

# Lab 02 - Telecomunicações

## Experimento 1 - Utilizando $m = 0.3$

Código:

```
fs = 25
fc = 250
A = 10
Em = 3
m = Em/A

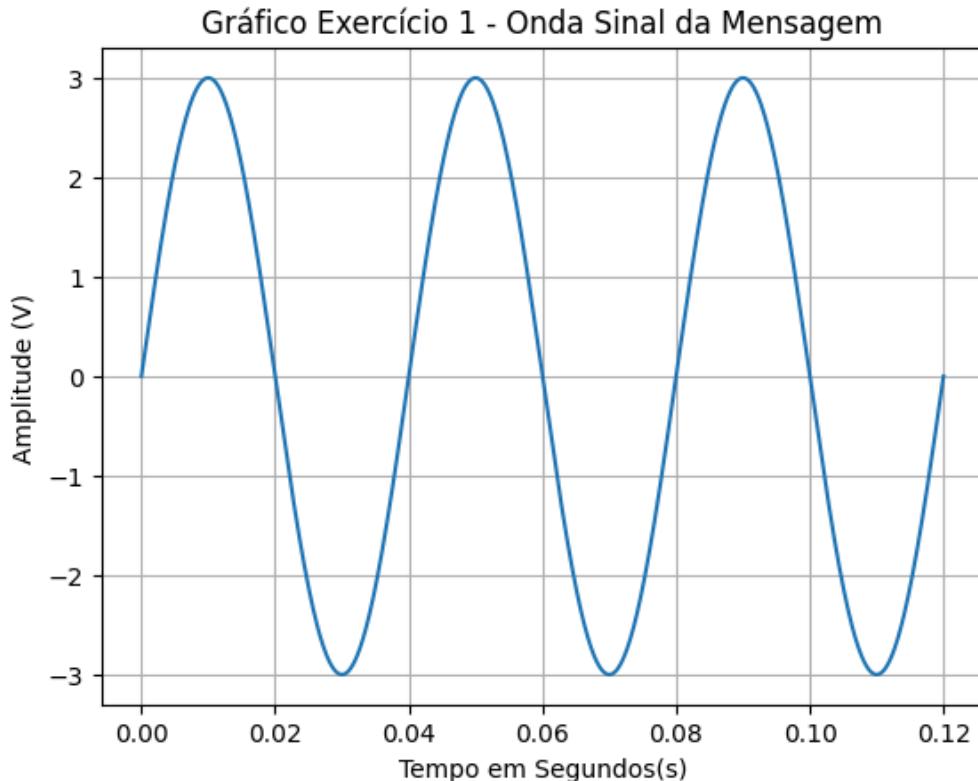
Tm = 1/fs
t = np.linspace(0, 3*Tm, 1000)

mensagem = Em*np.sin(2*np.pi*fs*t)

plt.plot(t, mensagem)

plt.xlabel("Tempo em Segundos(s)")
plt.ylabel("Amplitude (V)")
plt.title("Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal da Mensagem")
plt.grid(True)
plt.figure(1)
plt.show()
```

## Sinal Gerado:



No sinal da mensagem é possível visualizar que ela tem uma amplitude de 3V(Em) e apresenta uma frequência de 25Hz, visto pelo seu período de 0.04.  $f = 1/0.04 = 25\text{Hz}$ .

## Código:

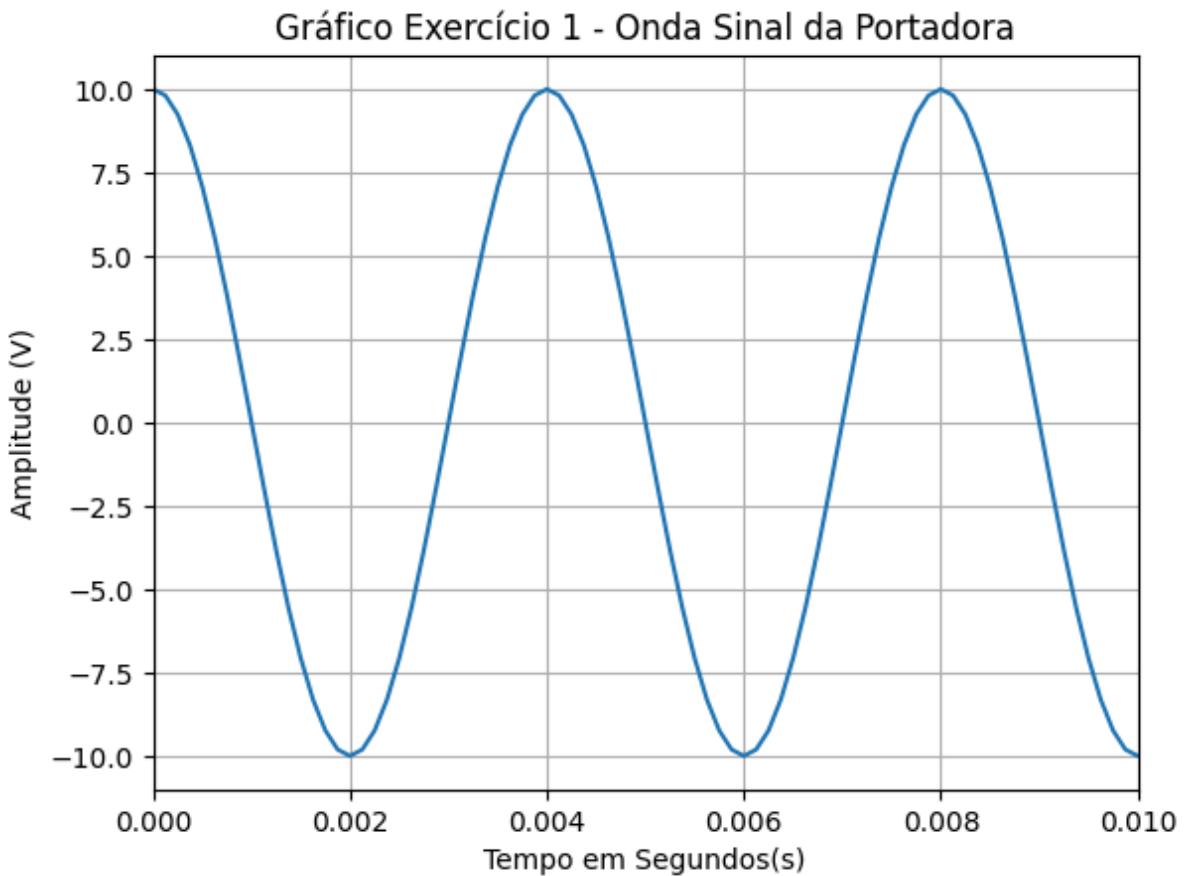
```
portadora = A*np.cos(2*np.pi*fc*t)

plt.plot(t, portadora)

plt.xlim(0, 0.01)

plt.xlabel("Tempo em Segundos(s)")
plt.ylabel("Amplitude (V)")
plt.title("Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal da Portadora")
plt.grid(True)
plt.figure(2)
plt.show()
```

## Sinal Gerado:



Neste Gráfico da onda da portadora é possível ver que ela tem uma amplitude de 10V(A)e apresenta a frequência de 250Hz, visto pelo seu período de 0.004.  $f = 1/0.004 = 250\text{Hz}$ . Aqui seguimos o que foi pedido no qual a mensagem tem 10 vezes menos a frequência da portadora.

## Código:

```
mensagem_normalizada = np.sin(2*np.pi*fs*t)
sinal_modulado = A * (1 + m * mensagem_normalizada) *
np.cos(2*np.pi*fc*t)

envelope_superior = A * (1 + m * mensagem_normalizada)
envelope_inferior = -envelope_superior

plt.plot(t, sinal_modulado)

plt.plot(t, envelope_superior, color='red', linestyle='--',
label='Envoltória')
plt.plot(t, envelope_inferior, color='green', linestyle='--')

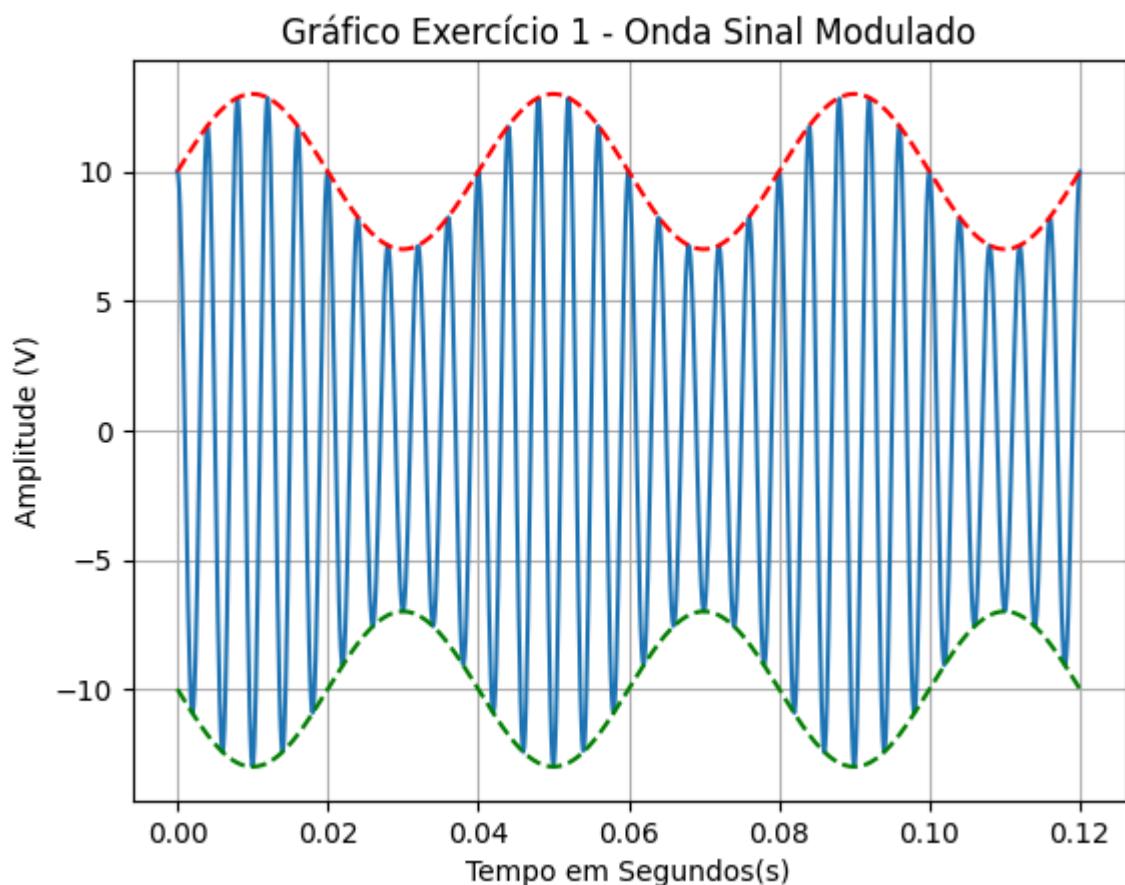
plt.xlabel("Tempo em Segundos (s)")
```

```

plt.ylabel("Amplitude (V)")
plt.title("Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal Modulado")
plt.grid(True)
plt.figure(3)
plt.show()

