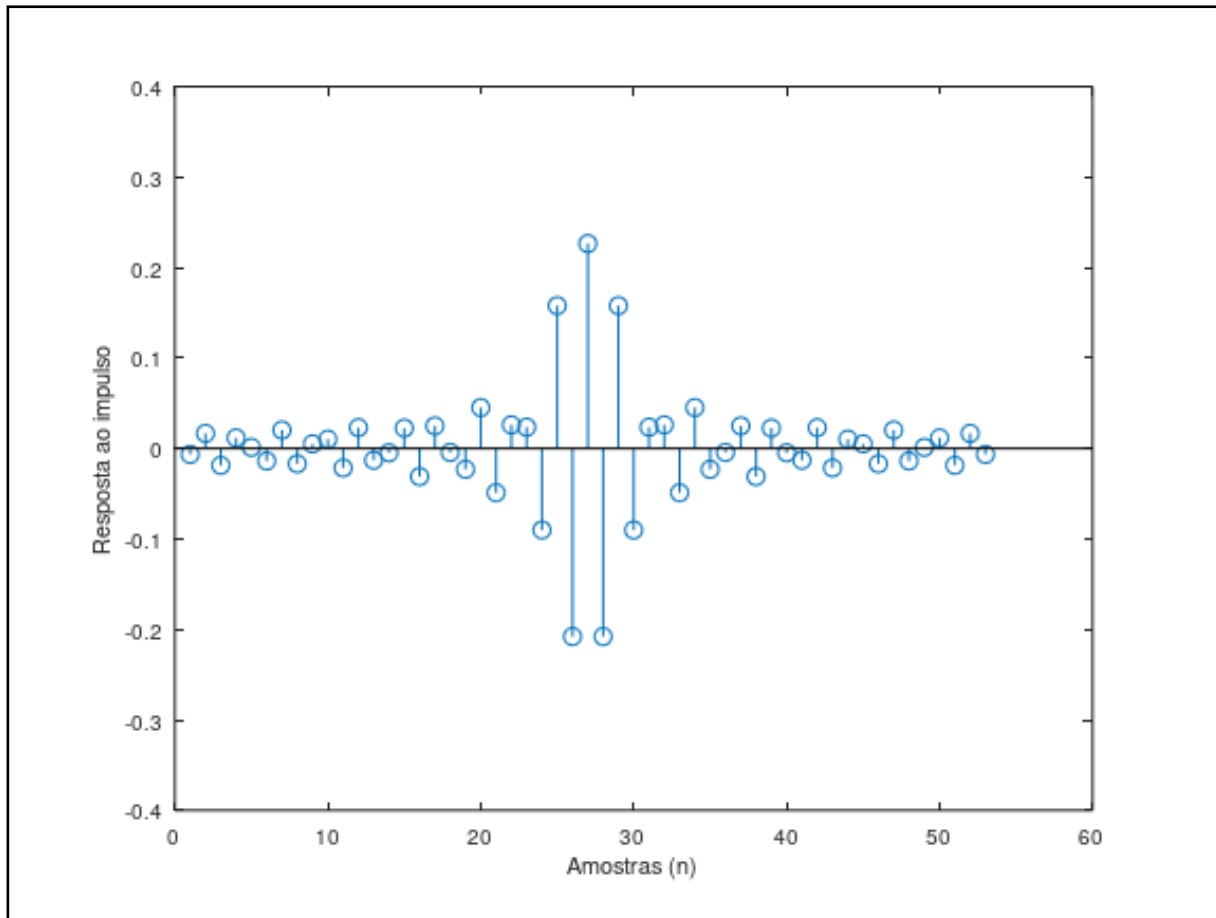
A partir deste script, temos os seguintes resultados:

Figura 5: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

Figura 6: Elaborada pelo Autor



Resposta ao impulso do filtro

Como podemos ver pelas imagens apresentadas, o filtro possui uma resposta em frequência com ganho/atenuação 0 dB nas frequências de passagem (a partir de 4dB, considerando que não há flutuações de ganho na banda de passagem), e nas frequências de rejeição (até 4dB) um ganho variavel entre -20 e -50dB, variando de acordo com a frequência.

A resposta ao impulso do filtro é apresentada na segunda imagem, onde podemos ver que o filtro possui uma resposta ao impulso com 105 amostras, sendo a amostra central a de maior valor.

4. Questão 3:

Projete um filtro passa-faixa usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 52$
- $\Omega_{r1} = 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_{p1} = 3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_{r2} = 7 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_{p2} = 8 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_s = 20,0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

