

**INSTITUTO FEDERAL**  
**SANTA CATARINA**  
Campus São José

## Relatório 2

Aluno: Guilherme Medeiros

Disciplina: Sistemas de Comunicação I

Professor: Mario Noronha

São José, 23 de Agosto de 2019

## Seção I

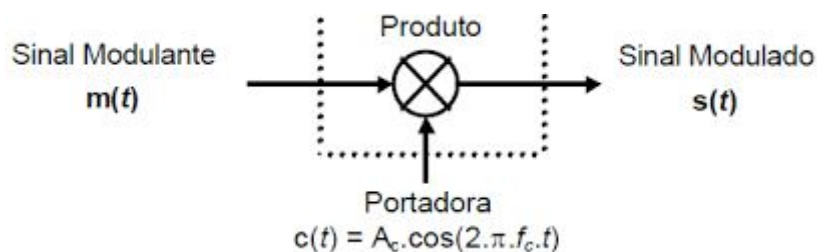
Aqui será abordado modulações do tipo AM DSB e DSB-SC, filtragem de sinais, geração de sinais senoidais, estratégias para evitar sobreposição de sinais modulados, recuperação de sinais demodulados e multiplexação de sinais.

## Seção II

### Modulação em Amplitude

A modulação de amplitude é uma forma de modificação da amplitude de um sinal senoidal com frequência constante com objetivo de carregar um outro sinal contendo uma informação relevante aumentando a frequência de transmissão, principalmente para o uso de meios em que essa alta frequência é importante.

Na técnica, um sinal senoidal contendo informação é multiplicado por um sinal senoidal, chamado de portadora. Nessa multiplicação, uma translação do espectro de frequência é realizada, aumentando a frequência total do sinal, possibilitando assim a transmissão.



(Figura 1 - Modulação AM)

A técnica pode ser vista na figura 1, onde o sinal de informação é um sinal qualquer, a portadora é um cosseno com uma frequência e fase constantes e o sinal modulado é o produto destes dois sinais, como demonstrado na figura.

Após a modulação, as componentes de frequência do sinal de informação são bem elevadas, isto acontece pela propriedade da transformada de Fourier e análise de sinais no domínio da frequência, onde o produto de um sinal por outro no tempo é a convolução dos dois sinais na frequência (equação 1), pela natureza do cosseno pela transformada de Fourier (equação 2) e pelo que significa a convolução de um sinal com um impulso unitário.

$$x_1(t) \cdot x_2(t) = \frac{1}{2\pi} [X_1(f) * X_2(f)] \quad (\text{equação 1})$$

$$F\{\cos(x)\} = \pi [\delta(t - \omega_0) + \delta(t + \omega_0)] \quad (\text{equação 2})$$

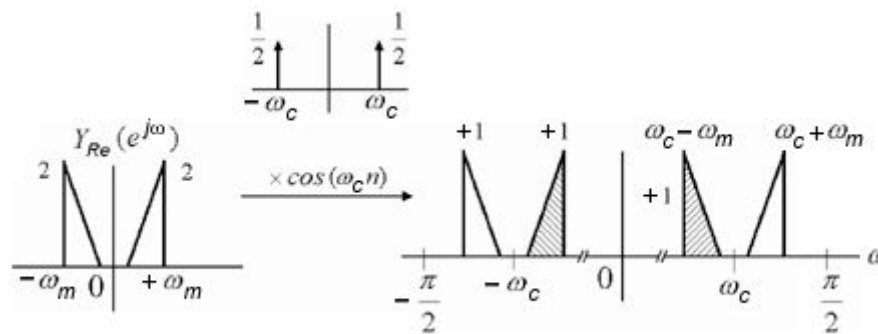
Da equação 1 e 2, então, sabemos que para um sinal genérico  $x(t)$ , teremos:

$$x(t) \cdot \cos(\omega_o t) = \frac{1}{2\pi} X(f) * \pi[\delta(t - \omega_o) + \delta(t + \omega_o)] \text{ (equação 3)}$$

E daqui tira-se:

$$x(t) \cdot \cos(\omega_o t) = [X(f) * \delta(t - \omega_o) + X(f) * \delta(t + \omega_o)] \text{ (equação 4)}$$

Ora, sabe-se pelas propriedades da transformada de Fourier que a convolução com um pulso unitário desloca o centro do sinal para a posição do impulso onde seu valor é igual à zero. Com isso, temos o comportamento que pode ser compreendido na figura 2.