```

## Sinal Gerado:



Aqui temos o gráfico do sinal modulado, que começa em seus 10 volts por conta do cosseno e apresenta uma envoltória superior e inferior que possui a mesma forma senoidal da mensagem. A amplitude da portadora foi variada de acordo com o sinal da mensagem e podemos ver que a amplitude máxima da envoltória é  $10 + 3 = 13$  e a amplitude mínima da envoltória é  $10 - 3 = 7$ , logo a amplitude máxima é 13 e a amplitude mínima é 7.

### **Utilizando $m = 0.7$**

Os códigos seriam os mesmos, seria apenas alterado **Em** para 7. Já os gráficos seriam da seguinte forma:

**Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal da Mensagem**

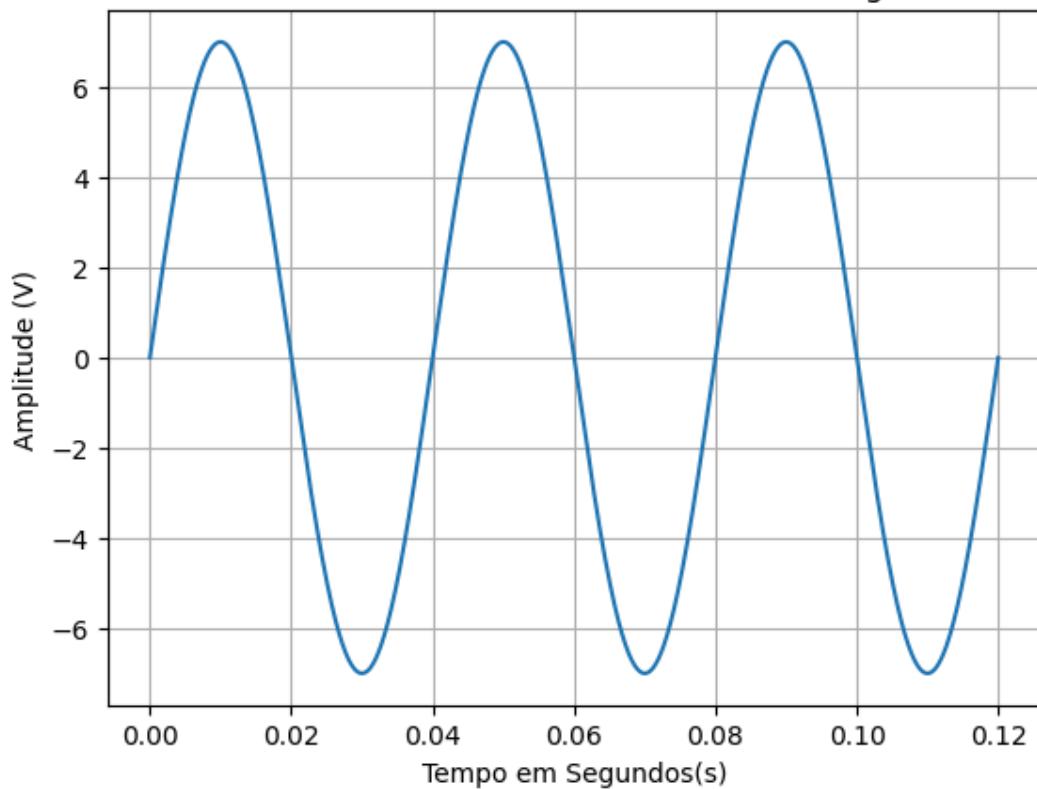


Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal da Portadora

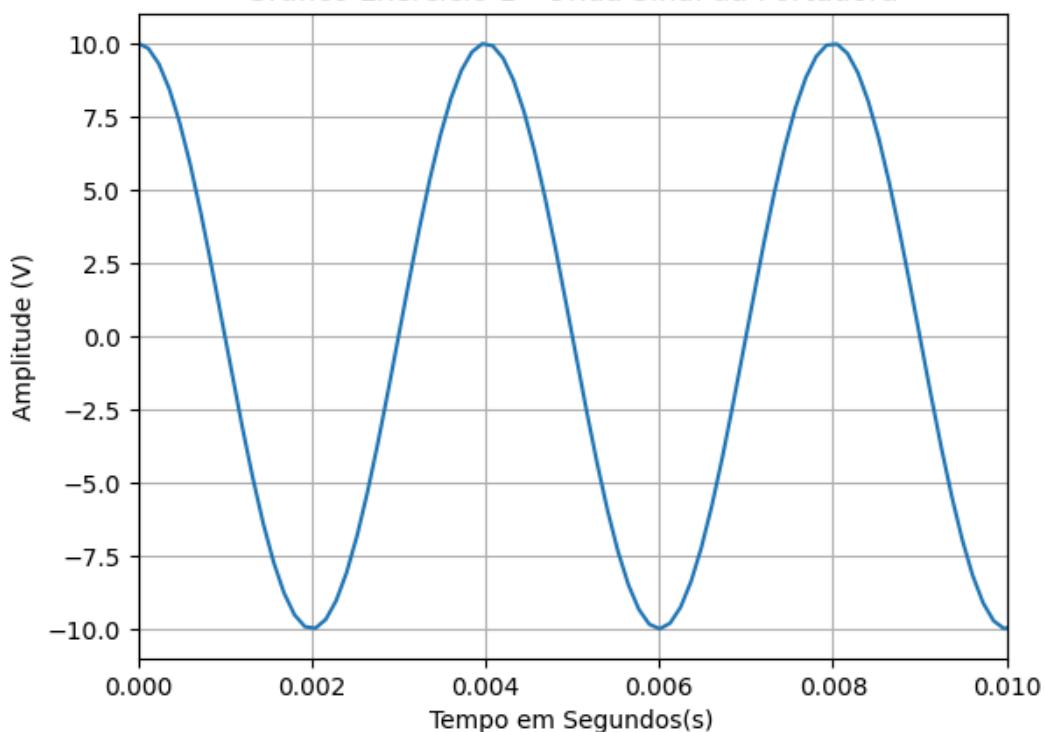
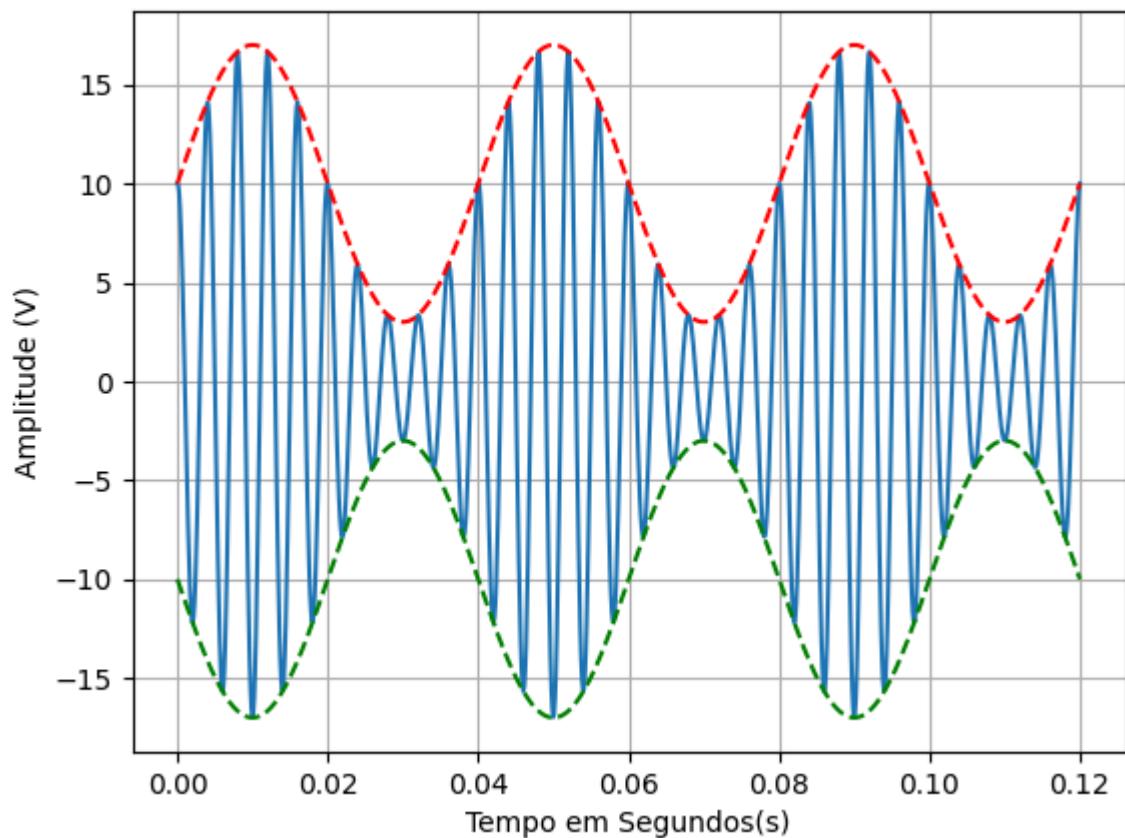


Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal Modulado



Nos gráficos com o índice de modulação 0.7 percebemos uma mudança na amplitude da mensagem que agora passa a ser 7. A portadora não houve

mudanças. E o sinal Modulado foi afetado a sua forma e seu valor máximo e mínimo da envoltório que agora são: 17V e 3V respectivamente.

