



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

Laboratório de Amostragem - Aliasing em senoides

PSD129005 - PROCESSAMENTO DE SINAIS DIGITAIS (2025 .1 - T01)

PROF. ELEN MACEDO LOBATO

Wagner Flores dos Santos

25 de Março de 2025

Sumário

1. Enunciado	3
1.1. Cosseno: 30Hz, Amostragem: 50Hz	3
1.1.1. Faixa de Nyquist	3
1.1.2. Frequência reconstruída	3
1.1.3. Código Matlab:	3
1.1.4. Plot do Processo de Amostragem	4
1.1.5. Plot da Reconstrução do Sinal	4
1.1.6. Plot do Espectro do Sinal	5
1.2. Cosseno: 40Hz, Amostragem: 15Hz	6
1.2.1. Faixa de Nyquist	6
1.2.2. Frequência reconstruída	6
1.2.3. Código Matlab:	6
1.2.4. Plot do Processo de Amostragem	7
1.2.5. Plot da Reconstrução do Sinal	8
1.2.6. Plot do Espectro do Sinal	9
1.3. Cosseno: 10Hz, Amostragem: 50Hz	10
1.3.1. Faixa de Nyquist	10
1.3.2. Frequência reconstruída	10
1.3.3. Código Matlab:	10
1.3.4. Plot do Processo de Amostragem	11
1.3.5. Plot da Reconstrução do Sinal	12
1.3.6. Plot do Espectro do Sinal	13
1.4. Cosseno: 20Hz, Amostragem: 40Hz	14
1.4.1. Faixa de Nyquist	14
1.4.2. Frequência reconstruída	14
1.4.3. Código Matlab:	14
1.4.4. Plot do Processo de Amostragem	15
1.4.5. Plot da Reconstrução do Sinal	16
1.4.6. Plot do Espectro do Sinal	17
1.5. Conclusão	18

1. Enunciado

Seguindo o procedimento descrito no Laboratório de Amostragem, verifique o aliasing e calcule a frequência dos co-senos reconstruídos nos seguintes casos:

1.1. Cosseno: 30Hz, Amostragem: 50Hz

1.1.1. Faixa de Nyquist

$50/2 = 25$ Hz, 30 Hz está fora da faixa de Nyquist

1.1.2. Frequência reconstruída

$$|30 - 50 \times 1| = 20 \text{ Hz}$$

1.1.3. Código Matlab:

```
clc; clear; close all;

% Cosseno (f_cos): 30Hz, Amostragem(f_s): 50Hz
f_cos = 30;
f_s = 50;

% Sinal analógico inicial
[m,t] = makecos(f_cos);

% Trem de impulso para amostrar nosso sinal
[it1,ts1] = makeimp(f_s);

% Sinal original
ms1 = sampleit1(t,m,ts1);

% Todos os sinais para visualizar o processo de amostragem
c1 = 'r'; % cor para o primeiro cenário
smp1_plot(t,m,ts1,it1,ms1,c1);

% Reconstrução do sinal amostrado
mr = intersinc(ms1,ts1,t);

% Plot do sinal original e reconstruído
recon_plot(t,m,ts1,ms1,mr,c1);

% Análise espectral
f = (-5000/2):(1/2):(5000/2);
M = am_spectrum(m);
MR = am_spectrum(mr);
am_plot(f,M,MR,0.02);

% Cálculo da frequência reconstruída considerando aliasing
nyquist = f_s / 2;
```

```
k = round(f_cos / f_s);
f_alias = abs(f_cos - k*f_s)
```

Saída:

```
f_alias =

    20
```

1.1.4. Plot do Processo de Amostragem

```
spl_plot(t,m,tsl,itl,msl,cl);
```

Linha contínua: representa o sinal analógico original $m(t)$.

Impulsos verticais: indicam os pontos onde o sinal foi amostrado, correspondendo a t_s .

Pontos marcados: representam os valores amostrados m_s .

Objetivo: visualizar como o sinal analógico foi discretizado para processamento digital.

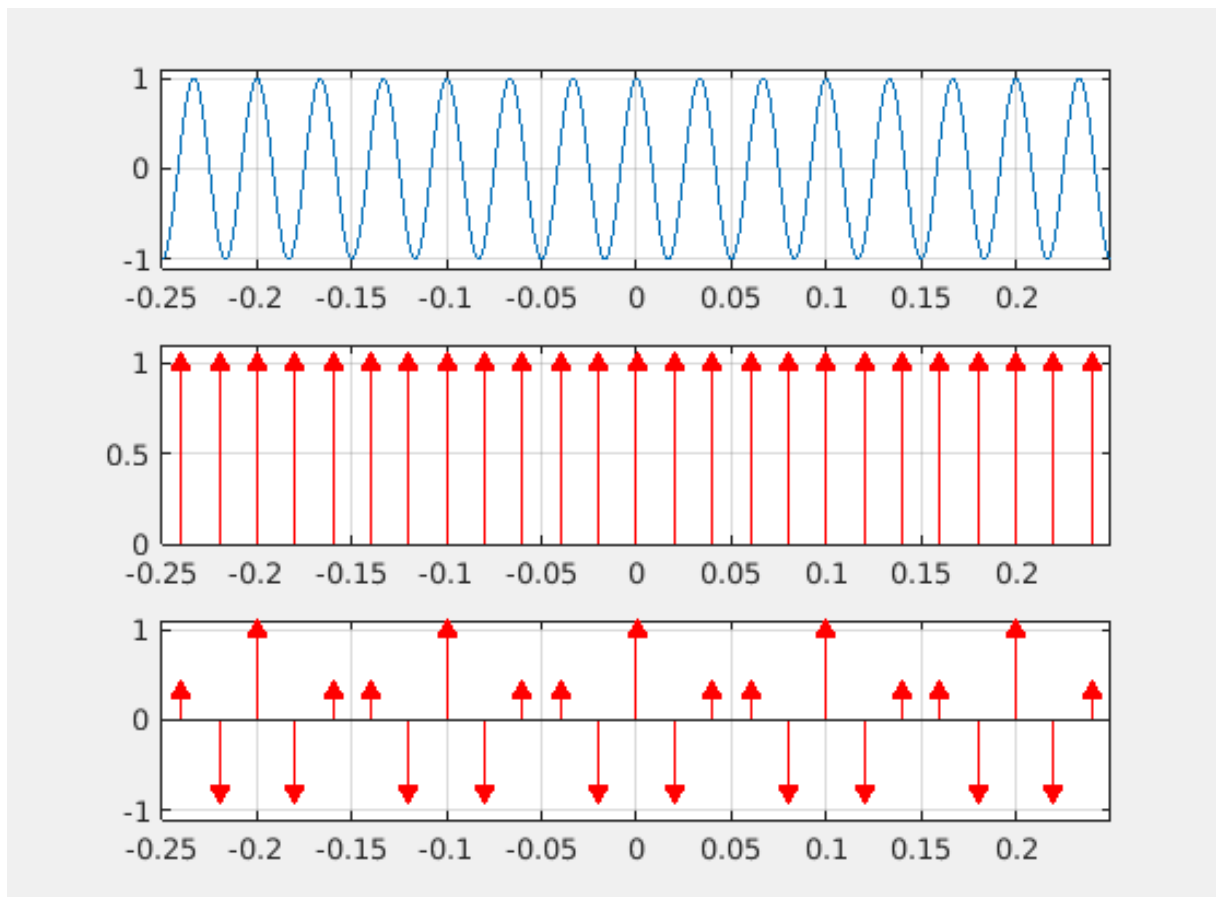


Figure 1: Plot processo de amostragem

1.1.5. Plot da Reconstrução do Sinal

```
recon_plot(t,m,tsl,msl,mr,cl);
```

Linha contínua (original): o sinal analógico antes da amostragem.