(Figura 2 - Multiplicação pela portadora com forma em Cosseno com frequência em  $\omega_c$ )

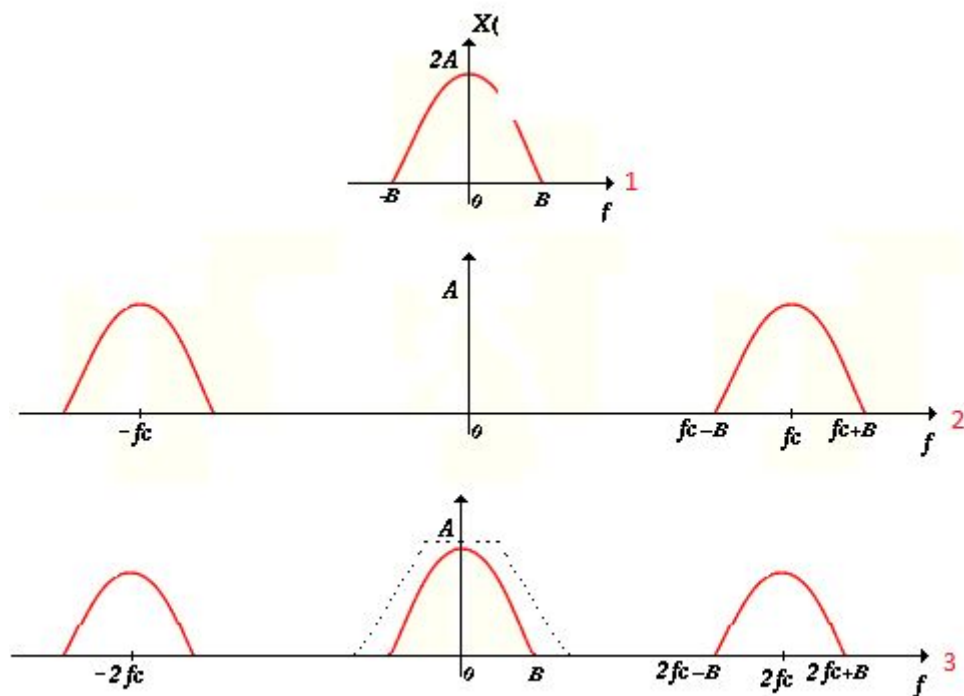
Como pode ser visto na figura, o sinal é deslocado quando multiplicado pela portadora com forma em cosseno com frequência em  $\omega_m$ . O sinal que tinha frequência máxima em  $\omega_c$  agora tem frequência máxima em  $\omega_m + \omega_c$ , ou seja, a frequência do sinal aumentou, possibilitando, por exemplo, a criação de antenas menores para a transmissão.

Em comunicação, o sinal modulado está pronto para ser transmitido e, na demodulação o sinal precisa ser recuperado. Normalmente este processo é feito através da multiplicação pelo mesma portadora que foi utilizada para a modulação, e um filtro pode ser necessário também para recuperar o sinal completamente, caso da modulação AM DSB-SC.

### Modulação DSB-SC

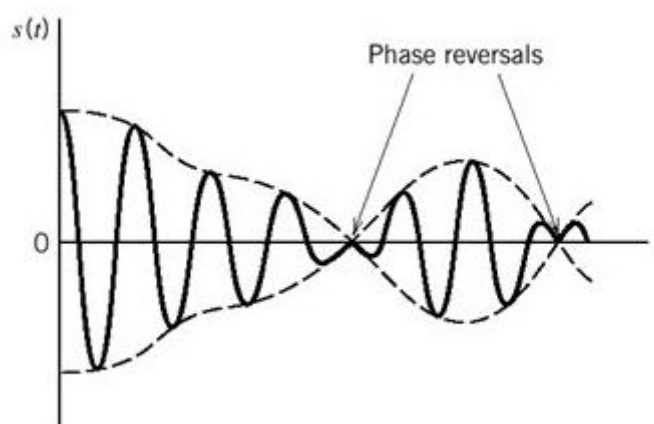
A modulação DSB-SC é simplesmente a aplicação da teoria explicada na seção anterior, e se baseia nas equações 1, 2, 3 e 4, assim como na figura 2 e no que elas representam.

A forma como o sinal é recuperado ao final da modulação é pela multiplicação do sinal modulado pela mesma portadora que foi usada na modulação e pela passagem de um filtro passa baixas, como pode ser visto na figura 3.



(Figura 3 - Modulação DSB-SC)

Como pode ser visto na figura 3, em 1 tem-se apenas o sinal de informação, em 2 o sinal modulado e em 3 pode ser visto o sinal que já foi multiplicado pela portadora para a demodulação. Desta forma, como pode ser percebido, ao centro do espectro tem-se o sinal original, apenas com os espectros extras em  $2f_c$ , sendo  $f_c$  a frequência da portadora. Assim, passando-se um filtro passa baixas com largura de banda suficientemente grande e não muito pequena (linha pontilhada em 3), pode se recuperar o sinal original e voltar à 1, apenas com a amplitude diminuída.