### Utilizando $m = 1.0$

Os códigos seriam os mesmos, seria apenas alterado  $E_m$  para 10. Já os gráficos seriam da seguinte forma:

Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal da Mensagem

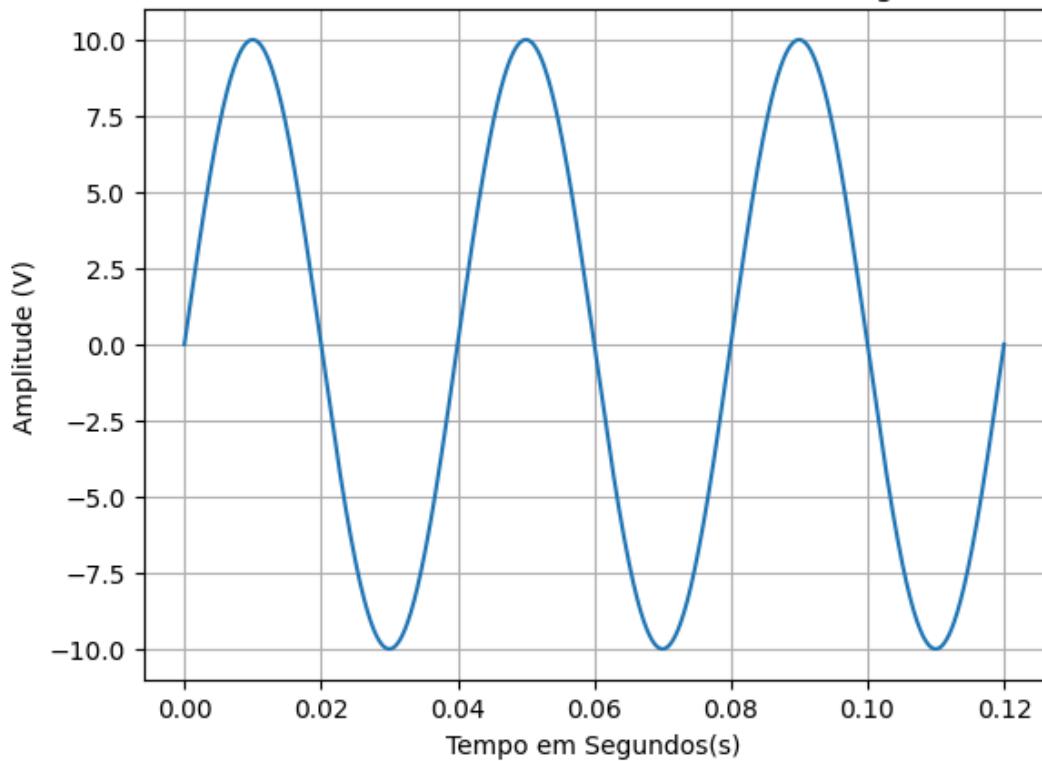


Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal da Portadora

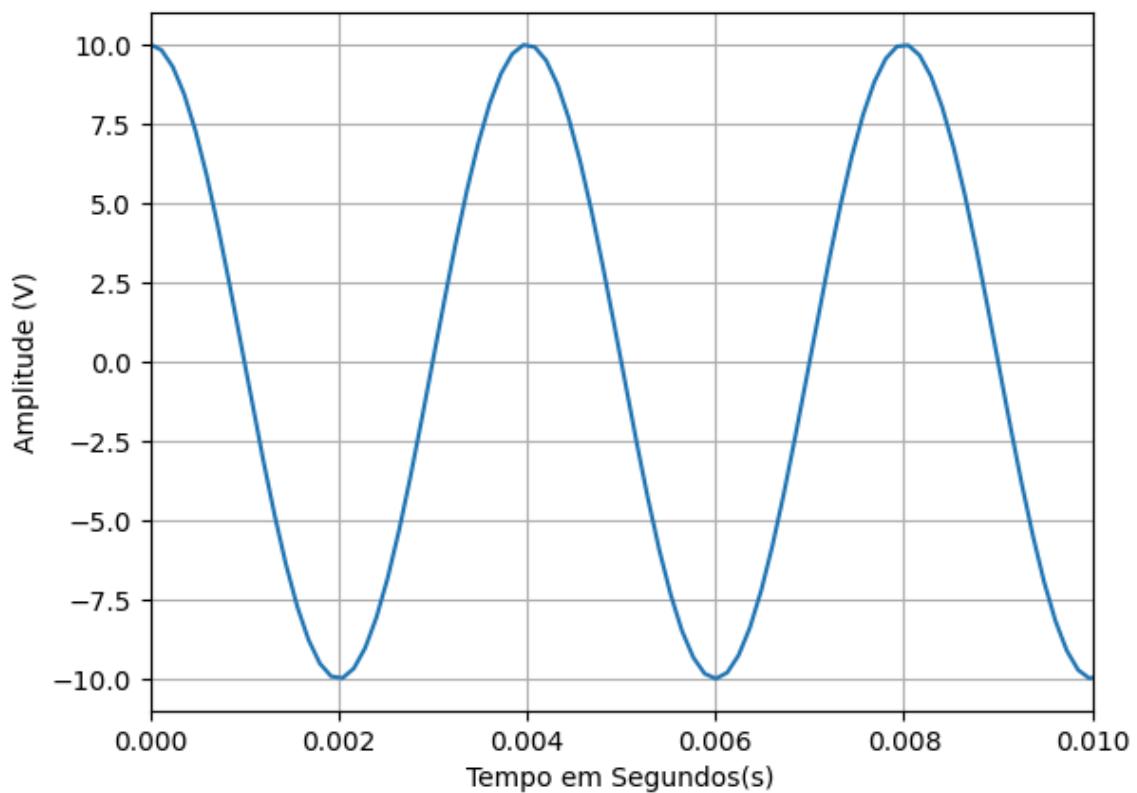
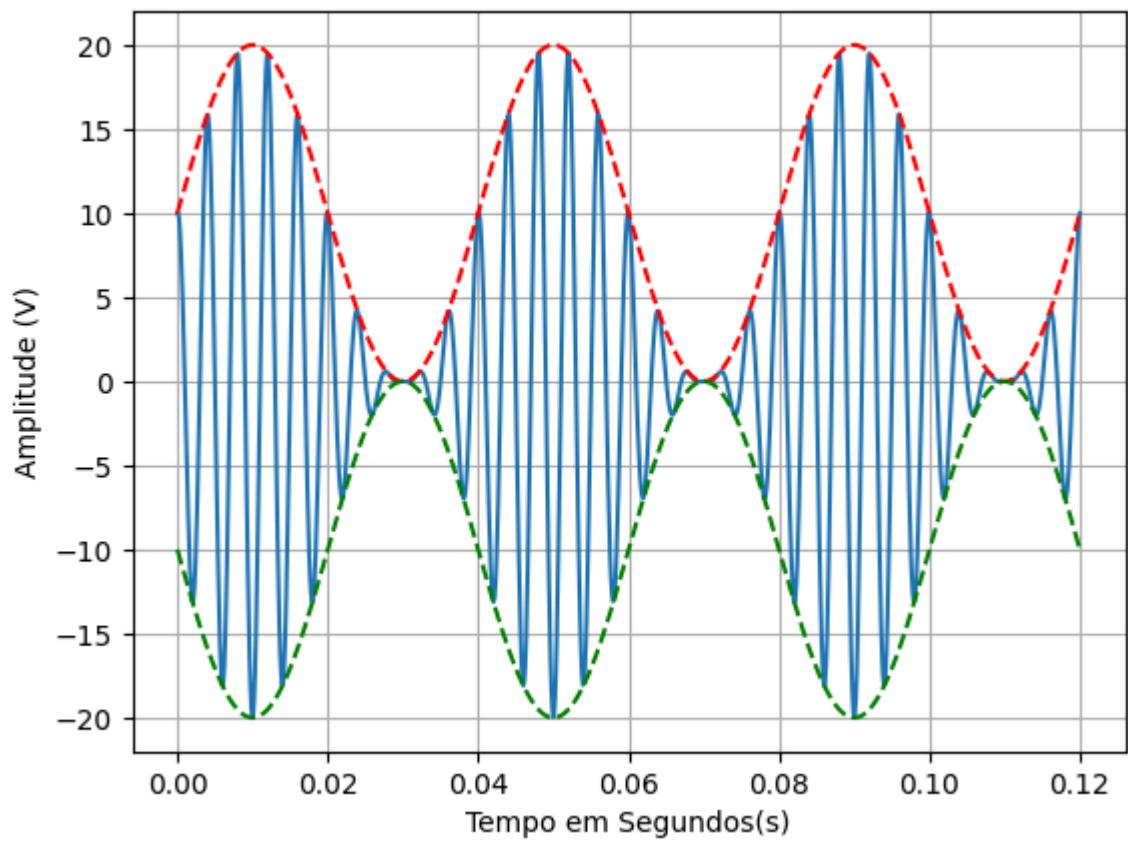


Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal Modulado



Nos gráficos com o índice de modulação 1.0 percebemos uma mudança na amplitude da mensagem que agora passa a ser 10. A portadora não houve mudanças. E o sinal Modulado foi afetado a sua forma e seu valor máximo e mínimo da envoltório que agora são: 20V e 0V respectivamente.