Pontos discretos: as amostras coletadas a partir do sinal original.

Linha reconstruída: a reconstrução do sinal a partir das amostras usando interpolação sinc.

Objetivo: comparar o sinal original com o sinal reconstruído e observar distorções devido ao aliasing.

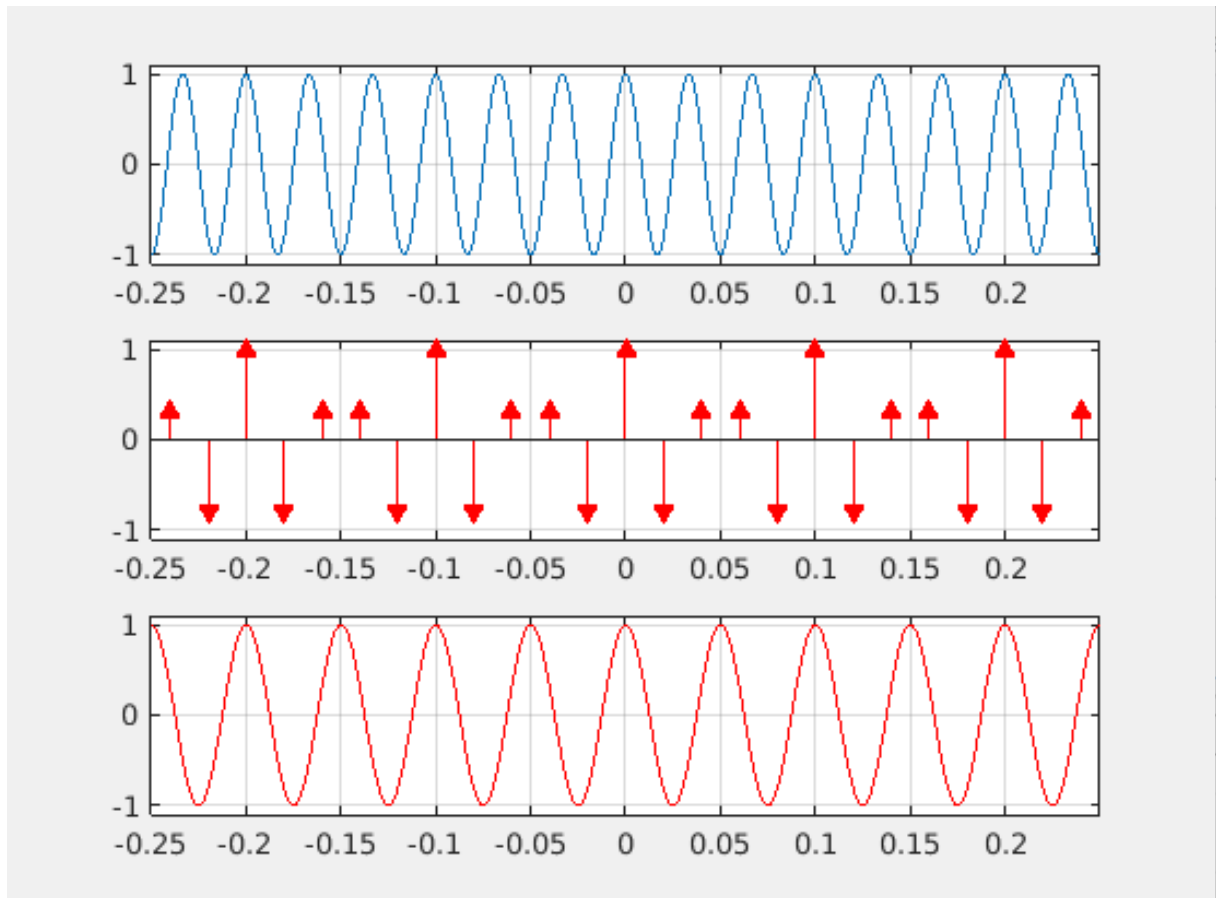


Figure 2: Plot da reconstrução do sinal

1.1.6. Plot do Espectro do Sinal

```
am_plot(f,M,MR,0.02);
```

Eixo X: frequência (f), mostrando a distribuição espectral.

Eixo Y: magnitude do espectro.

Gráficos plotados:

M → Espectro do sinal original.

MR → Espectro do sinal reconstruído.

Objetivo: visualizar o efeito do aliasing no domínio da frequência, verificando se ocorreu sobreposição espectral.