- Agora aumente o número de amostras, mantendo sua paridade e faça suas considerações.

```

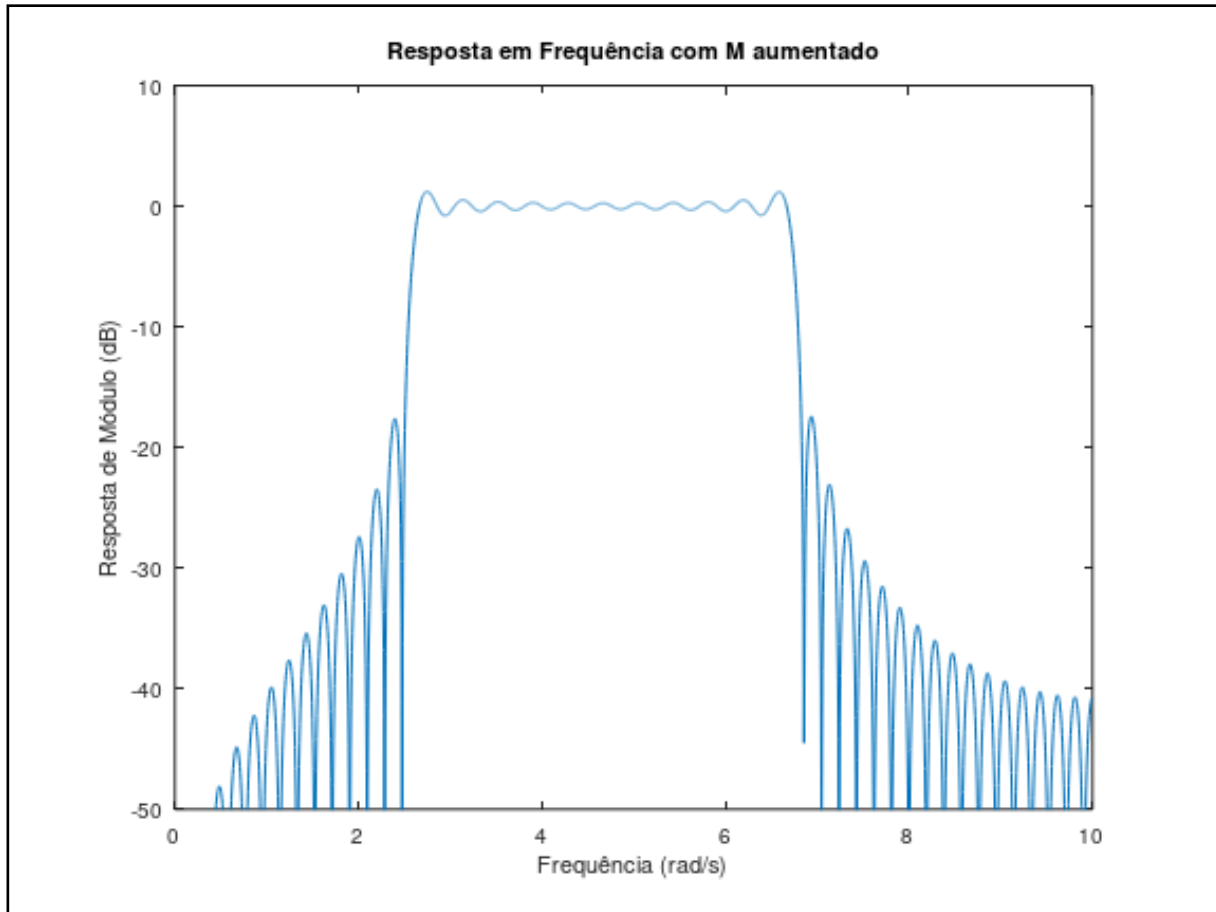
1  clear all; close all; clc;
2
3  % Define a ordem do filtro
4  M = 104;
5
6  % Define o comprimento do filtro
7  N = M + 1;
8
9  Omega_r1 = 2.0; % Frequência de rejeição 1
10 Omega_p1 = 3.0; % Frequência de passagem 1
11 Omega_r2 = 7.0; % Frequência de rejeição 2
12 Omega_p2 = 8.0; % Frequência de passagem 2
13 Omega_s = 20.0; % Frequência de amostragem
14
15 kr1 = floor(N * Omega_r1 / Omega_s); % Índice de rejeição 1
16 kp1 = floor(N * Omega_p1 / Omega_s); % Índice de passagem 1
17 kr2 = floor(N * Omega_r2 / Omega_s); % Índice de rejeição 2
18 kp2 = floor(N * Omega_p2 / Omega_s); % Índice de passagem 2
19
20 % Vetor de resposta em frequência
21 A = zeros(1, N);
22 A(kp1:kr2) = 1; % Passa-faixa
23
24 % Ajustando dos índices para evitar vetores de tamanho não inteiro
25 if (kr1 - kp1) > 1
26     kp1 = kr1 - 1;
27 end
28 if (kp2 - kr2) > 1
29     kp2 = kr2 + 1;
30 end
31
32 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
33 h = zeros(1, N);
34
35 % Índices para o cálculo da resposta ao impulso
36 k = 1:M/2;
37 for n = 0:M
38     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1).^k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2
39 * n) / N));
40 end
41 h = h / N; % Normalização da resposta ao impulso
42
43 % Calculando a resposta em frequência
44 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
45
46 % Plotando a resposta em frequência
47 figure(1)
48 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
49 axis([0 10 -50 10])
50 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
51 xlabel('Frequência (rad/s)')
52 title('Resposta em Frequência com M aumentado')
53
54 % Plotando a resposta ao impulso
55 figure(2)
56 stem(h)