### **Utilizando m = 1.4**

Os códigos seriam os mesmos, seria apenas alterado  $E_m$  para 14. Já os gráficos seriam da seguinte forma:

Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal da Mensagem

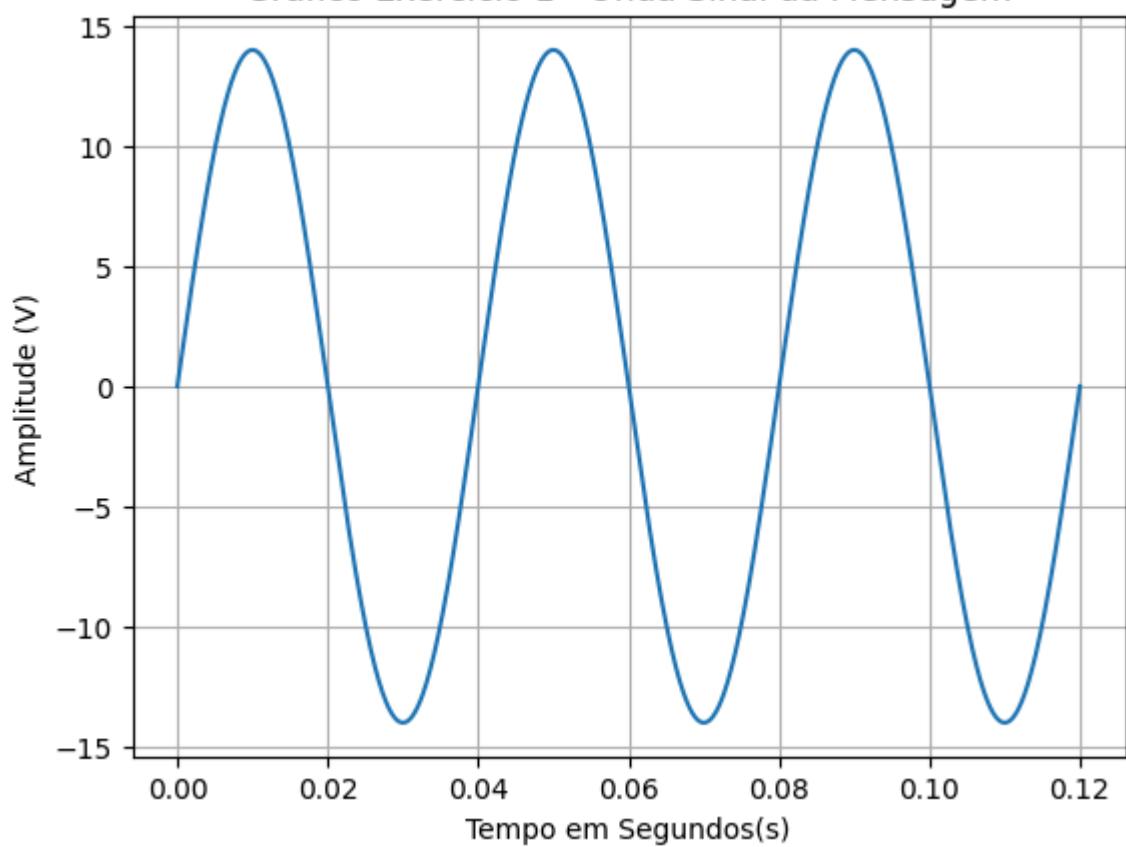


Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal da Portadora

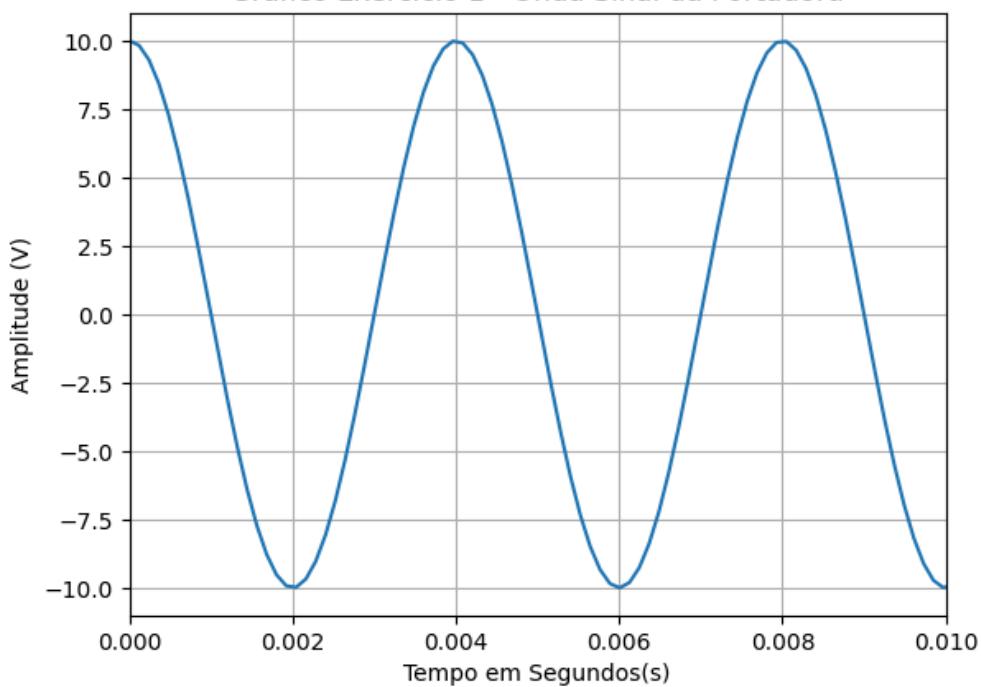
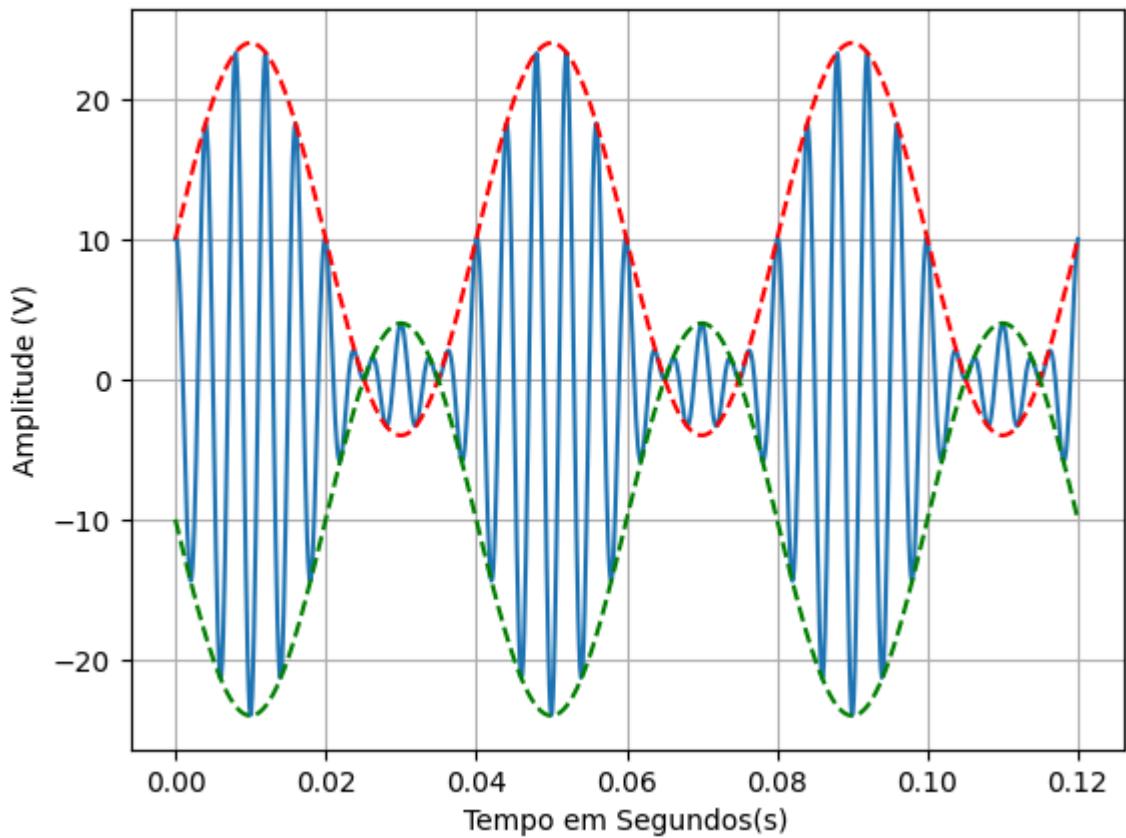


Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal Modulado



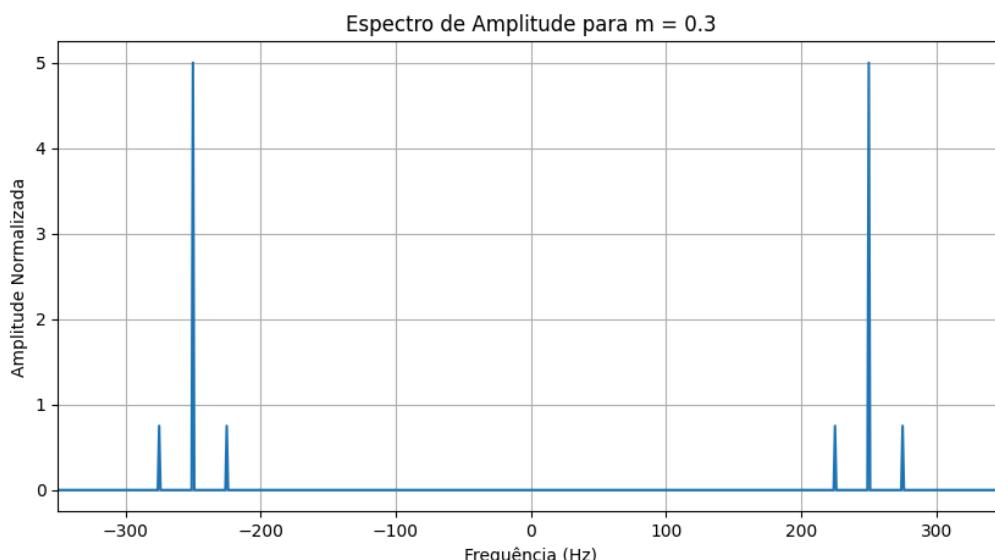
Nos gráficos com o índice de modulação 1.4 percebemos uma mudança na amplitude da mensagem que agora passa a ser 14. A portadora não houve mudanças. E o sinal Modulado foi afetado a sua forma e seu valor máximo e mínimo da envoltório que agora são: 24V e -4V respectivamente. Dessa forma, conseguimos ver que houve uma sobreposição das envoltórias superior e inferior, o que faz criar uma interferência a região que houve sobreposição.

## Experimento 2 -

### Código:

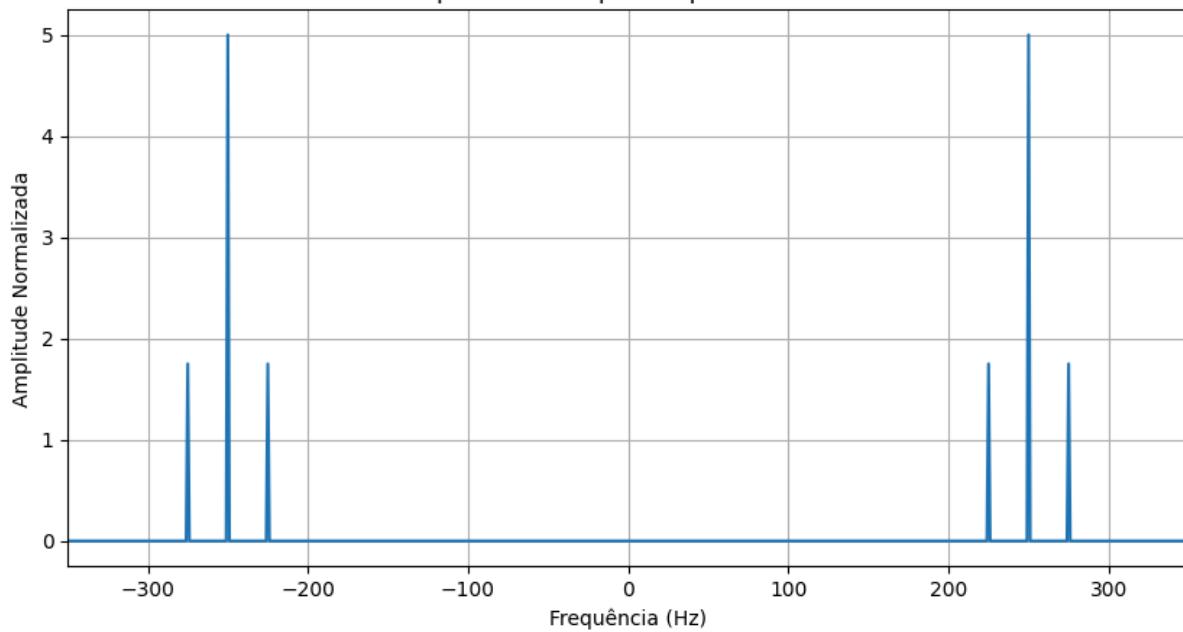
```
m1 = 1.  
a = 8000  
d = 1.0  
N = int(a * d)  
t = np.linspace(0, 1, N, endpoint=False)  
  
mensagem_normalizada = np.sin(2*np.pi*fs*t)  
sinal_modulado = A * (1 + m1 * mensagem_normalizada) *  
np.cos(2*np.pi*fc*t)  
  
eixo_y = abs(np.fft.fftshift(np.fft.fft(sinal_modulado))) / N  
  
dt = t[1] - t[0]  
frequencia = np.fft.fftfreq(N, dt)  
eixo_x = np.fft.fftshift(frequencia)  
  
plt.figure(figsize=(10, 5))  
plt.plot(eixo_x, eixo_y)  
plt.title(f"Espectro de Amplitude para m = {m1}")  
plt.xlabel("Frequência (Hz)")  
plt.ylabel("Amplitude Normalizada")  
plt.grid(True)  
plt.xlim(-350, 350)  
plt.show()
```