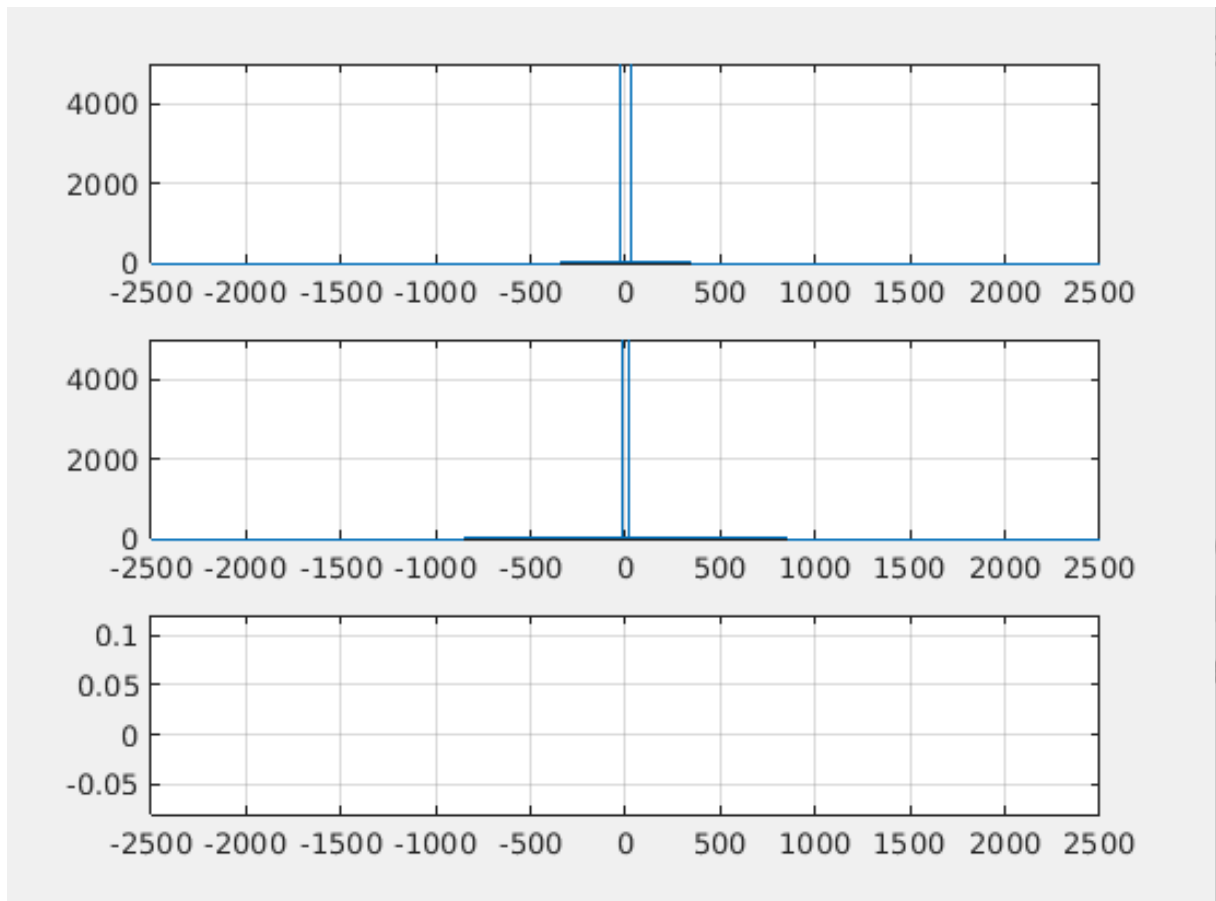


Figure 3: Plot espectro do sinal

1.2. Cosseno: 40Hz, Amostragem: 15Hz

1.2.1. Faixa de Nyquist

$15/2 = 7,5$ Hz, 40 Hz está fora da faixa de Nyquist

1.2.2. Frequência reconstruída

$$|40 - 15 \times 3| = 5 \text{ Hz}$$

1.2.3. Código Matlab:

```
clc; clear; close all;

% Cosseno (f_cos): 40Hz, Amostragem(f_s): 15Hz
f_cos = 40;
f_s = 15;

% Sinal analógico inicial
[m,t] = makecos(f_cos);

% Trem de impulso para amostrar nosso sinal
[it1,ts1] = makeimp(f_s);
```

```

% Sinal original
ms1 = sampleit1(t,m,ts1);

% Todos os sinais para visualizar o processo de amostragem
c1 = 'r'; % cor para o primeiro cenário
smp1_plot(t,m,ts1,it1,ms1,c1);

% Reconstrução do sinal amostrado
mr = intersinc(ms1,ts1,t);

% Plot do sinal original e reconstruído
recon_plot(t,m,ts1,ms1,mr,c1);

% Análise espectral
f = (-5000/2):(1/2):(5000/2);
M = am_spectrum(m);
MR = am_spectrum(mr);
am_plot(f,M,MR,0.02);

% Cálculo da frequência reconstruída considerando aliasing
nyquist = f_s / 2;
k = round(f_cos / f_s);
f_alias = abs(f_cos - k*f_s)

```

Saída:

```

f_alias =

    5

```

1.2.4. Plot do Processo de Amostragem

```
smp1_plot(t,m,ts1,it1,ms1,c1);
```

Linha contínua: representa o sinal analógico original $m(t)$.

Impulsos verticais: indicam os pontos onde o sinal foi amostrado, correspondendo a t_s .

Pontos marcados: representam os valores amostrados m_s .

Objetivo: visualizar como o sinal analógico foi discretizado para processamento digital.

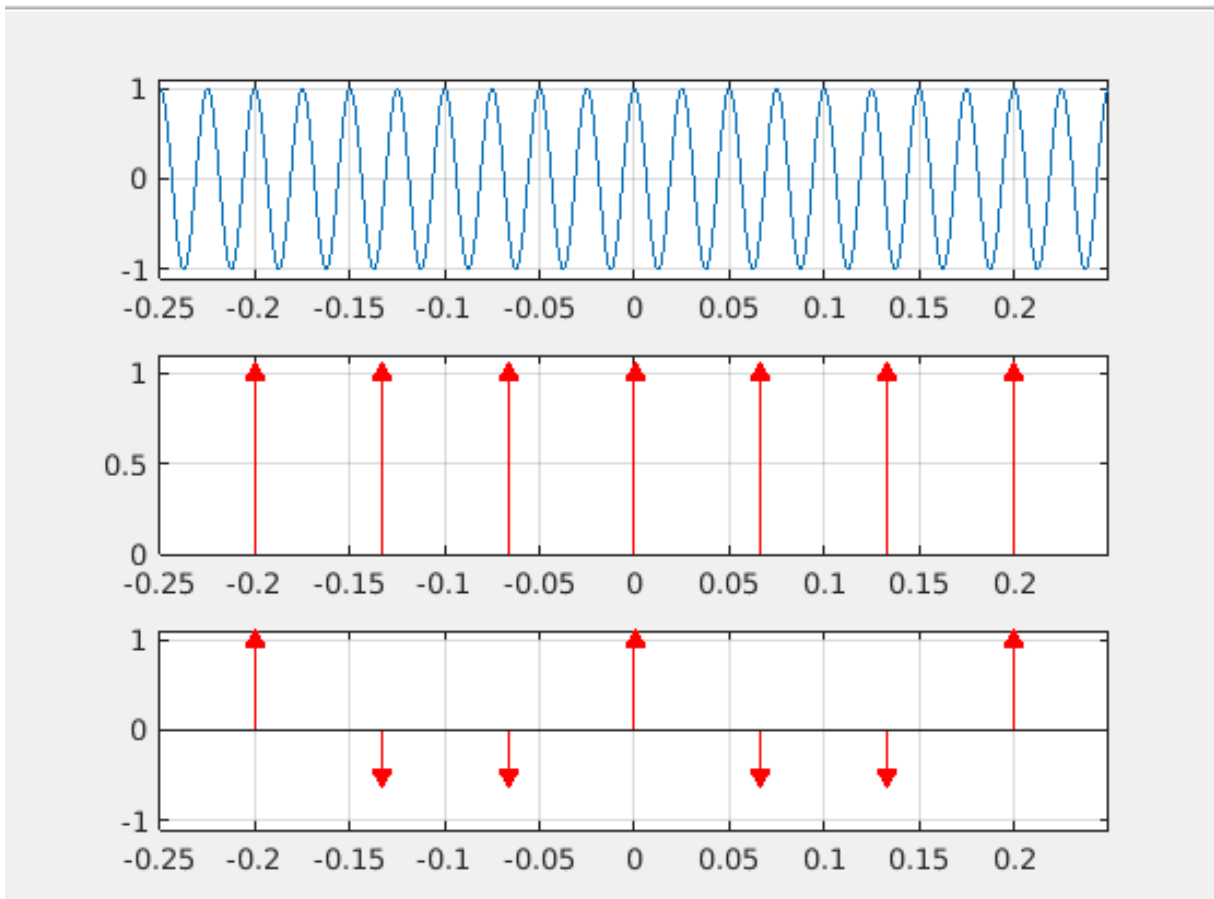


Figure 4: Plot processo de amostragem

1.2.5. Plot da Reconstrução do Sinal

`recon_plot(t,m,ts1,ms1,mr,c1);`

Linha contínua (original): o sinal analógico antes da amostragem.