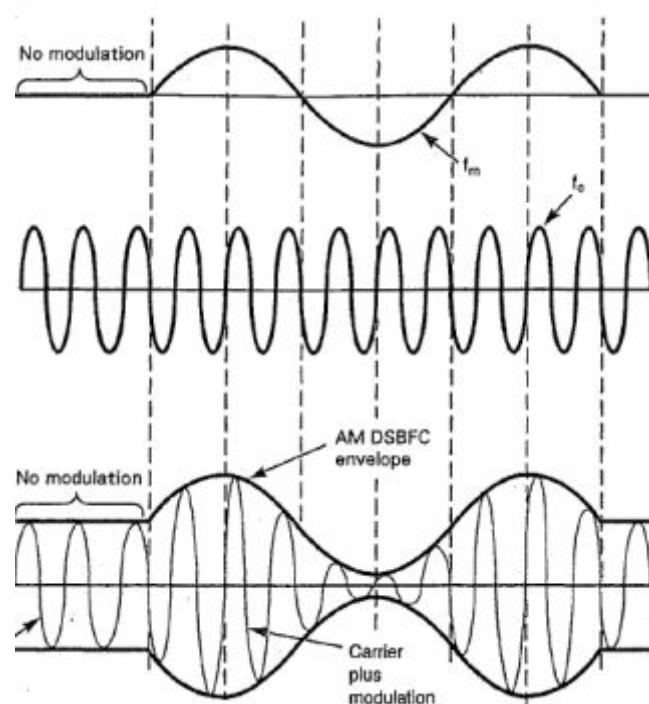


(Figura 4 - Modulação AM DSB-SC)

A figura 4 mostra uma mudança de fase na onda depois do sinal modulado, isso é o que faz com que o sinal não possa ser detectado simplesmente por uma carga. Por isso há a necessidade do filtro e dos outros processos.

### Modulação DSB ou DSB-FC

A modulação DSB, também chamada de DSB-FC é bastante semelhante à DSB-SC entretanto, ao sinal de informação adiciona-se um sinal em corrente contínua (também chamado de fator modulante) ao sinal de informação, mudando razoavelmente o processo e facilitando a recuperação do sinal na demodulação.



(Figura 5 - Modulação DSB)

Como a figura 5 mostra, não há mudança de fase neste tipo de modulação pela soma da constante no início (equação 5, que descreve este tipo de modulação), assim, uma mera carga pode detectar a envoltória do nível de tensão quando o sinal chega em seu destino.

$$(A_o + x(t)).(\cos(\omega_c.t)) \text{ (Equação 5)}$$

## Seção III

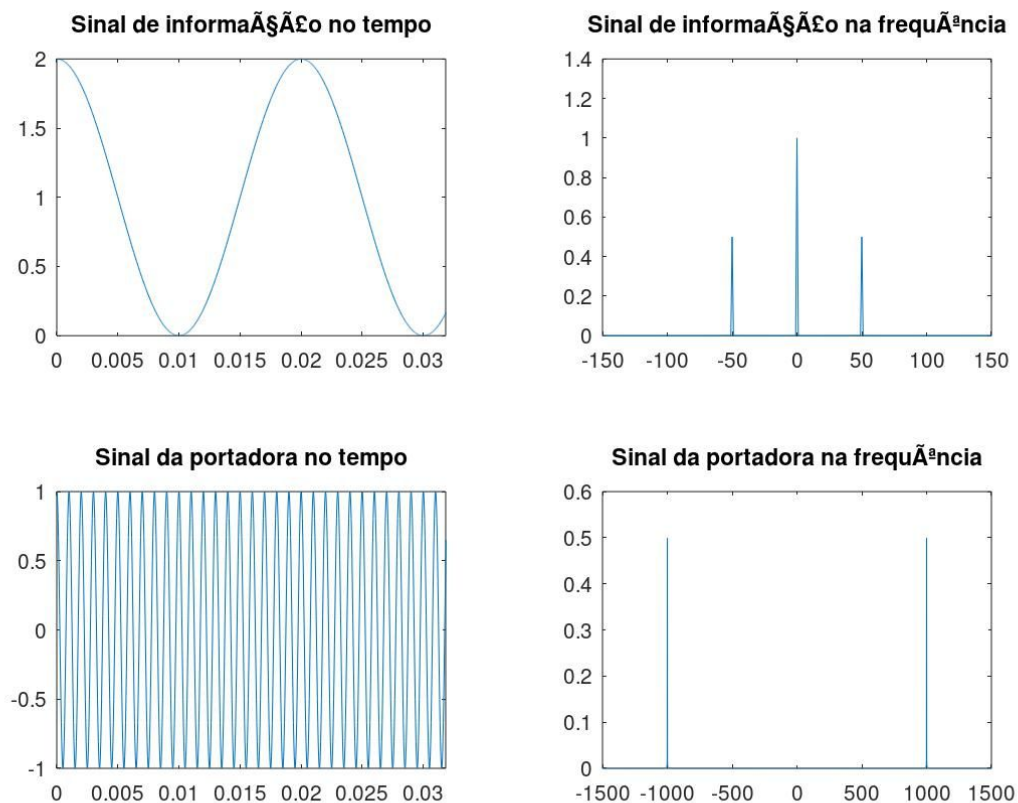
Aqui serão listados os dados e imagens dos exercícios propostos:

### Exercício 1:

Realizar um processo de modulação AM DSB e AM DSB-SC • Para o caso da modulação AM DSB-SC, realizar o processo de demodulação utilizando a função 'fir1' • Para o caso da modulação AM DSB, variar o 'fator de modulação' (0.25; 0.5; 0.75 e 1 e 1.5) e observar os efeitos no sinal modulado