### Utilizando $m = 0.3$



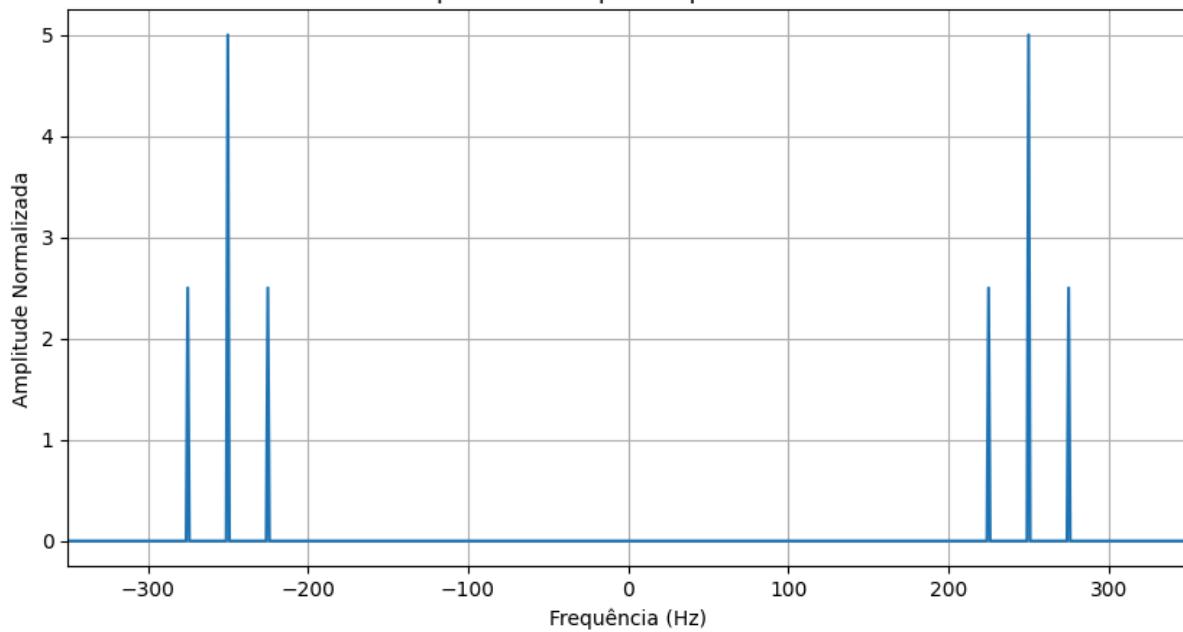
## Utilizando $m = 0.7$

Espectro de Amplitude para  $m = 0.7$

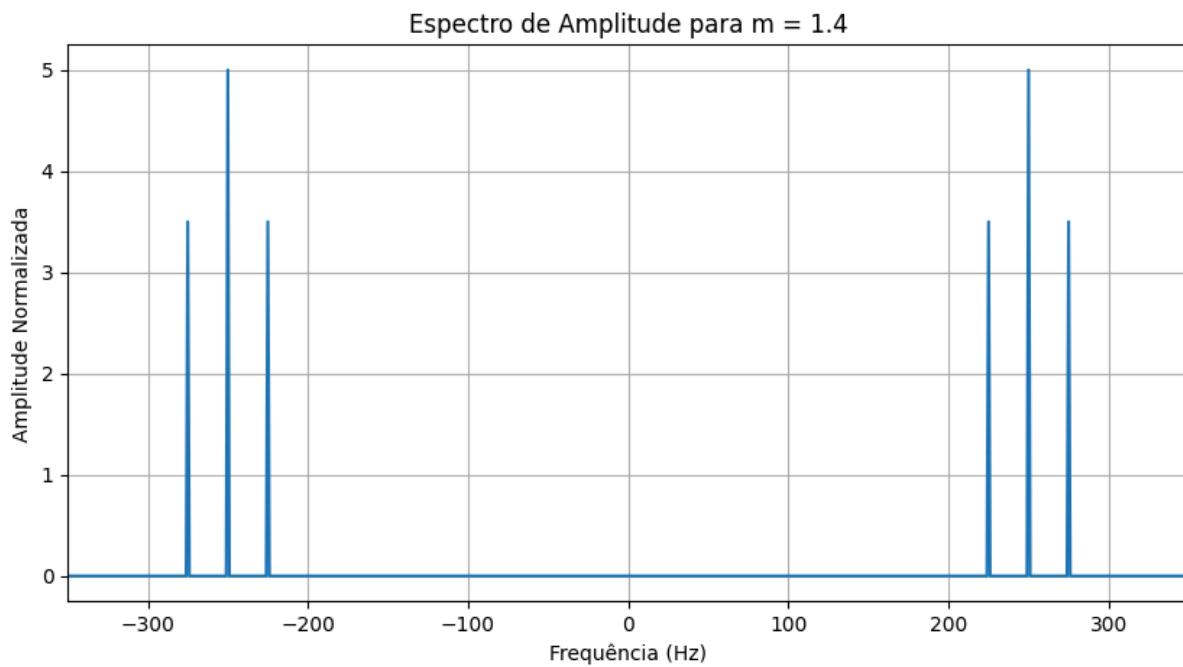


## Utilizando $m = 1.0$

Espectro de Amplitude para  $m = 1.0$



## Utilizando $m = 1.4$



Nos quatro gráficos foi possível visualizar que a portadora está em +250Hz e -250Hz, com suas bandas laterais de mais 25 Hz e -25 Hz por conta da frequência da mensagem. Percebemos a portadora dividida em duas tanto na parte negativa e positiva com amplitude de 5V, já que dividimos a amplitude de 10V dela em duas. Agora as mudanças de gráfico para gráfico é a amplitude das bandas laterais, em  $m = 0.3$  a amplitude das bandas é de  $3/4 = 0.75V$ . Em  $m = 0.7$  temos  $7/4 = 1.75V$ . Em  $m = 1.0$  temos  $10/4 = 2.5V$  e em  $m = 1.4$ , temos  $14/4 = 3.5V$ .

## Experimento 3 -

### Código:

```
fs = 25
fc = 250
A = 10
Em = 3

N_tempo = 1000
Tm = 1/fs
t_tempo = np.linspace(0, 3*Tm, N_tempo)

mensagem = Em * np.sin(2 * np.pi * fs * t_tempo)
portadora_normalizada = np.cos(2 * np.pi * fc * t_tempo)
```

```

sinal_modulado_sc = mensagem * portadora_normalizada

plt.figure(figsize=(12, 5))
plt.plot(t_tempo, sinal_modulado_sc, label='Sinal Modulado SC')
plt.plot(t_tempo, mensagem, color='red', linestyle='--',
label='Envoltória Superior(Mensagem)')
plt.plot(t_tempo, -mensagem, color='green', linestyle='--',
label='Envoltória Inferior(Mensagem)')

plt.title("Experimento 3 - Sinal Modulado com Portadora Suprimida")
plt.xlabel("Tempo em Segundos(s)")
plt.ylabel("Amplitude (V)")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()

Fs_sample = 8000
duration = 1.0
N_fft = int(Fs_sample * duration)
t_fft = np.linspace(0, duration, N_fft, endpoint=False)

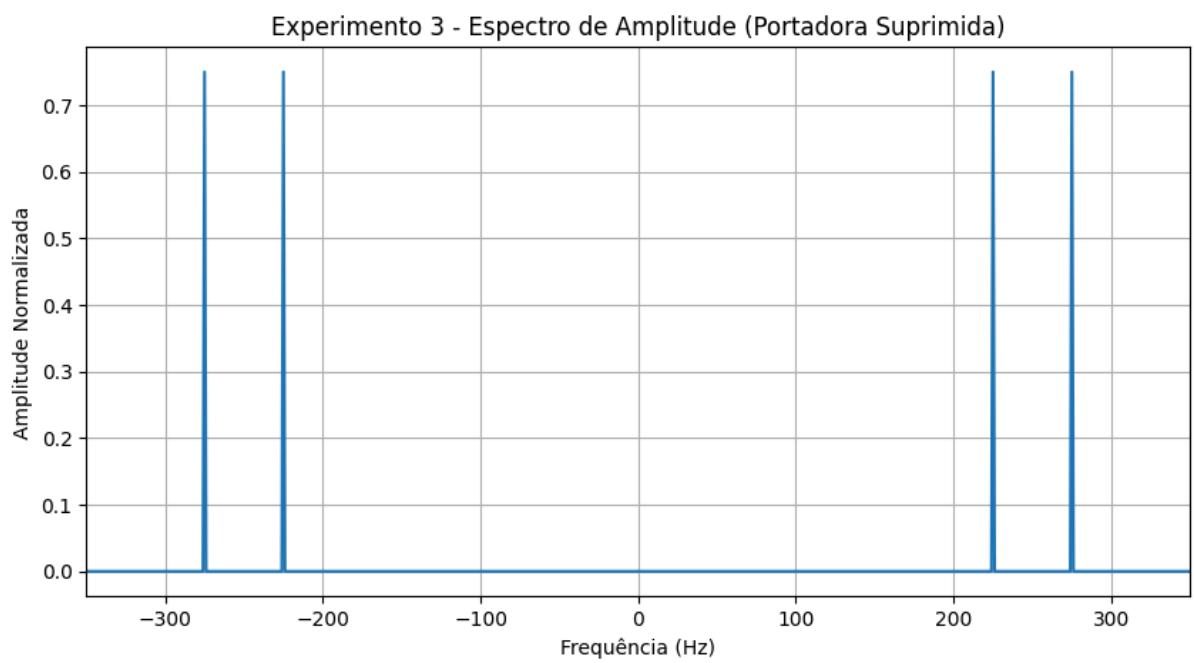
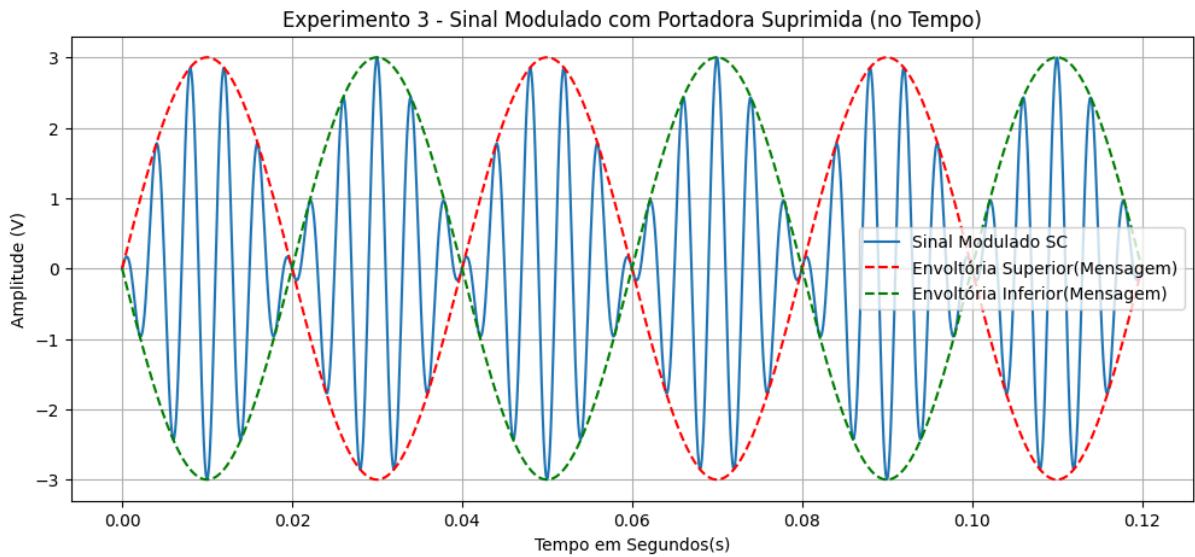
mensagem_fft = Em * np.sin(2 * np.pi * fs * t_fft)
portadora_norm_fft = np.cos(2 * np.pi * fc * t_fft)
sinal_modulado_sc_fft = mensagem_fft * portadora_norm_fft

eixo_y_sc = abs(np.fft.fftshift(np.fft.fft(sinal_modulado_sc_fft))) /
N_fft
dt = t_fft[1] - t_fft[0]
frequencia = np.fft.fftshift(N_fft, dt)
eixo_x_sc = np.fft.fftshift(frequencia)

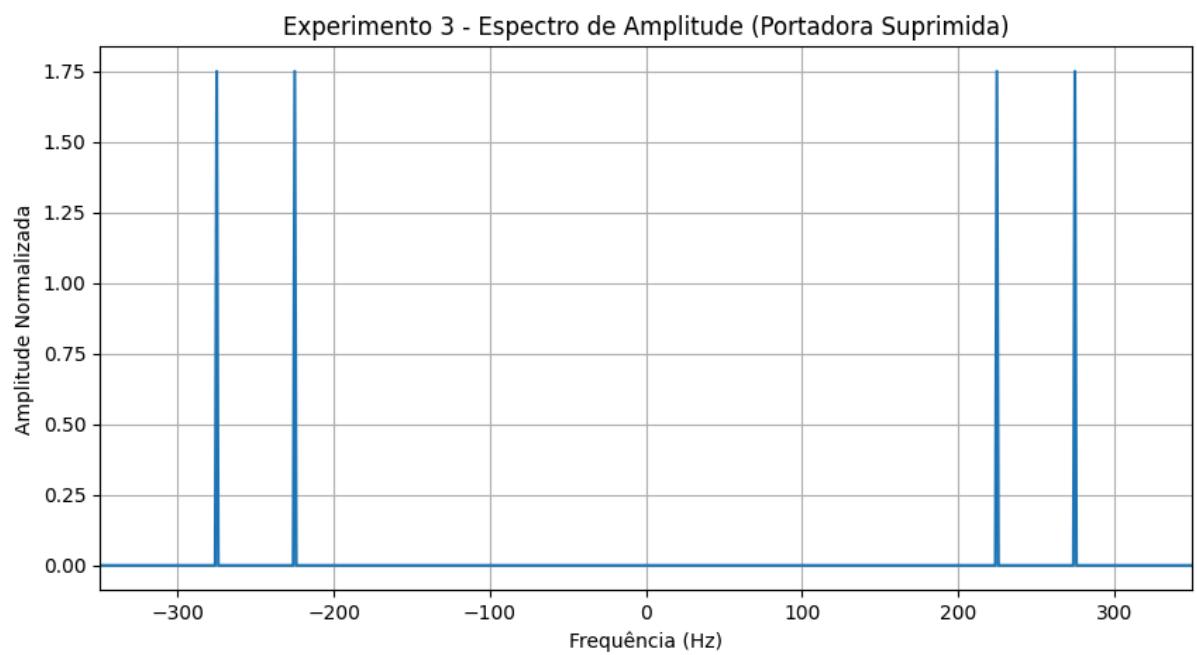
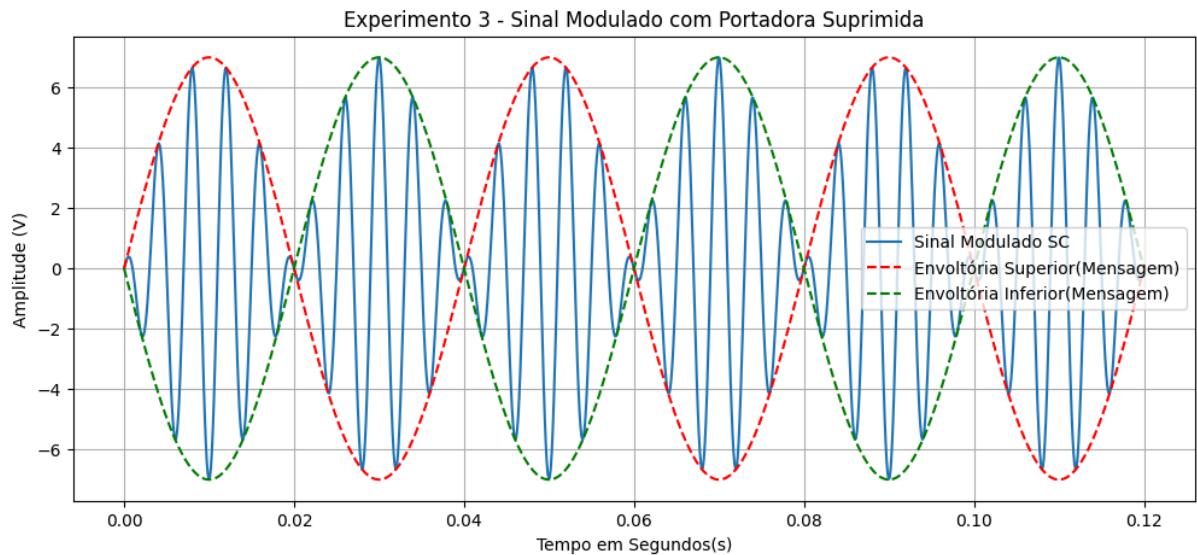
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.plot(eixo_x_sc, eixo_y_sc)
plt.title("Experimento 3 - Espectro de Amplitude (Portadora Suprimida)")
plt.xlabel("Frequência (Hz)")
plt.ylabel("Amplitude Normalizada")
plt.grid(True)
plt.xlim(-350, 350)
plt.show()