Pontos discretos: as amostras coletadas a partir do sinal original.

Linha reconstruída: a reconstrução do sinal a partir das amostras usando interpolação sinc.

Objetivo: comparar o sinal original com o sinal reconstruído e observar distorções devido ao aliasing.

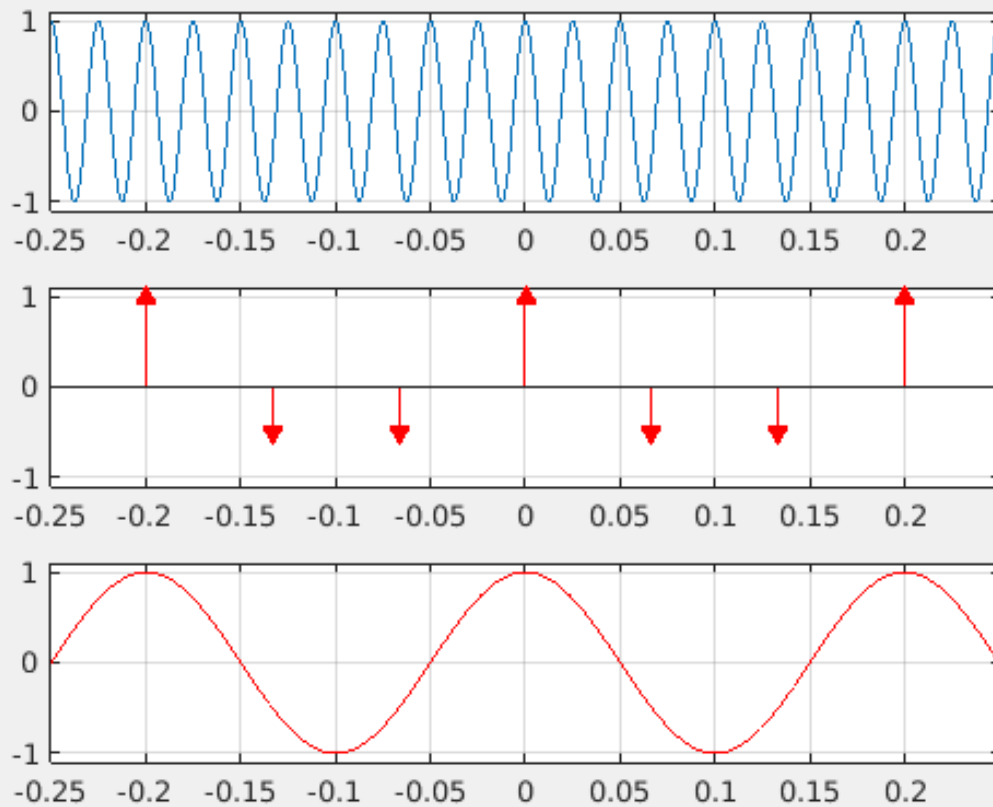


Figure 5: Plot da reconstrução do sinal

1.2.6. Plot do Espectro do Sinal

`am_plot(f,M,MR,0.02);`

Eixo X: frequência (f), mostrando a distribuição espectral.

Eixo Y: magnitude do espectro.

Gráficos plotados:

M → Espectro do sinal original.

MR → Espectro do sinal reconstruído.

Objetivo: visualizar o efeito do aliasing no domínio da frequência, verificando se ocorreu sobreposição espectral.