```

```
57 ylabel('Resposta ao impulso')
58 xlabel('Amostras (n)')
```

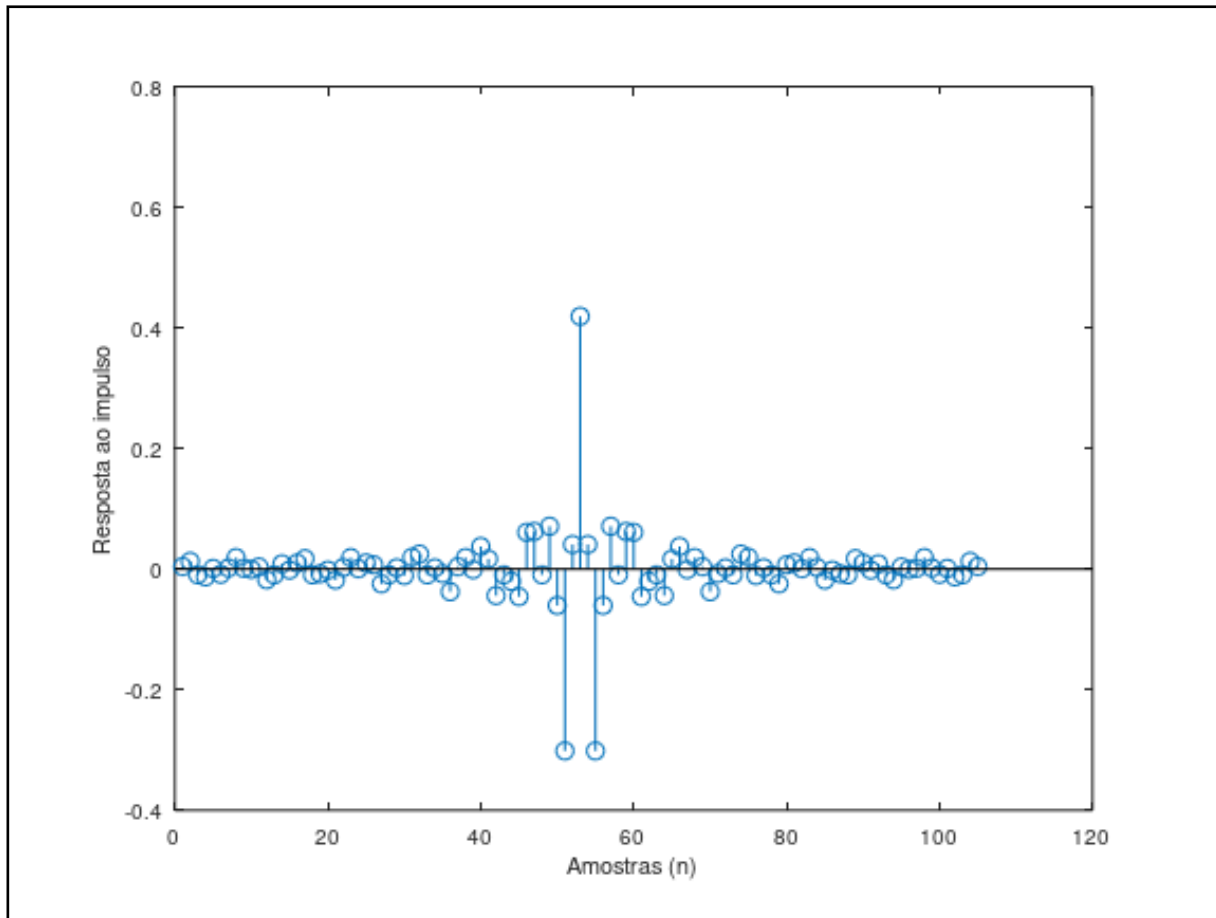
A partir deste script, temos os seguintes resultados:

Figura 7: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

Figura 8: Elaborada pelo Autor



Resposta ao impulso do filtro

Como podemos ver pelas imagens apresentadas, o filtro possui uma resposta em frequência com ganho/atenuação 0 dB nas frequências de passagem (de 3 a 7 rad/s), e nas frequências de rejeição (até 2 e a partir de 8 rad/s) um ganho variável entre -20 e -50dB, variando de acordo com a frequência.

5. Questão 4:

Projete um filtro rejeita-faixa usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 52$
- $\Omega_{r1} = 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_{p1} = 3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_{r2} = 7 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_{p2} = 8 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_s = 20,0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

```
1 clear all; close all; clc;  
2  
3 % Define a ordem do filtro
```