```

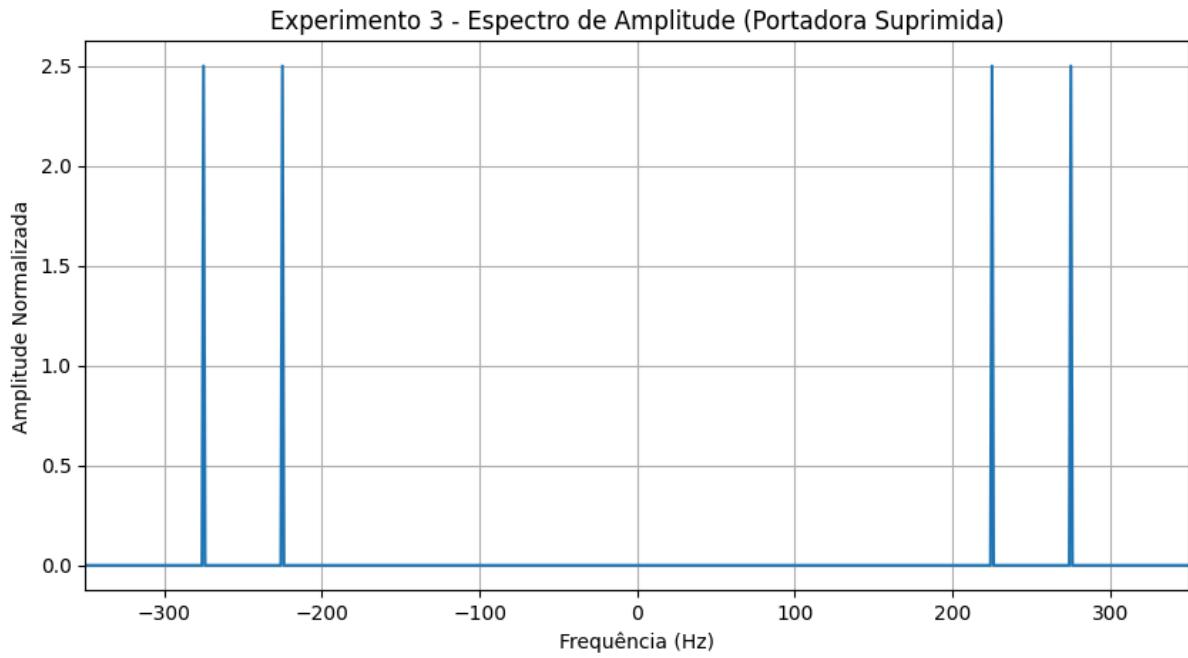
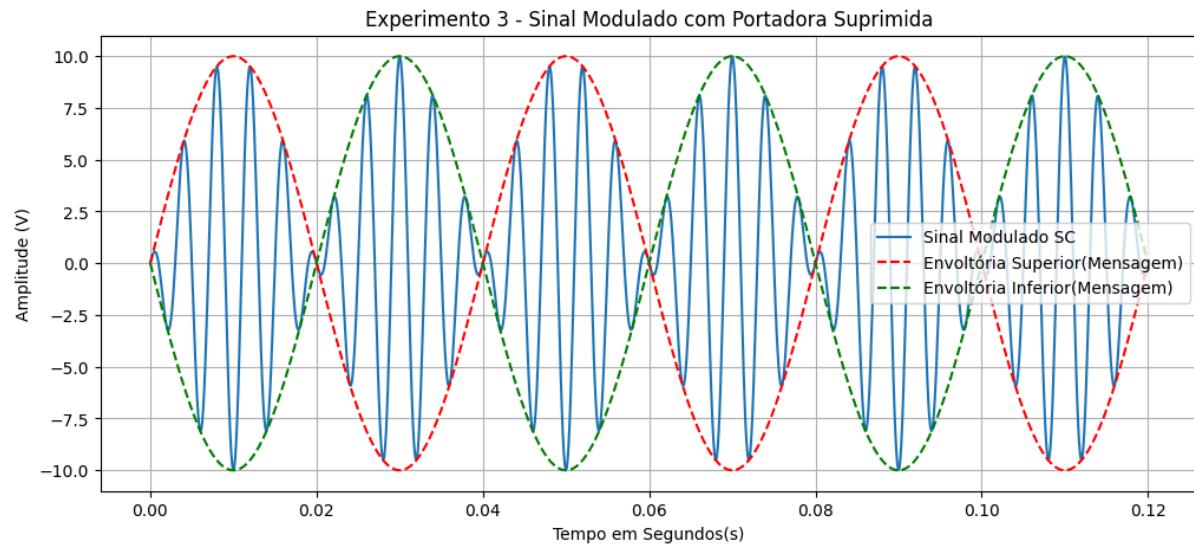
## Utilizando $m = 0.3$