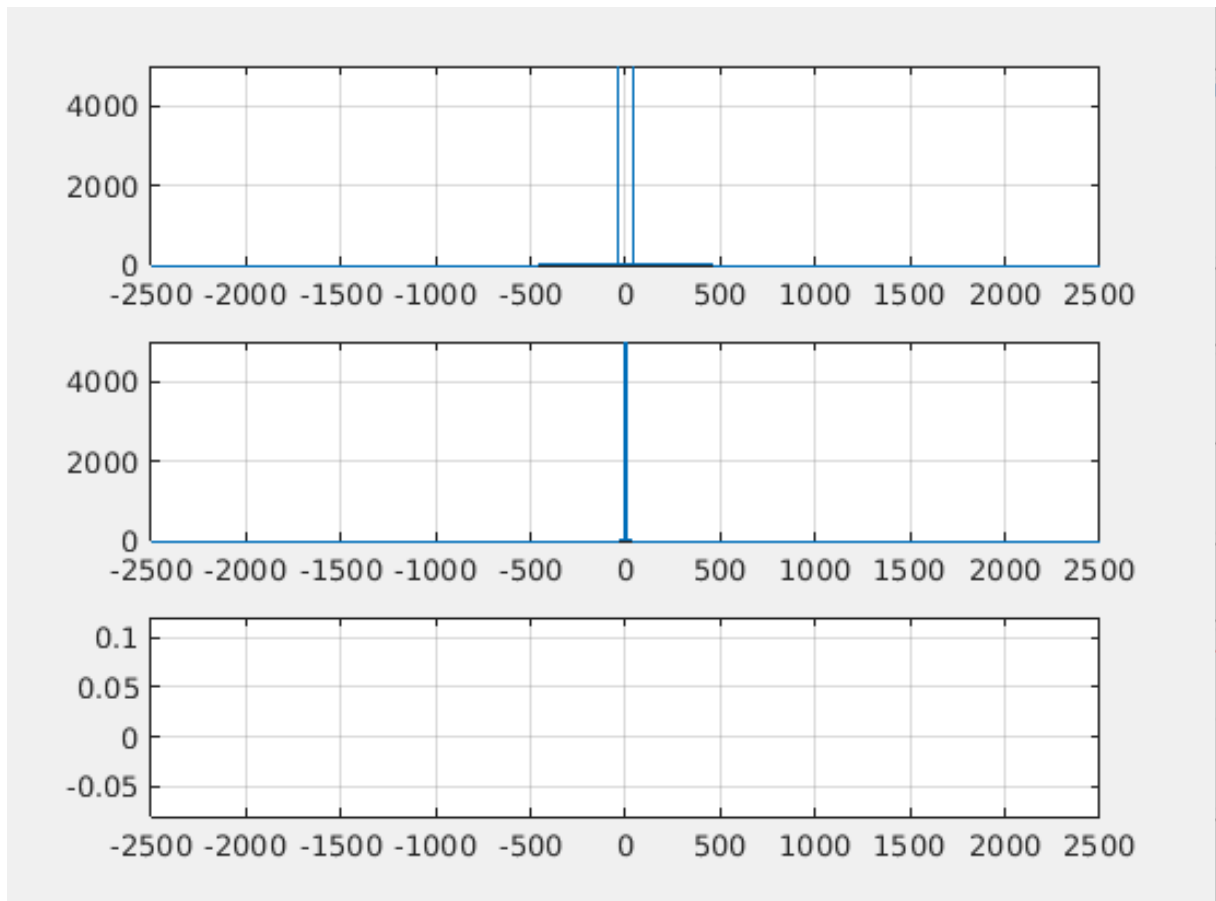


Figure 6: Plot espectro do sinal

1.3. Cosseno: 10Hz, Amostragem: 50Hz

1.3.1. Faixa de Nyquist

$50/2 = 25$ Hz, 10 Hz está dentro da faixa de Nyquist

1.3.2. Frequência reconstruída

10 Hz

1.3.3. Código Matlab:

```
clc; clear; close all;

% Cosseno (f_cos): 10Hz, Amostragem(f_s): 50Hz
f_cos = 10;
f_s = 50;

% Sinal analógico inicial
[m,t] = makecos(f_cos);

% Trem de impulso para amostrar nosso sinal
[it1,ts1] = makeimp(f_s);
```

```

% Sinal original
ms1 = sampleit1(t,m,ts1);

% Todos os sinais para visualizar o processo de amostragem
c1 = 'r'; % cor para o primeiro cenário
smp1_plot(t,m,ts1,it1,ms1,c1);

% Reconstrução do sinal amostrado
mr = intersinc(ms1,ts1,t);

% Plot do sinal original e reconstruído
recon_plot(t,m,ts1,ms1,mr,c1);

% Análise espectral
f = (-5000/2):(1/2):(5000/2);
M = am_spectrum(m);
MR = am_spectrum(mr);
am_plot(f,M,MR,0.02);

% Cálculo da frequência reconstruída considerando aliasing
nyquist = f_s / 2;
k = round(f_cos / f_s);
f_alias = abs(f_cos - k*f_s)

```

Saída:

```

f_alias =

    10

```

1.3.4. Plot do Processo de Amostragem

```
smp1_plot(t,m,ts1,it1,ms1,c1);
```

Linha contínua: representa o sinal analógico original $m(t)$.

Impulsos verticais: indicam os pontos onde o sinal foi amostrado, correspondendo a t_s .

Pontos marcados: representam os valores amostrados m_s .

Objetivo: visualizar como o sinal analógico foi discretizado para processamento digital.

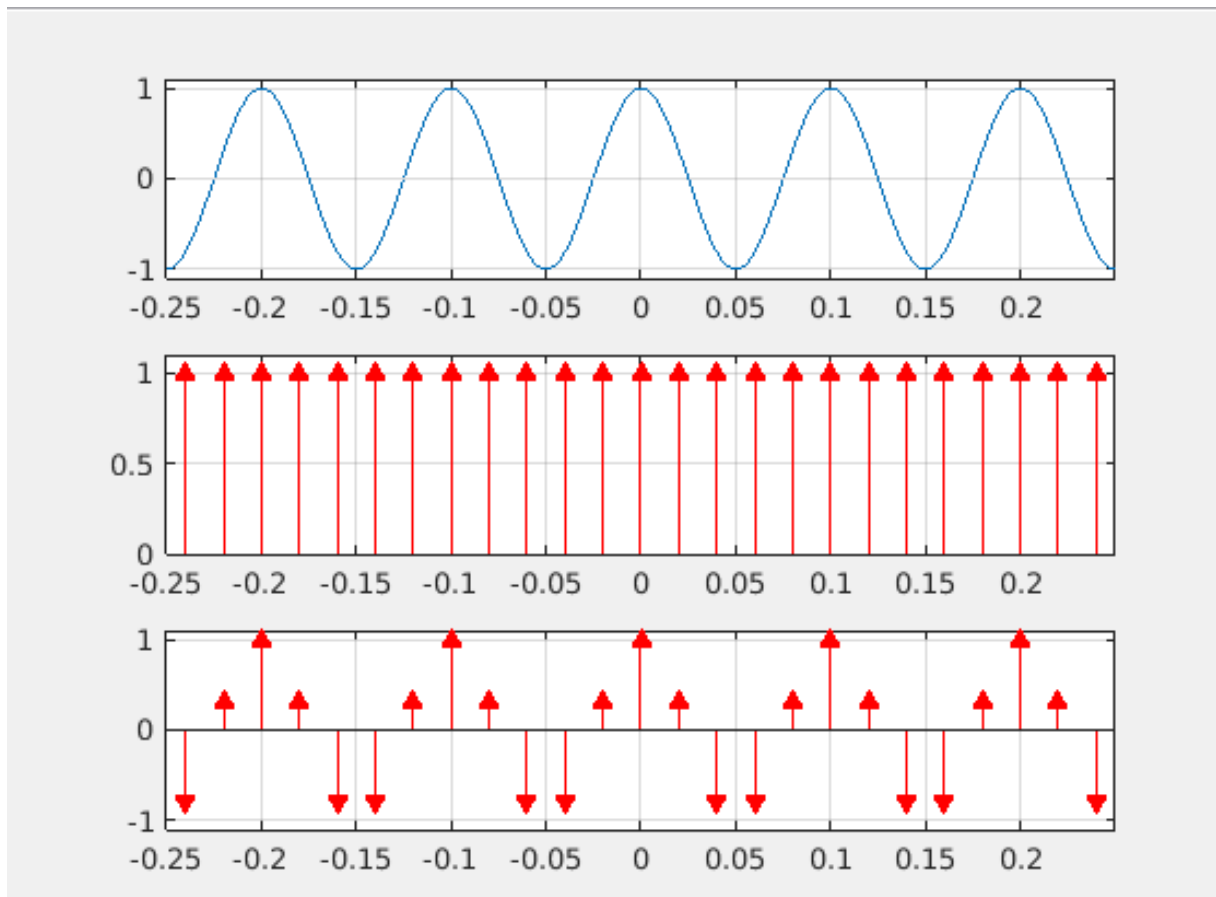


Figure 7: Plot processo de amostragem

1.3.5. Plot da Reconstrução do Sinal

`recon_plot(t,m,ts1,ms1,mr,c1);`

Linha contínua (original): o sinal analógico antes da amostragem.

Pontos discretos: as amostras coletadas a partir do sinal original.

Linha reconstruída: a reconstrução do sinal a partir das amostras usando interpolação sinc.

Objetivo: comparar o sinal original com o sinal reconstruído e observar distorções devido ao aliasing.