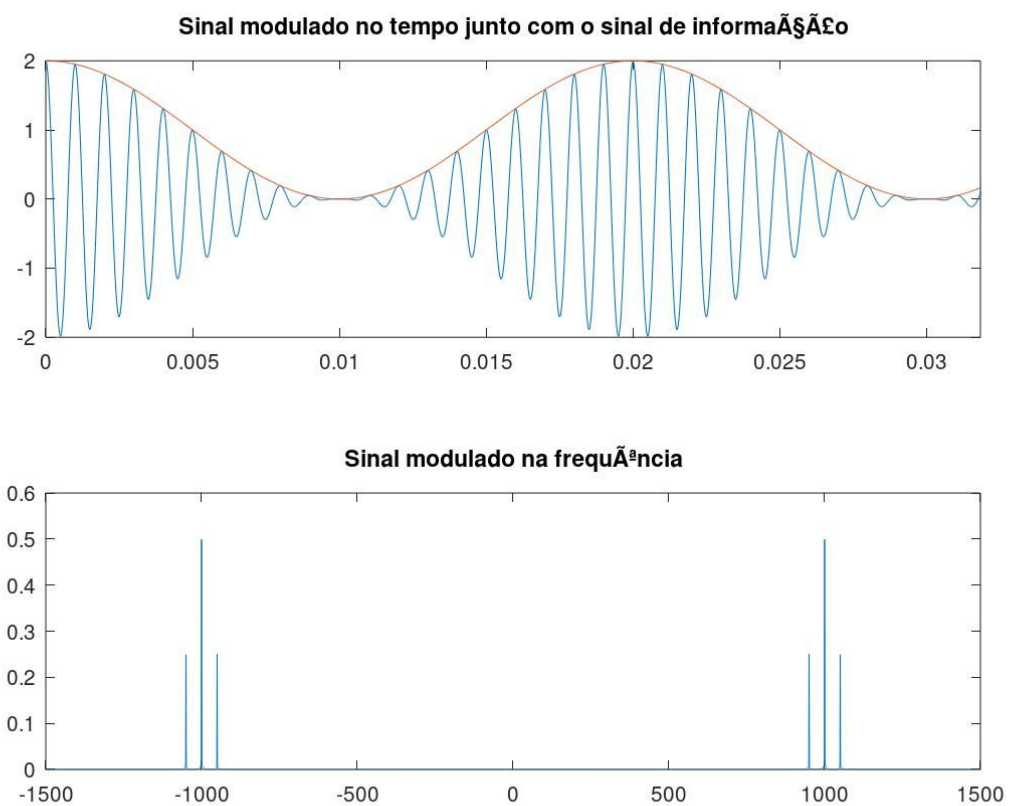
### Parte 1: Modulação AM DSB:

Os sinais foram gerados, sendo o sinal de informação um cosseno com frequência de 50Hz e o sinal da portadora um cosseno com frequência de 1kHz.



(Figura 6 - Sinais no tempo e Frequência - Exercício 1 DSB)

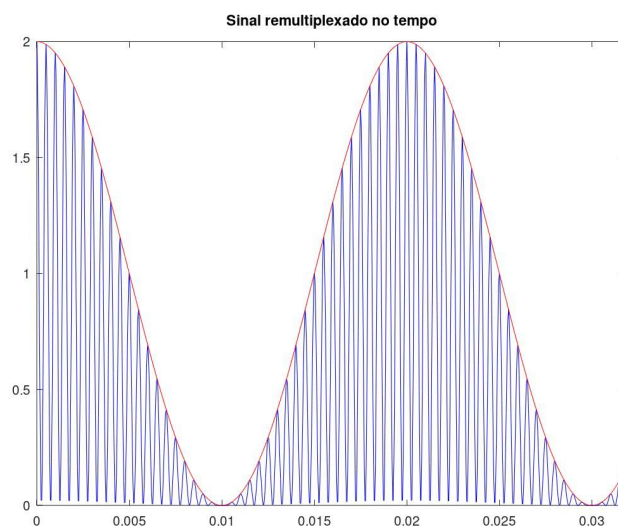
O sinal foi modulado utilizando a técnica DSB utilizando o sinal de entrada somado à uma constante  $A_0$  assumindo valores iguais à 1, 3 e 5, para comparação.



(Figura 6 - Sinal modulado em DSB)

Na figura 6 pode-se observar o sinal modulado no tempo e frequência. No tempo, em vermelho foi plotado o sinal original. Percebe-se que não há inversão de fase e que, em 10000 rad/s no gráfico no domínio da frequência, há a componente DC levada pelo carry da técnica de modulação DSB.