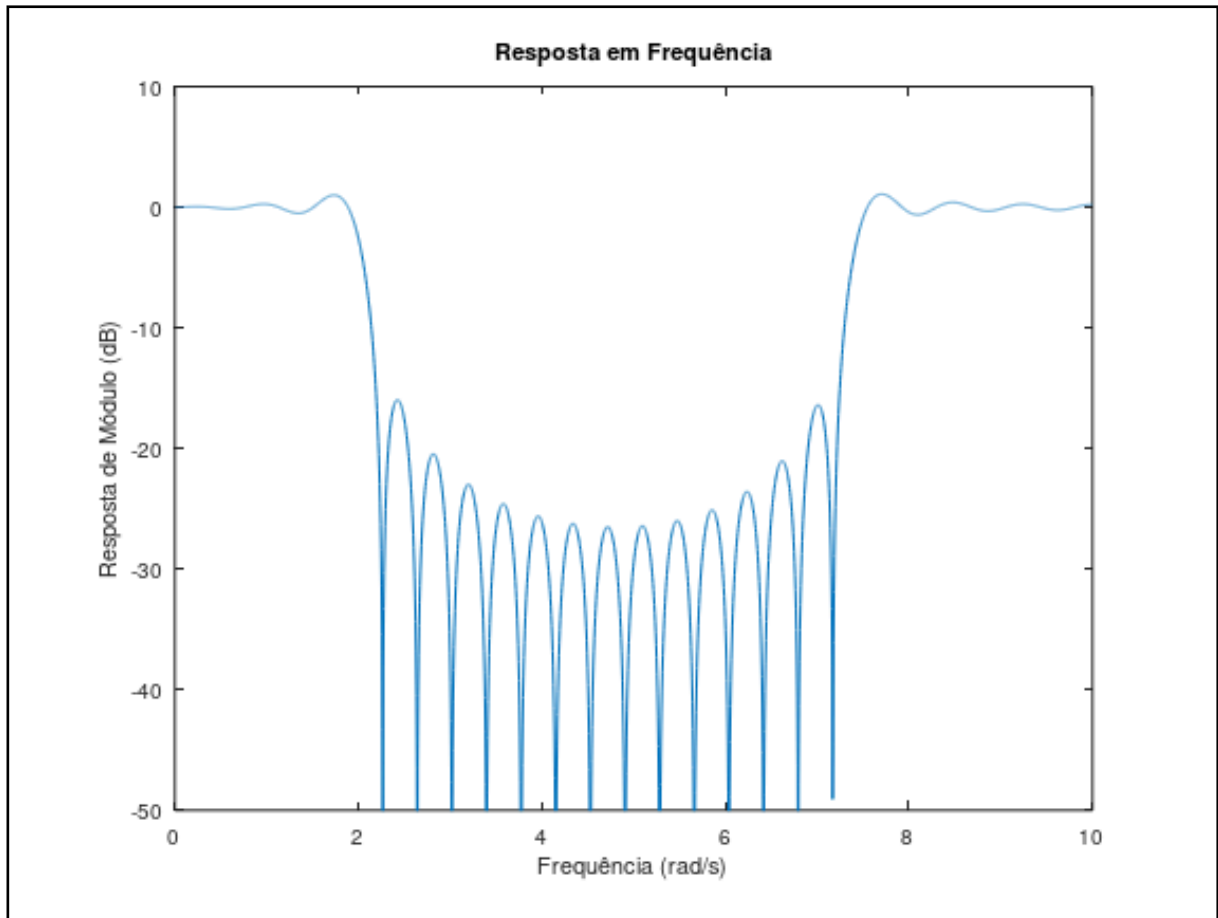
```

4  M = 52;
5  % Define o comprimento do filtro
6  N = M + 1;
7
8  Omega_p1 = 2; % Frequência de passagem 1
9  Omega_r1 = 3; % Frequência de rejeição 1
10 Omega_r2 = 7; % Frequência de passagem 2
11 Omega_p2 = 8; % Frequência de rejeição 2
12 Omega_s = 20; % Frequência de amostragem
13
14 kp1 = floor(N * Omega_p1 / Omega_s); % Índice de rejeição 1
15 kr1 = floor(N * Omega_r1 / Omega_s); % Índice de passagem 1
16 kr2 = floor(N * Omega_r2 / Omega_s); % Índice de rejeição 2
17 kp2 = floor(N * Omega_p2 / Omega_s); % Índice de passagem 2
18
19 % Vetor de resposta em frequência
20 A = [ones(1, kp1 + 1), zeros(1, kr2 - kp1 + 1), ones(1, M/2 - kp2 + 3)];
21
22 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
23 k = 1:M/2;
24 h = zeros(1, N);
25 for n = 0:M
26     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1).^k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2 *
27 n) / N));
28 end
29 h = h ./ N;
30
31 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
32
33 figure(1)
34 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
35 axis([0 10 -50 10])
36 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
37 xlabel('Frequência (rad/s)')
38 title('Resposta em Frequência')
39
40 figure(2)
41 stem(h)
42 ylabel('Resposta ao impulso')
43 xlabel('Amostras (n)')

```

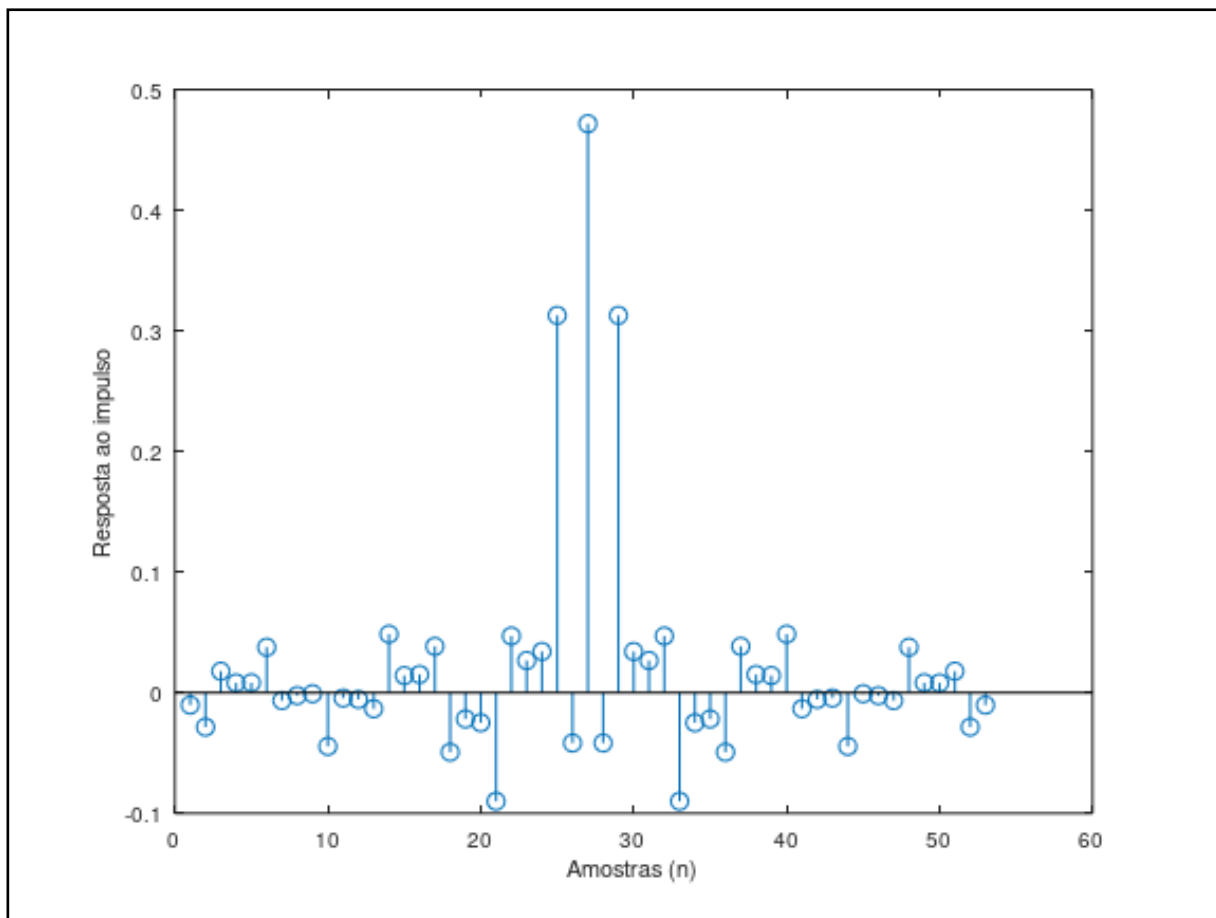
A partir deste script, temos os seguintes resultados:

Figura 9: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

Figura 10: Elaborada pelo Autor



Resposta ao impulso do filtro

Como podemos ver pelas imagens apresentadas, o filtro possui uma resposta em frequência com um ganho variável entre -20 e -50 dB nas frequências de rejeição (de 3 a 7 rad/s), e nas frequências de passagem (até 2 e a partir de 8 rad/s) um ganho 0 (tendo flutuações de acordo com a frequência). A resposta ao impulso do filtro é apresentada na segunda imagem, onde podemos ver que o filtro possui uma resposta ao impulso com 53 amostras, sendo a amostra central a de menor valor.

6. Questão 5:

Projete um filtro passa-faixa tipo III usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 52$
- $\Omega_{r1} = 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_{p1} = 3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_{r2} = 7 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_{p2} = 8 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_s = 20,0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

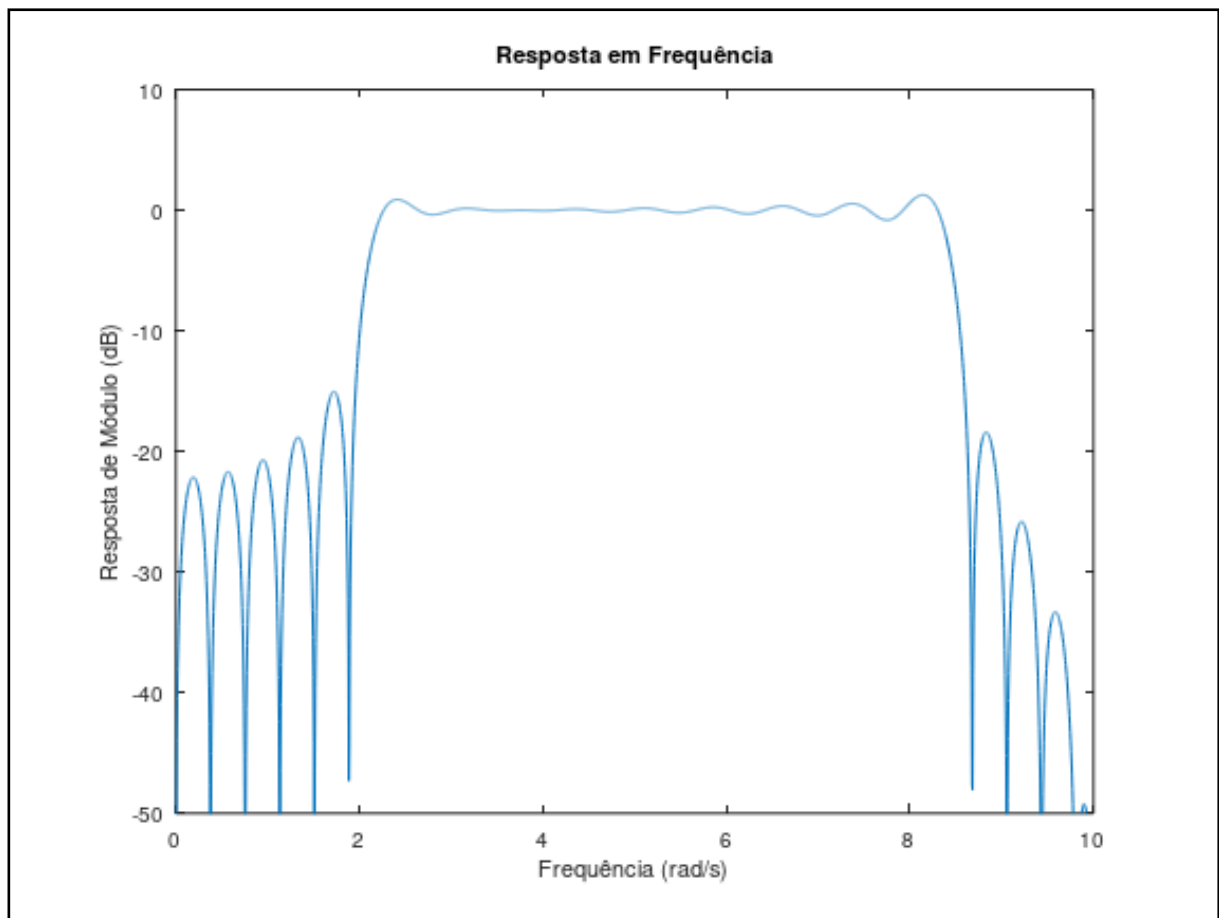
```

1  clear all; close all; clc;
2
3  % Define a ordem do filtro
4  M = 52;
5  % Define o comprimento do filtro
6  N = M + 1;
7
8  Omega_p1 = 3; % Frequência de rejeição 1
9  Omega_r1 = 2; % Frequência de passagem 1
10 Omega_r2 = 7; % Frequência de rejeição 2
11 Omega_p2 = 8; % Frequência de passagem 2
12 Omega_s = 20; % Frequência de amostragem
13
14 kp1 = floor(N * Omega_p1 / Omega_s); % Índice de rejeição 1
15 kr1 = floor(N * Omega_r1 / Omega_s); % Índice de passagem 1
16 kr2 = floor(N * Omega_r2 / Omega_s); % Índice de rejeição 2
17 kp2 = floor(N * Omega_p2 / Omega_s); % Índice de passagem 2
18
19 % Vetor de resposta em frequência
20 A = [zeros(1, kr1+1), ones(1, kp2 - kr1 + 1), zeros(1, kr2 - kp1 + 1)];
21
22 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
23 k = 1:M/2;
24 h = zeros(1, N);
25 for n = 0:M
26     h(n + 1) = 2 * sum((-1).^(k+1) .* A(k + 1) .* sin(pi * k * (1 + 2 *
27 n) / N));
28 end
29 h = h ./ N;
30
31 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
32
33 figure(1)
34 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
35 axis([0 10 -50 10])
36 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
37 xlabel('Frequência (rad/s)')
38 title('Resposta em Frequência')
39
40 figure(2)
41 stem(h)
42 ylabel('Resposta ao impulso')
43 xlabel('Amostras (n)')