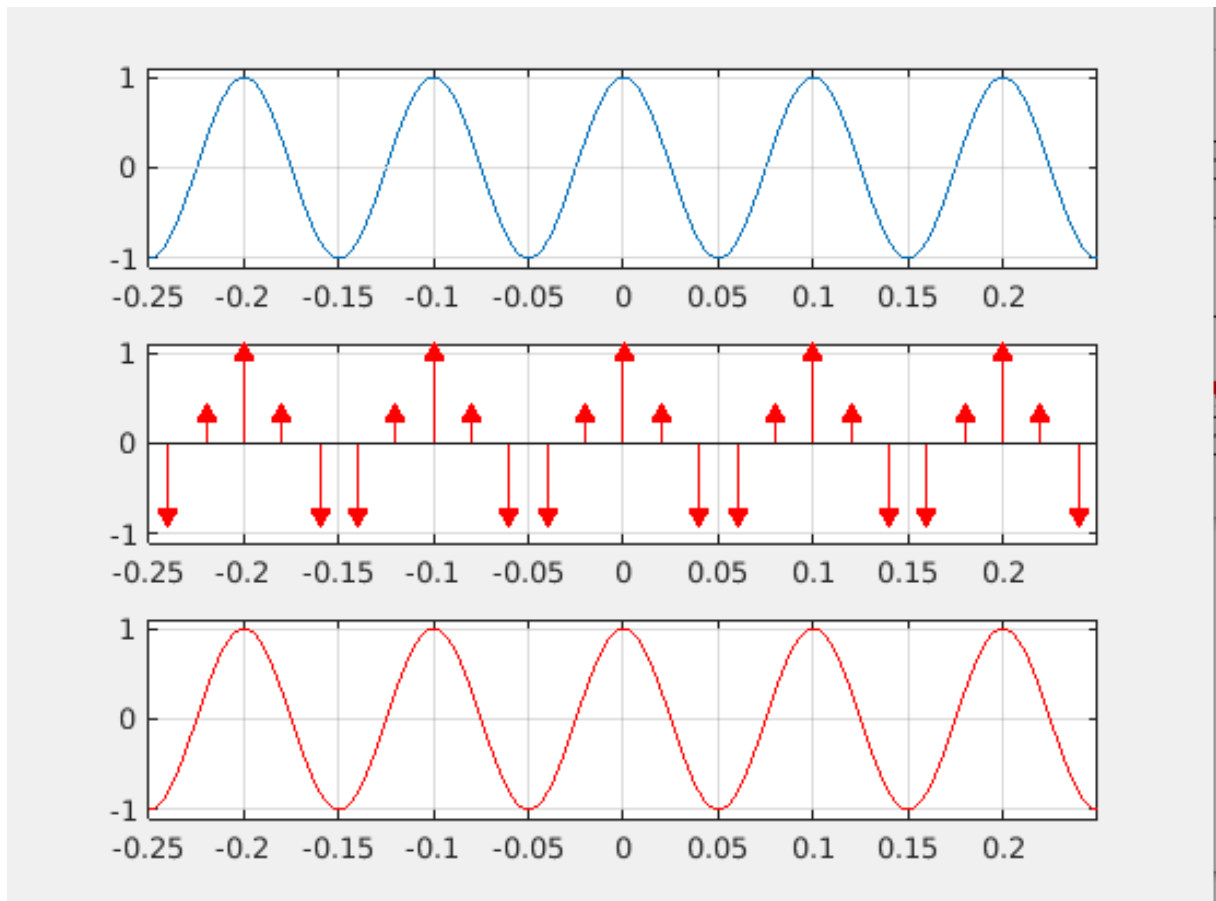


Figure 8: Plot da reconstrução do sinal

1.3.6. Plot do Espectro do Sinal

```
am_plot(f,M,MR,0.02);
```

Eixo X: frequência (f), mostrando a distribuição espectral.

Eixo Y: magnitude do espectro.

Gráficos plotados:

M → Espectro do sinal original.

MR → Espectro do sinal reconstruído.

Objetivo: visualizar o efeito do aliasing no domínio da frequência, verificando se ocorreu sobreposição espectral.

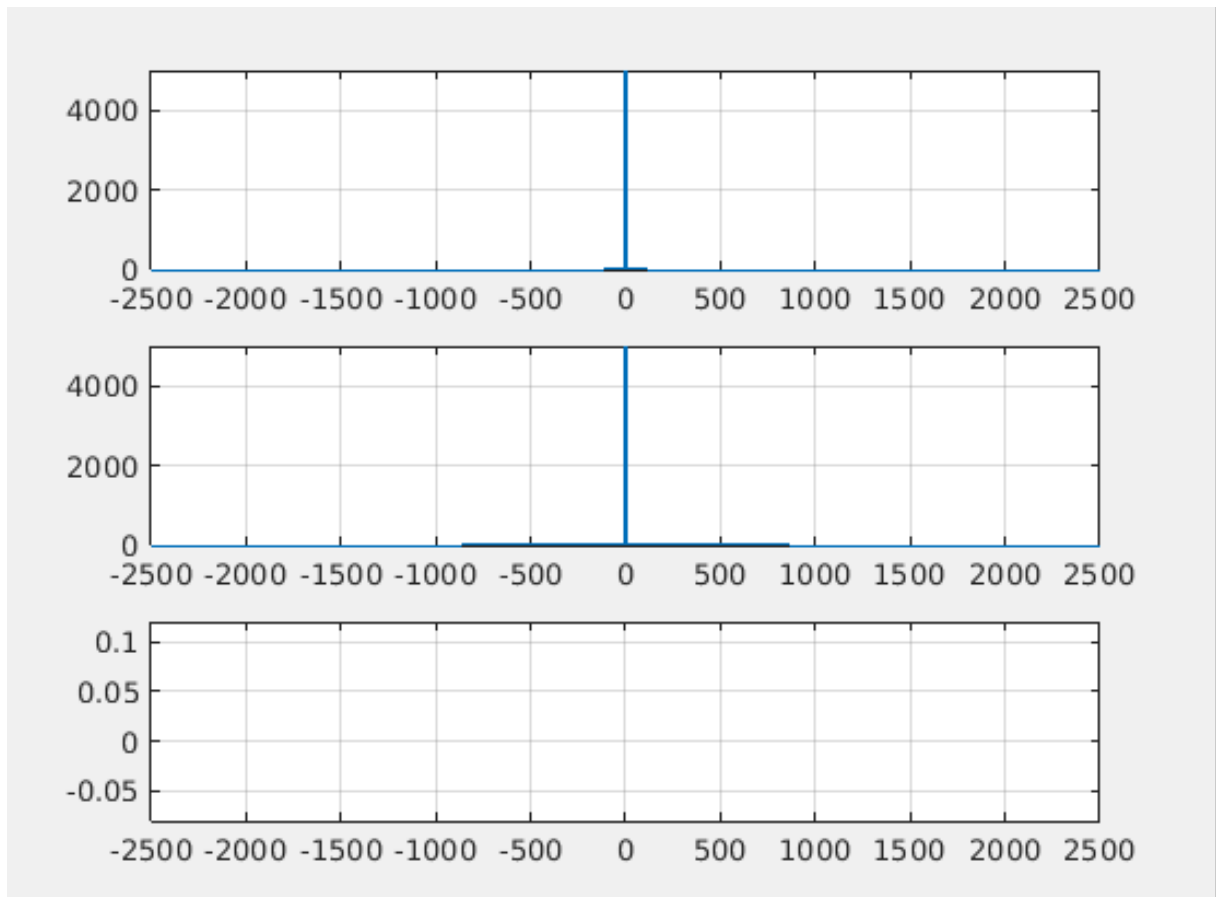


Figure 9: Plot espectro do sinal

1.4. Cosseno: 20Hz, Amostragem: 40Hz

1.4.1. Faixa de Nyquist

$40/2 = 20$ Hz, 20 Hz está exatamente na faixa de Nyquist, como está no limite, não há aliasing (se o amostrador for ideal)