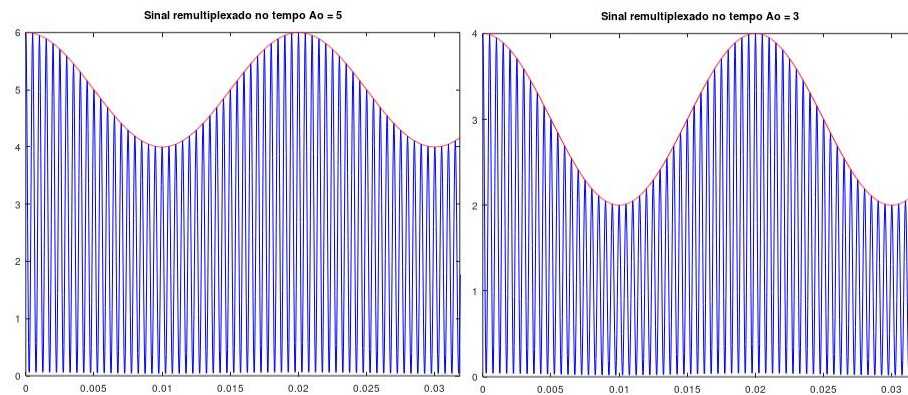
O sinal foi novamente multiplicado pela portadora para ser recuperado



(Figura 7 - Sinal remultiplicado pela portadora e pronto para ser recuperado - DSB)

Na figura 7 tem-se o sinal que foi multiplicado novamente pela portadora e percebe-se claramente a envoltória, que seria percebida por uma carga utilizada como sensor de nível. Assim o sinal já está pronto para ser recuperado desta forma.

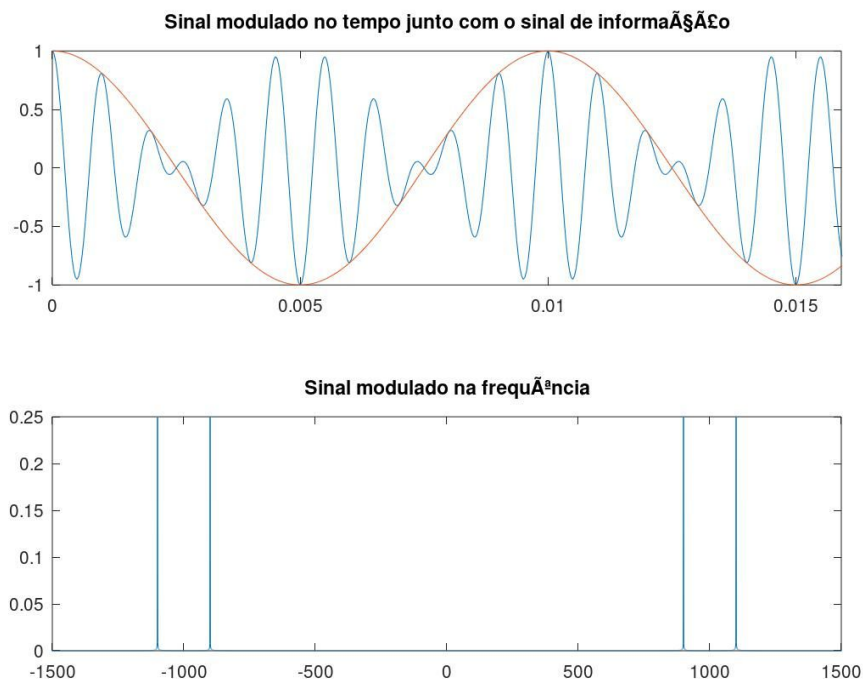
Mudando o fator modulante para outros valores tem-se mudança no centro da amplitude do sinal na saída, como pode ser visto na figura 8.



(Figura 8 - Sinal recuperado com  $A_o = 5$  e  $A_o = 3$  - DSB)

## Parte 2 - AM DSB SC

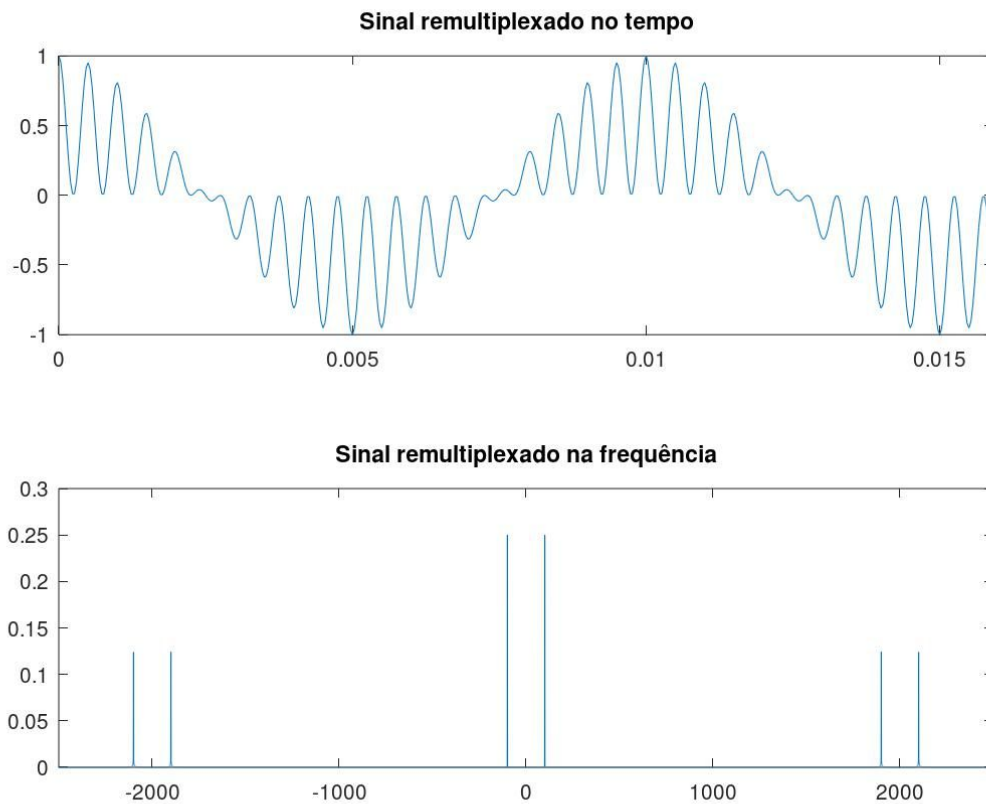
O Mesmo processo foi feito para a modulação AM DSB SC, utilizando os mesmos sinais, apenas não utilizando a componente DC.