```

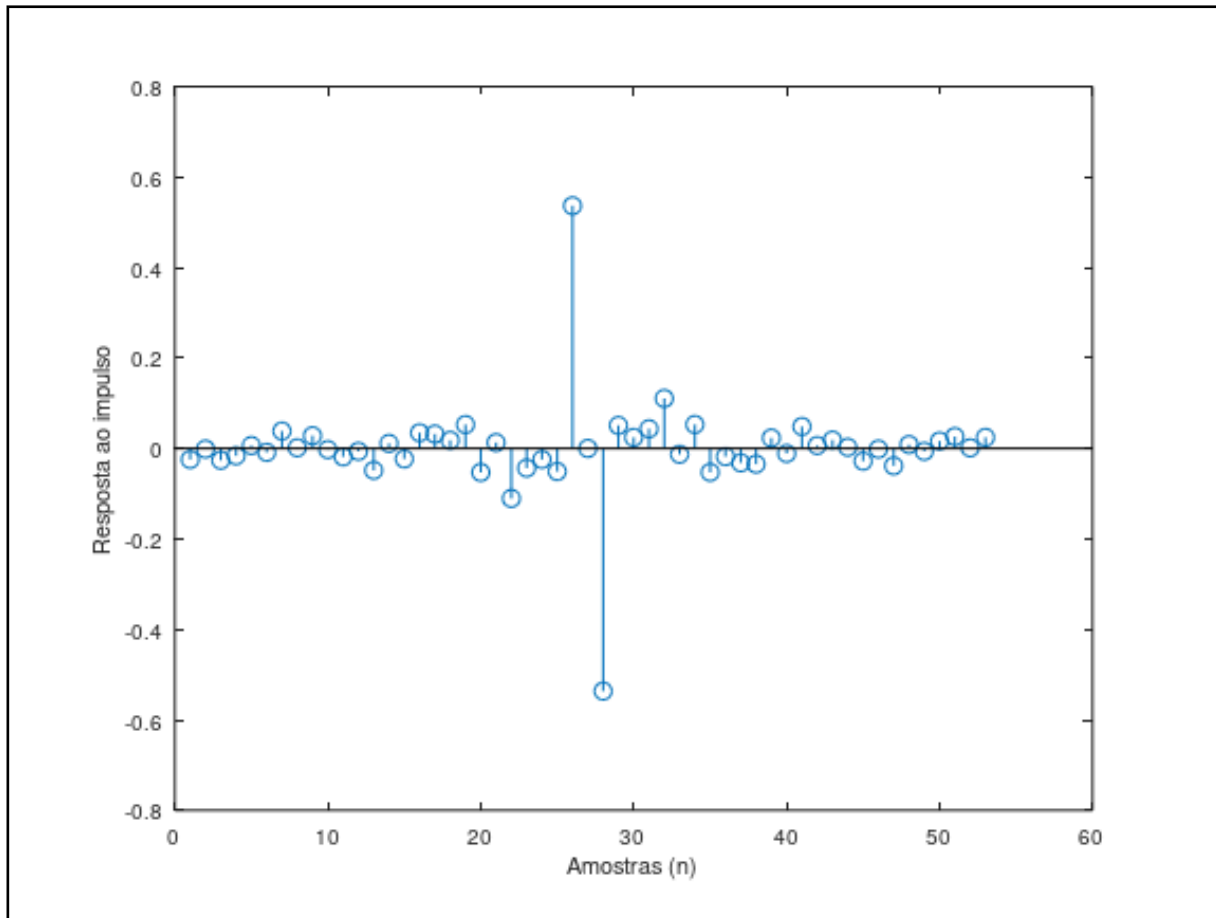
A partir deste script, temos os seguintes resultados:

Figura 11: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

Figura 12: Elaborada pelo Autor



Resposta ao impulso do filtro

Como podemos ver pelas imagens apresentadas, o filtro possui uma resposta em frequência com um ganho variável entre -20 e -50dB nas frequências de rejeição (menor que 2 e maior que 9 rad/s), e nas frequências de passagem (até 2 e a partir de 8 rad/s) um ganho 0 (tendo flutuações de acordo com a frequência). A resposta ao impulso do filtro é apresentada na segunda imagem, onde podemos ver que o filtro possui uma resposta ao impulso com 53 amostras, sendo a amostra central a de menor valor.

7. Questão 6:

Projete um filtro passa-baixas usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir

- $M = 53$
- $\Omega_p = 4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_r = 4,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_s = 10,0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

```
1 clear all; close all; clc;
2
3 % Define a ordem do filtro
```

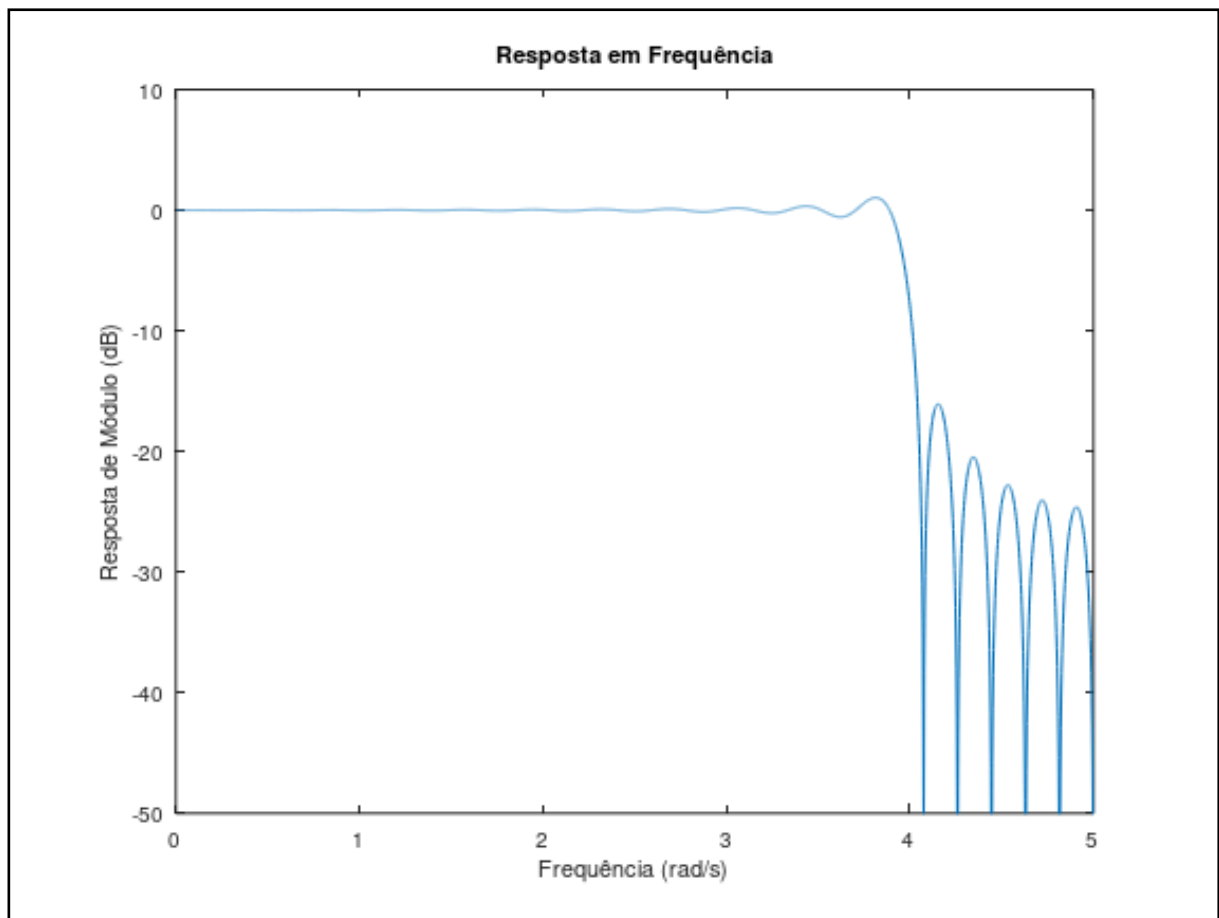
```

4  M = 53;
5  % Define o comprimento do filtro
6  N = M + 1;
7
8  Omega_p = 4; % Frequência de rejeição
9  Omega_r = 4.2; % Frequência de passagem
10 Omega_s = 10; % Frequência de amostragem
11
12 kp = floor(N * Omega_p / Omega_s); % Índice de passagem
13 kr = floor(N * Omega_r / Omega_s); % Índice de rejeição
14
15 % Vetor de resposta em frequência
16 A = [ones(1, kp + 1), zeros(1, N/2 - kp - 1)];
17
18 if (kr - kp) > 1
19     kp = kr - 1;
20 end
21
22 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
23 k = 1:M/2;
24 h = zeros(1, N);
25
26 % Realizando laço de criação do vetor de resposta ao impulso
27 for n = 0:M
28     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1).^k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2 *
29 n) / N));
30 end
31
32 % Normalização da resposta ao impulso
33 h = h ./ N;
34
35 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
36
37 figure(1)
38 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
39 axis([0 5 -50 10])
40 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
41 xlabel('Frequência (rad/s)')
42 title('Resposta em Frequência')
43
44 figure(2)
45 stem(h)
46 ylabel('Resposta ao impulso')
47 xlabel('Amostras (n)')