1.4.2. Frequência reconstruída

20 Hz

1.4.3. Código Matlab:

```
clc; clear; close all;

% Cosseno (f_cos): 20Hz, Amostragem(f_s): 40Hz
f_cos = 20;
f_s = 40;

% Sinal analógico inicial
[m,t] = makecos(f_cos);

% Trem de impulso para amostrar nosso sinal
```

```

[it1,ts1] = makeimp(f_s);

% Sinal original
ms1 = sampleit1(t,m,ts1);

% Todos os sinais para visualizar o processo de amostragem
c1 = 'r'; % cor para o primeiro cenário
smp1_plot(t,m,ts1,it1,ms1,c1);

% Reconstrução do sinal amostrado
mr = intersinc(ms1,ts1,t);

% Plot do sinal original e reconstruído
recon_plot(t,m,ts1,ms1,mr,c1);

% Análise espectral
f = (-5000/2):(1/2):(5000/2);
M = am_spectrum(m);
MR = am_spectrum(mr);
am_plot(f,M,MR,0.02);

% Cálculo da frequência reconstruída considerando aliasing
nyquist = f_s / 2;
k = round(f_cos / f_s);
f_alias = abs(f_cos - k*f_s)

Saída:

f_alias =

    20

```

1.4.4. Plot do Processo de Amostragem

```
smp1_plot(t,m,ts1,it1,ms1,c1);
```

Linha contínua: representa o sinal analógico original $m(t)$.

Impulsos verticais: indicam os pontos onde o sinal foi amostrado, correspondendo a t_s .

Pontos marcados: representam os valores amostrados m_s .

Objetivo: visualizar como o sinal analógico foi discretizado para processamento digital.

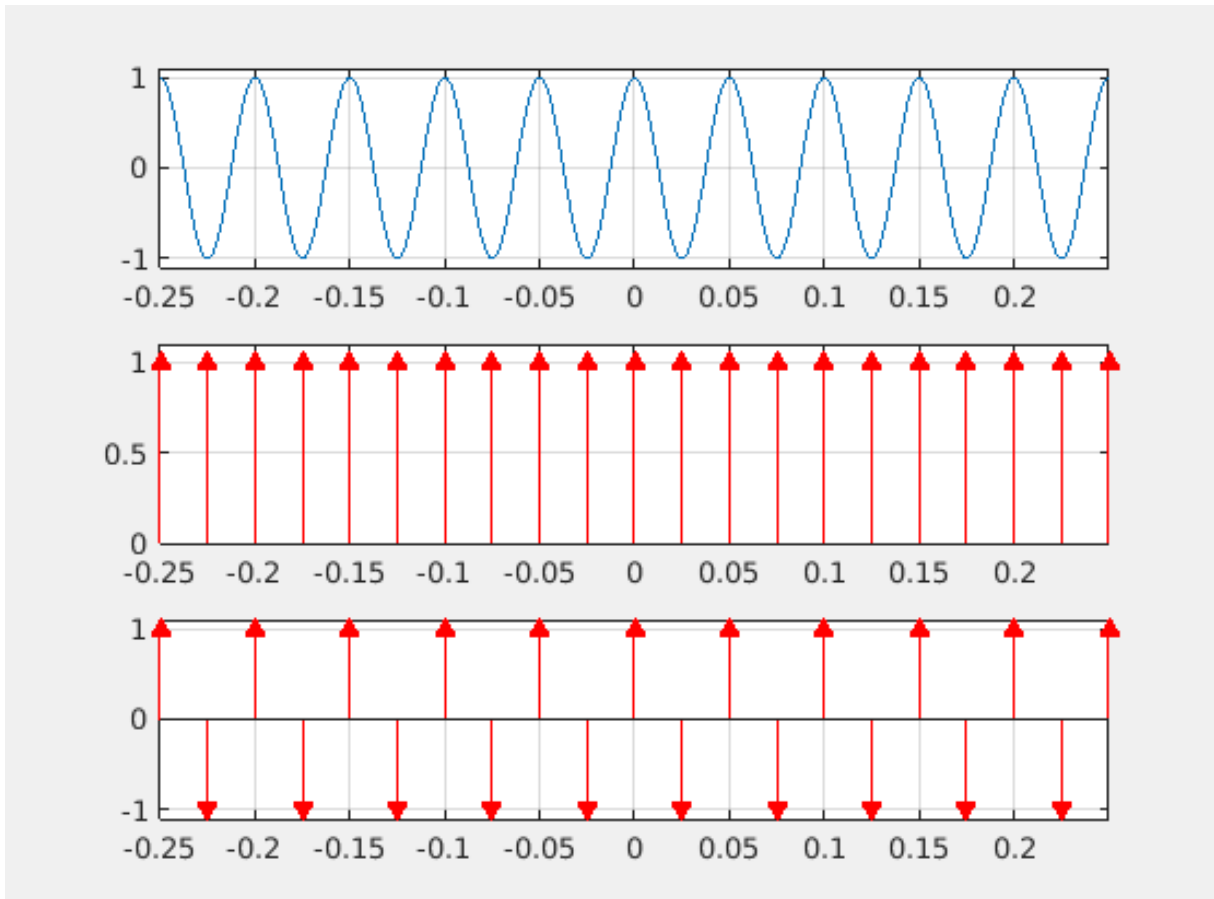


Figure 10: Plot processo de amostragem

1.4.5. Plot da Reconstrução do Sinal

`recon_plot(t,m,ts1,ms1,mr,c1);`

Linha contínua (original): o sinal analógico antes da amostragem.

Pontos discretos: as amostras coletadas a partir do sinal original.

Linha reconstruída: a reconstrução do sinal a partir das amostras usando interpolação sinc.

Objetivo: comparar o sinal original com o sinal reconstruído e observar distorções devido ao aliasing.