(Figura 9 - Sinal modulado DSB-SC)

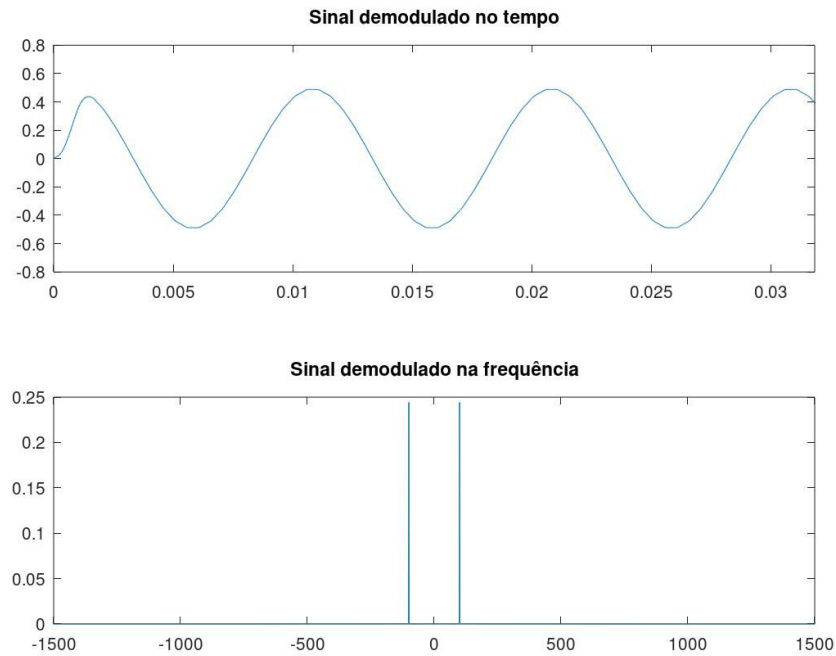


O sinal modulado foi plotado e pode ser visto na figura 9. Aqui fica claro a diferença entre as duas técnicas de modulação ao ser percebida a mudança de fase e a ausência da componente DC no espectro de frequência. Isso impossibilita a detecção de envoltória para a recuperação do sinal.



(Figura 10 - Sinal remultiplicado pela portadora)

Na figura 10 está representado o sinal que passou mais uma vez pela portadora para a recuperação. Aqui percebe-se ainda melhor a mudança de fase e a necessidade da utilização de um filtro. O sinal filtrado e plenamente recuperado está representado na figura 11.



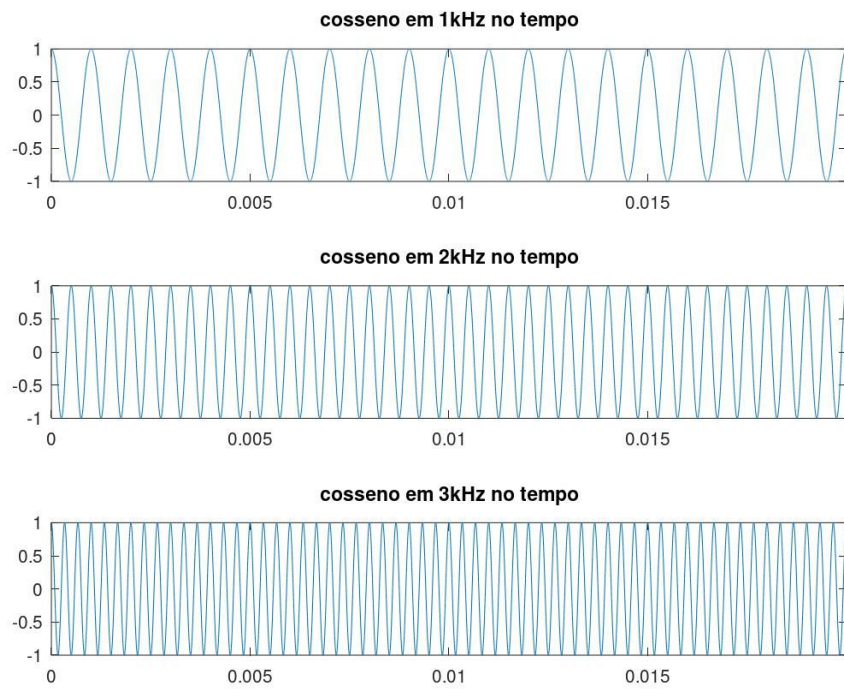
(Figura 11 - Sinal demodulado pós filtro - DSB-SC)