```

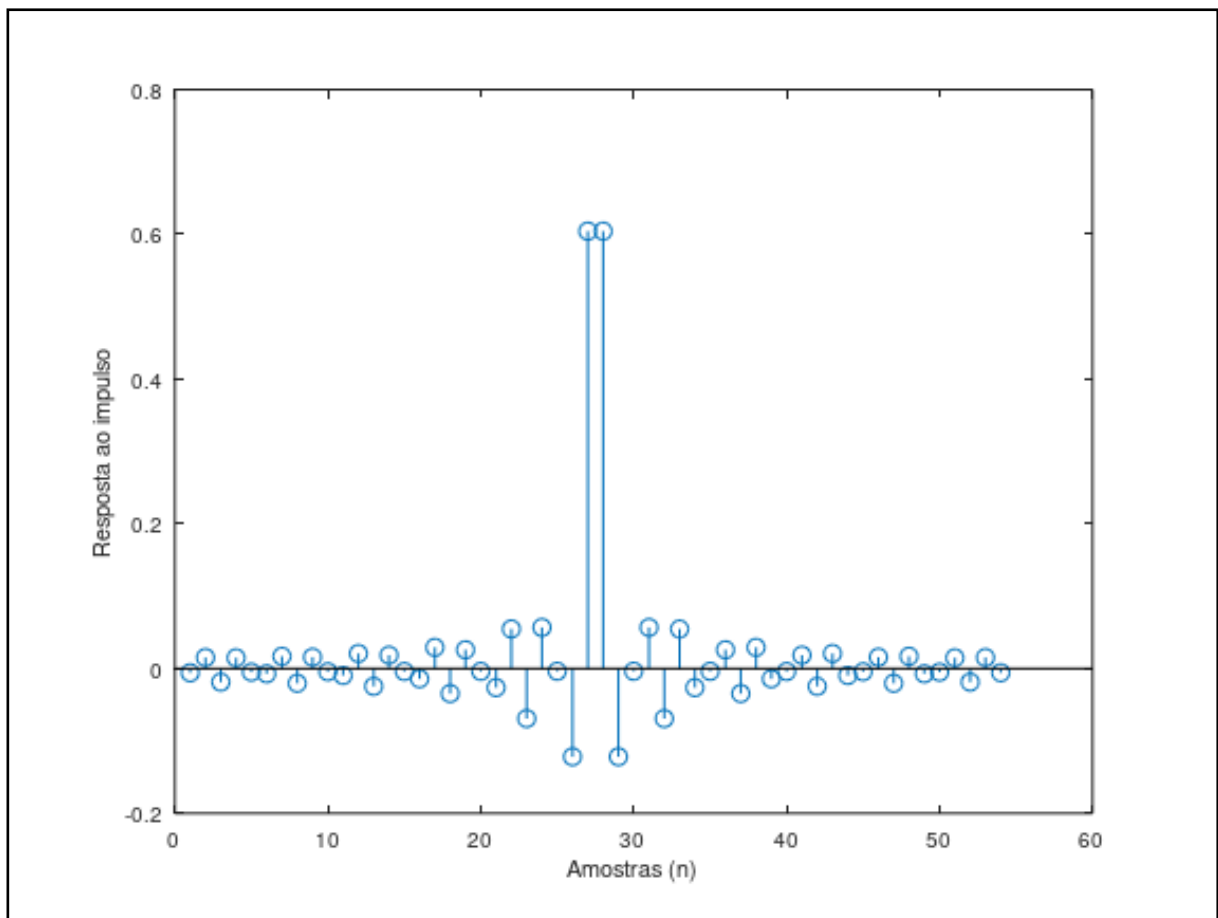
A partir deste script, temos os seguintes resultados:

Figura 13: Elaborada pelo Autor



Forma de filtragem do filtro projetado

Figura 14: Elaborada pelo Autor



Resposta ao impulso do filtro

Como podemos ver pelas imagens apresentadas, o filtro possui uma resposta em frequência com um ganho 0 dB nas frequências de passagem (até 4 rad/s), e nas frequências de rejeição (a partir de 4,2 rad/s) um ganho variável entre -20 e -50dB, variando de acordo com a frequência. A resposta ao impulso do filtro é apresentada na segunda imagem, onde podemos ver que o filtro possui uma resposta ao impulso com 54 amostras, sendo a amostra central a de maior valor.