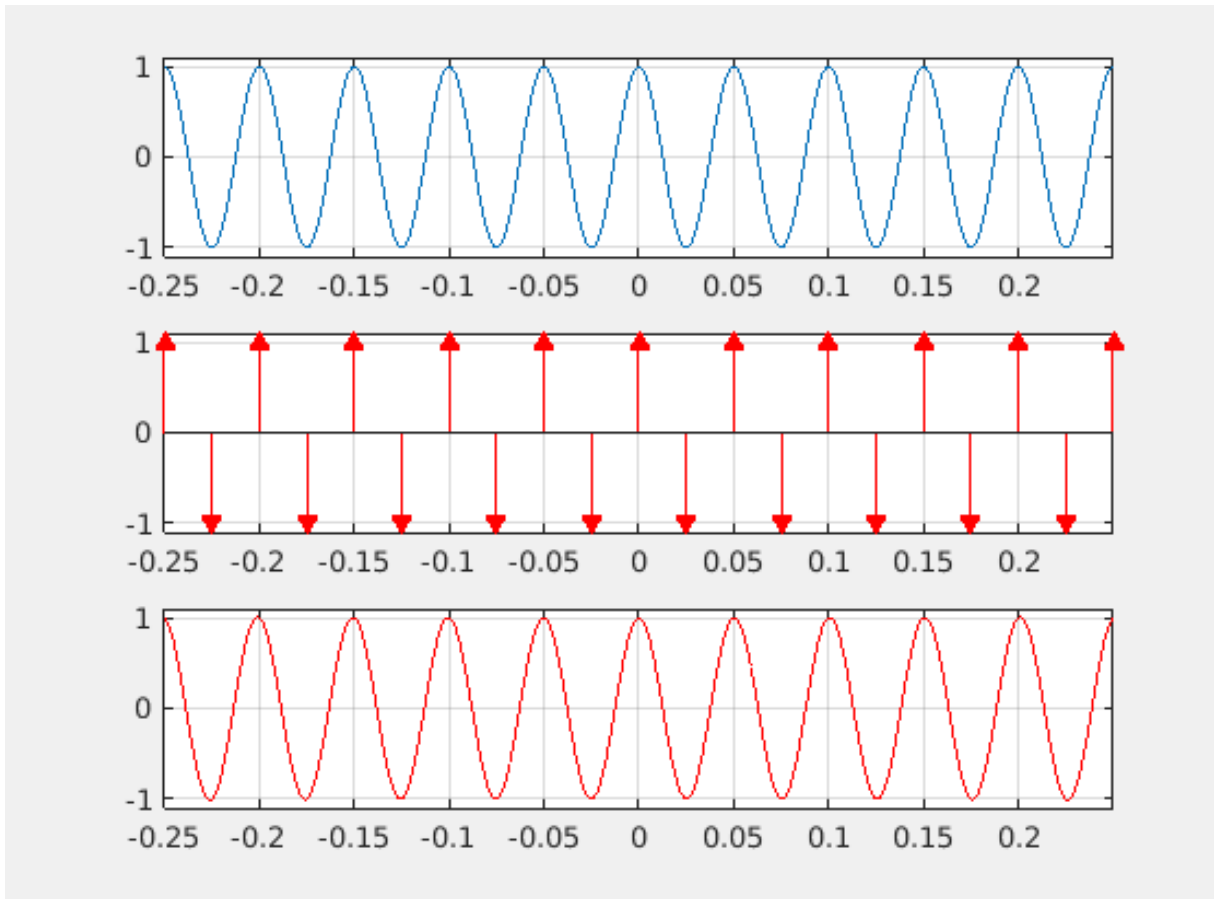


Figure 11: Plot da reconstrução do sinal

1.4.6. Plot do Espectro do Sinal

`am_plot(f,M,MR,0.02);`

Eixo X: frequência (f), mostrando a distribuição espectral.

Eixo Y: magnitude do espectro.

Gráficos plotados:

M → Espectro do sinal original.

MR → Espectro do sinal reconstruído.

Objetivo: visualizar o efeito do aliasing no domínio da frequência, verificando se ocorreu sobreposição espectral.

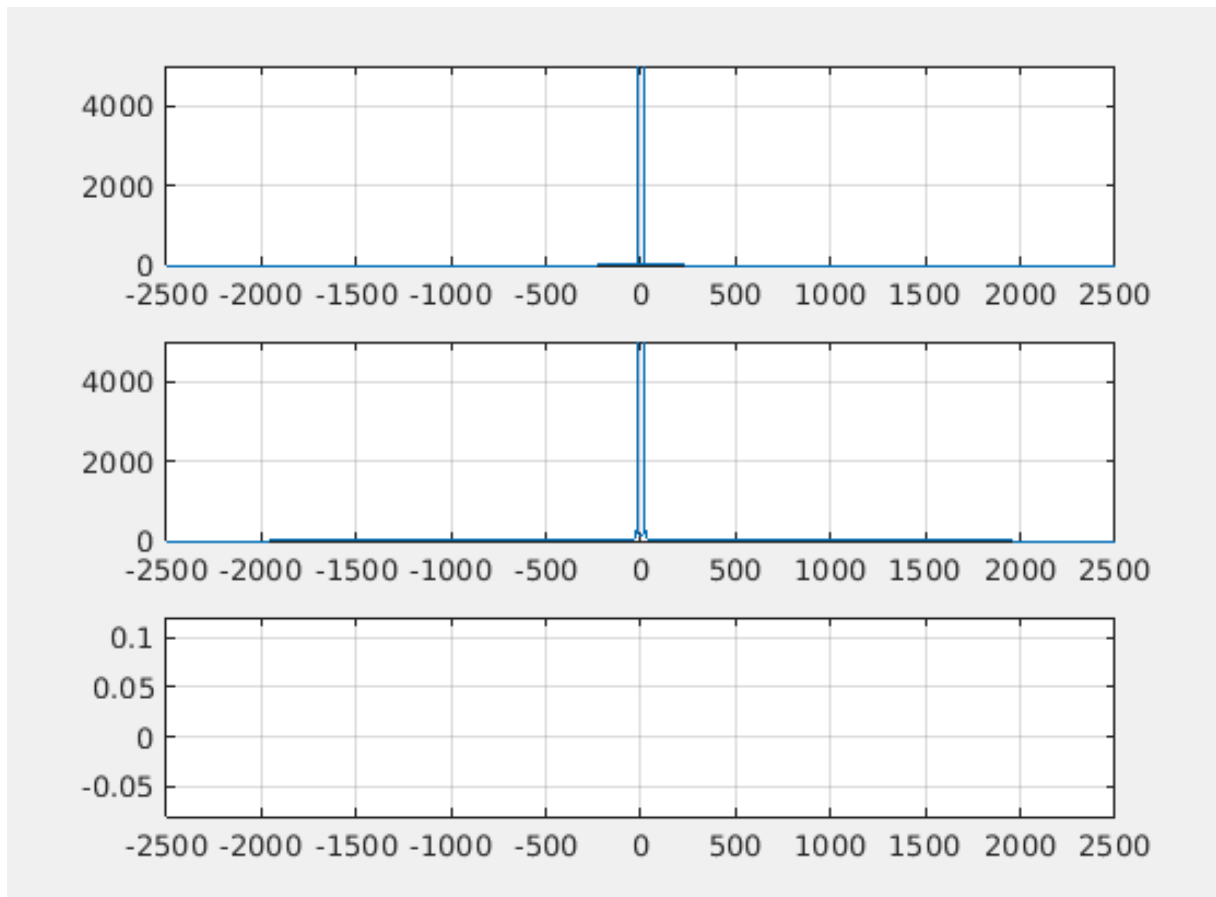


Figure 12: Plot espectro do sinal

1.5. Conclusão

Neste experimento, analisamos os efeitos da amostragem em sinais cossenoidais com diferentes frequências e taxas de amostragem. Utilizando a teoria da amostragem e o critério de Nyquist, verificamos quando a reconstrução do sinal é exata e quando ocorre aliasing.

Os resultados demonstraram que: Quando $f_s > 2f$, a reconstrução do sinal foi bem-sucedida, sem distorções, pois o sinal permaneceu dentro da faixa de Nyquist.

Quando $f_s < 2f$, houve aliasing, e a frequência do sinal reconstruído diferiu da original, evidenciando a perda de informações.

A análise espectral confirmou a presença de sobreposição espectral nos casos de aliasing, reforçando a importância de uma taxa de amostragem adequada para evitar distorções na reconstrução do sinal.