### Exercício 2:

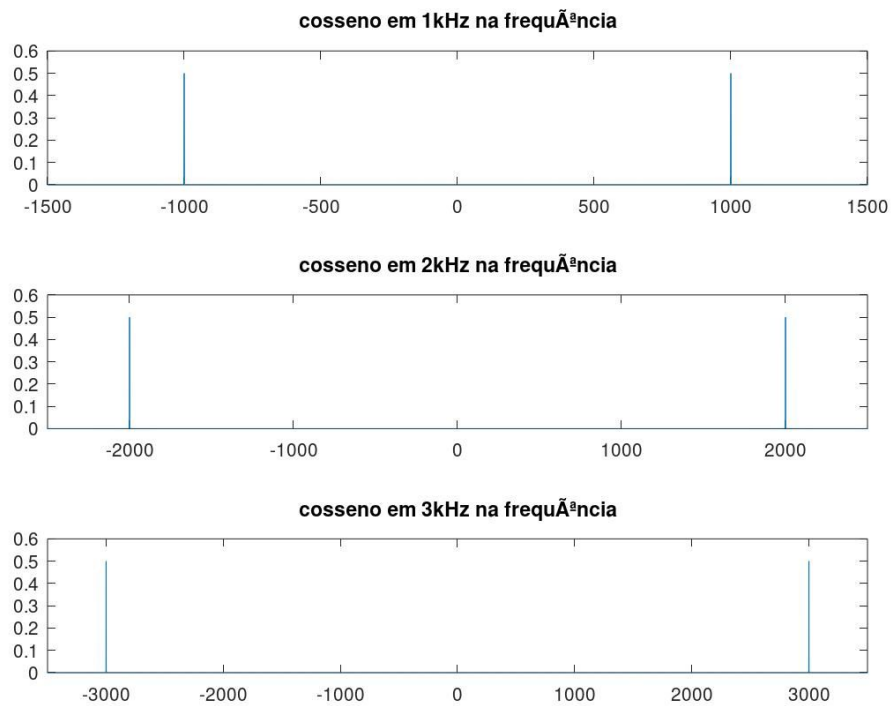
Gerar 3 sinais (cossenos) nas frequências 1k, 2k e 3k. Realizar a multiplexação dos sinais para as frequências 10k, 12k e 14k para a transmissão em um canal de comunicação. Recuperar os sinais originais:

Neste exercício está presente o conceito de multiplexação, a mistura completa de mais de um sinal em um único meio preservando características específicas que possibilitam a recuperação de cada sinal especificamente. Aqui foi feita uma multiplexação FDM, a multiplexação por divisão de frequência. Para isso, os sinais foram modulados em frequências diferentes.

Primeiramente os sinais de 1, 2 e 3 kHz foram criados e analisados, como pode ser visto na figura 12 (domínio do tempo) e 13 (domínio da frequência)