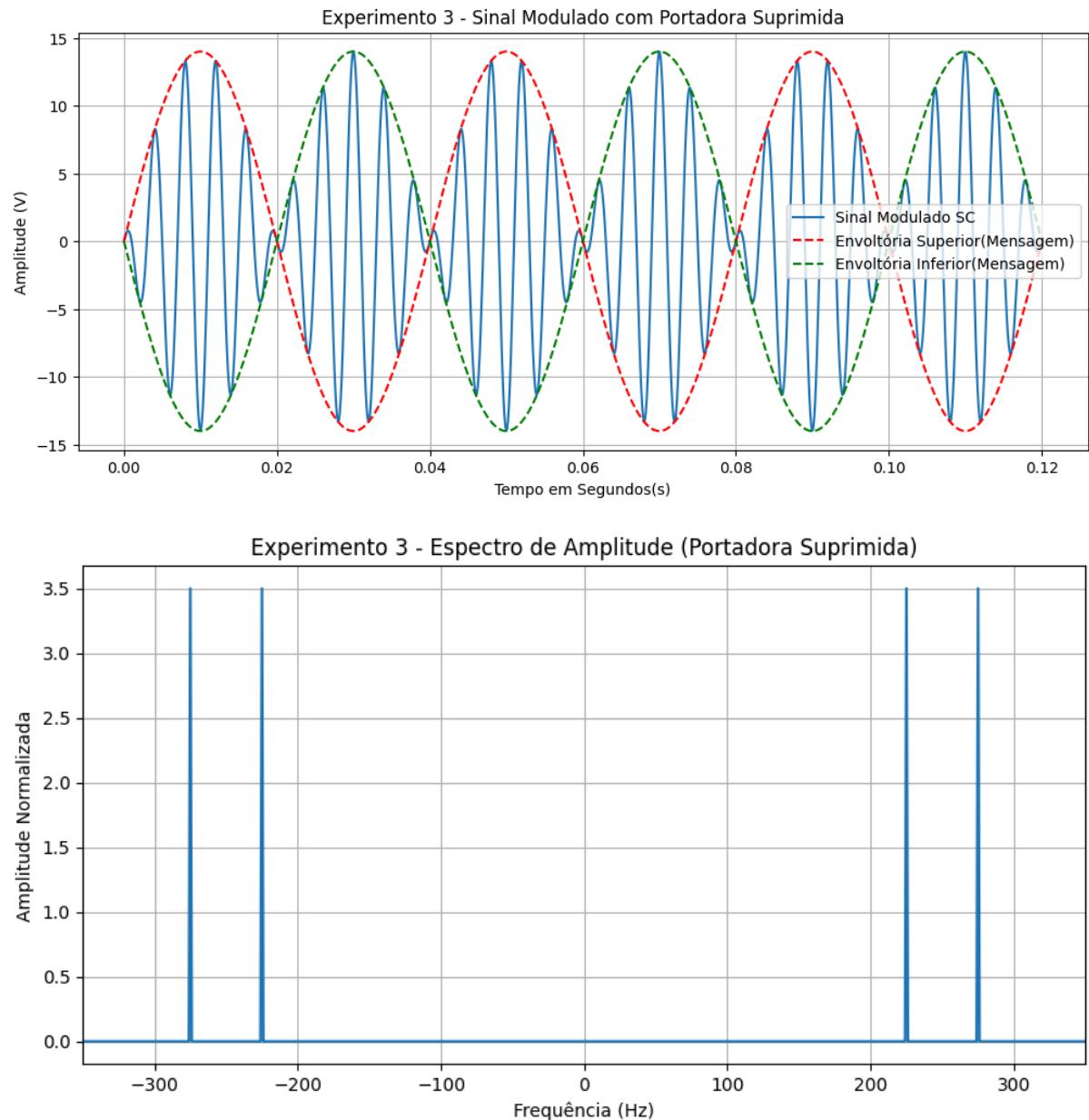
## Utilizando $m = 0.7$



## Utilizando $m = 1.0$



## Utilizando $m = 1.4$



Em portadora suprimida não temos  $A$  (amplitude da portadora) na fórmula, logo não temos índice de modulação. Com isso, caso mudássemos o índice de modulação de 0.3, 0.7, 1.0 e 1.4 visualizarmos apenas a amplitude do sinal de saída e as bandas laterais mudando proporcionalmente à amplitude da mensagem( $E_m$ ), como visto em todos os gráficos acima. As bandas laterais são o valor do sinal da mensagem dividido por 4.

## Experimento 3 -

### Código:

```
from scipy.signal import butter, lfilter

fs = 25
fc = 250
Em = 3

Na2= 8000
t = np.linspace(0, 1, Na2, endpoint=False)

mensagem_original = Em * np.sin(2 * np.pi * fs * t)
portadora_norm = np.cos(2 * np.pi * fc * t)

sinal_modulado_sc = mensagem_original * portadora_norm

sinal_multiplicado = sinal_modulado_sc * portadora_norm

frequencia_corte = 100
ordem_filtro = 5
b, a = butter(ordem_filtro, frequencia_corte, btype='low', fs=Na2)

sinal_demodulado = lfilter(b, a, sinal_multiplicado)

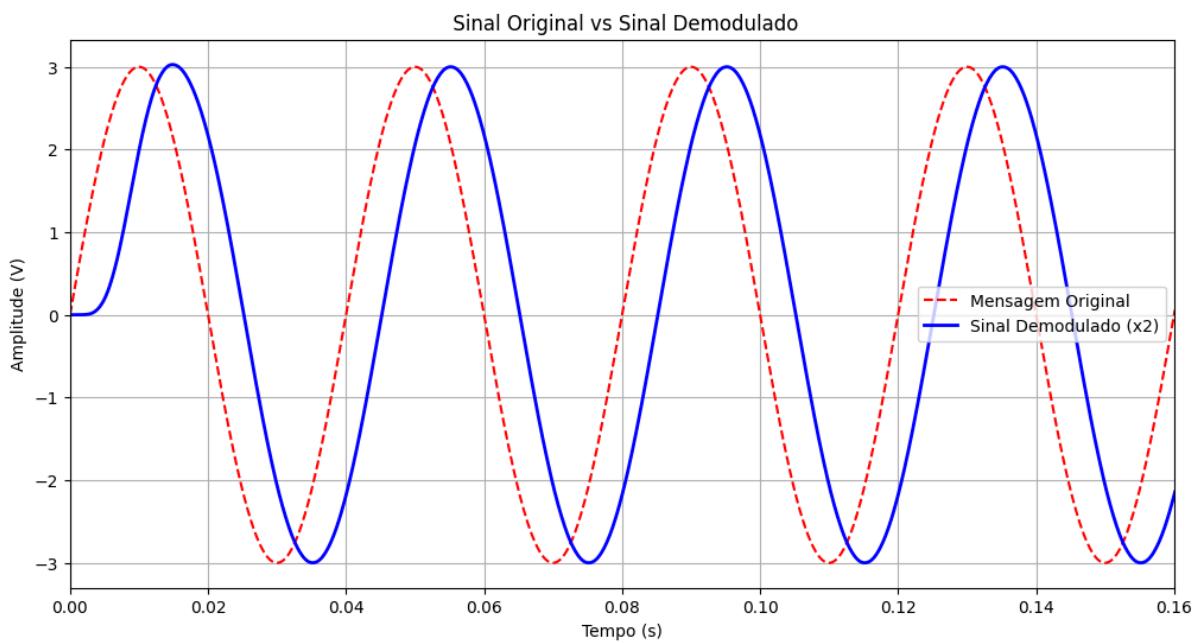
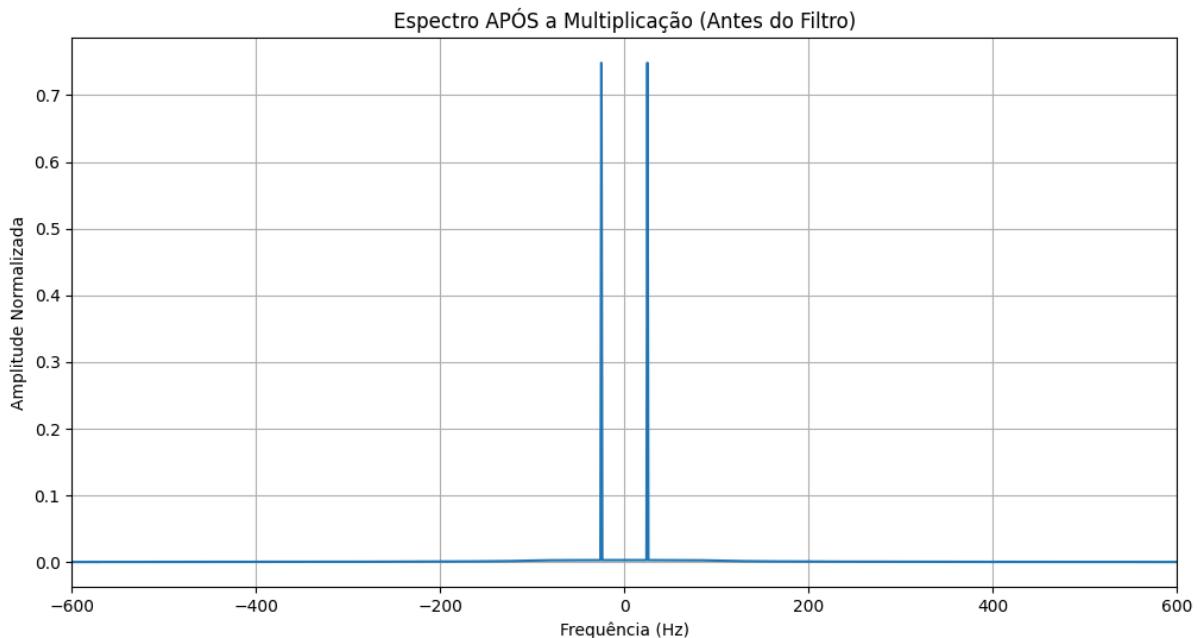
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.plot(t, mensagem_original, 'r--', label='Mensagem Original')
plt.plot(t, sinal_demodulado * 2, 'b-', label='Sinal Demodulado (x2)', linewidth=2)
plt.title(' Sinal Original vs Sinal Demodulado')
plt.xlabel('Tempo (s)')
plt.ylabel('Amplitude (V)')
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.xlim(0, 4/fs)
plt.show()

plt.figure(figsize=(12, 6))
eixo_y_mult = np.abs(np.fft.fftshift(np.fft.fft(sinal_demodulado))) /
Na2
dt = t[1] - t[0]
frequencia_mult = np.fft.fftshift(np.fft.freq(Na2, dt))
plt.plot(frequencia_mult, eixo_y_mult)
plt.title('Espectro APÓS a Multiplicação (Antes do Filtro)')
```

```

plt.xlabel('Frequência (Hz)')
plt.ylabel('Amplitude Normalizada')
plt.grid(True)
plt.xlim(-600, 600)
plt.show()

```



Aqui temos o sinal demodulado que foi multiplicado ao portadora no receptor e depois foi aplicado um filtro passa baixa para retornarmos ao sinal. Assim, foi multiplicado por 2, já que o sinal demodulado tem metade da amplitude da mensagem original