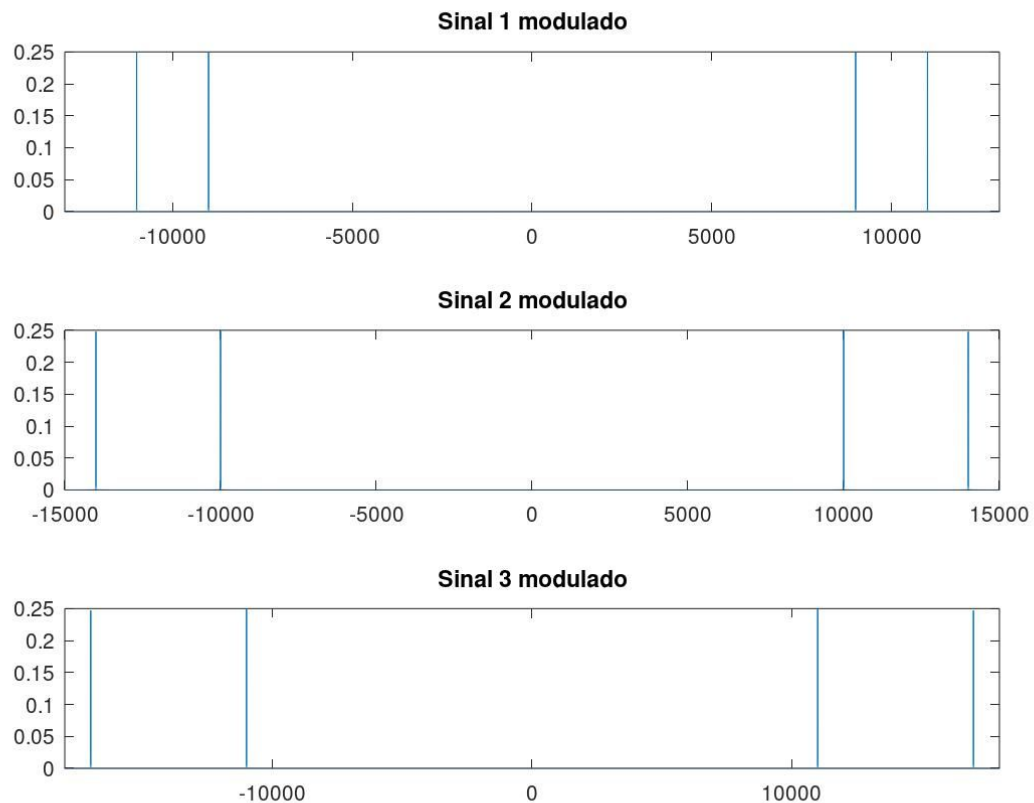


(Figura 12 - Sinais no domínio do tempo)



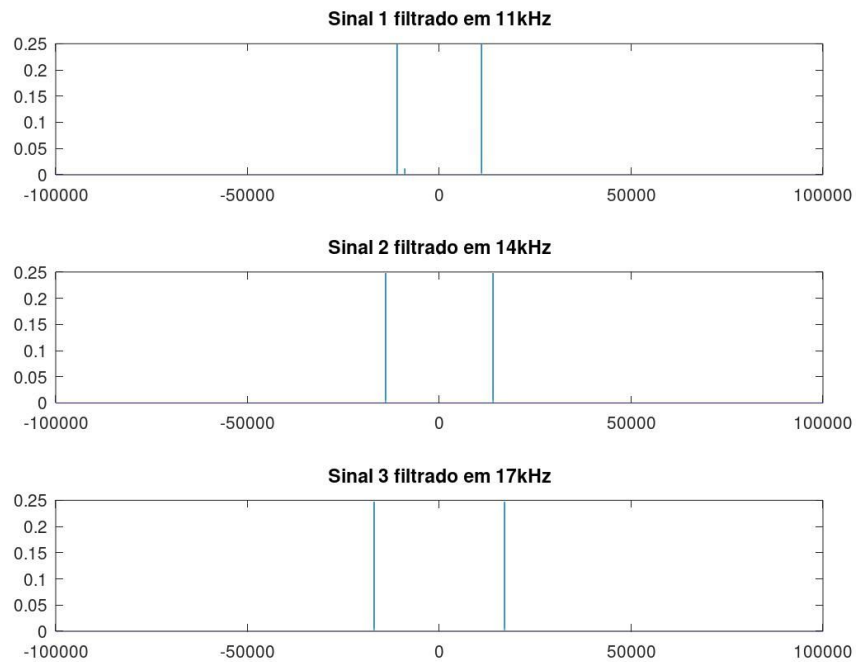
(Figura 13 - Sinais no domínio da frequência)

Os sinais foram modulados em frequência de 10, 12 e 14 kHz respectivamente e a resultante desta modulação pode ser vista na figura 14.



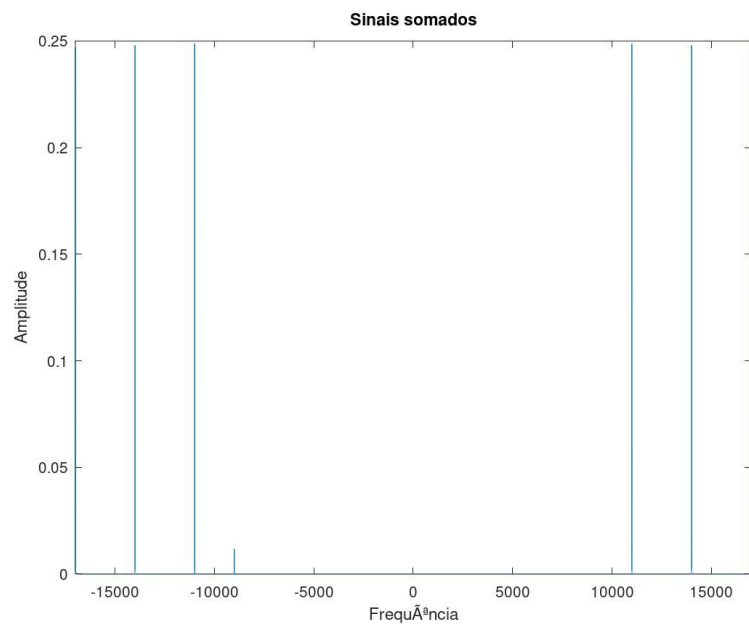
(Figura 14 - Sinais modulados)

Com os sinais nesta forma já é possível fazer a soma e transmitir na multiplexação, entretanto, foi percebido que após a soma, quando os sinais fossem novamente passados por cada portadora para a recuperação, aconteceria sobreposição de sinais na frequência, distorcendo o sinal e tornando impossível a recuperação. Assim foi necessário realizar à priori à soma uma filtragem dos sinais modulados, deixando apenas os sinais com maior frequência, isto pode ser visto na figura 15.



(Figura 15 - Sinais filtrados para a multiplexação)

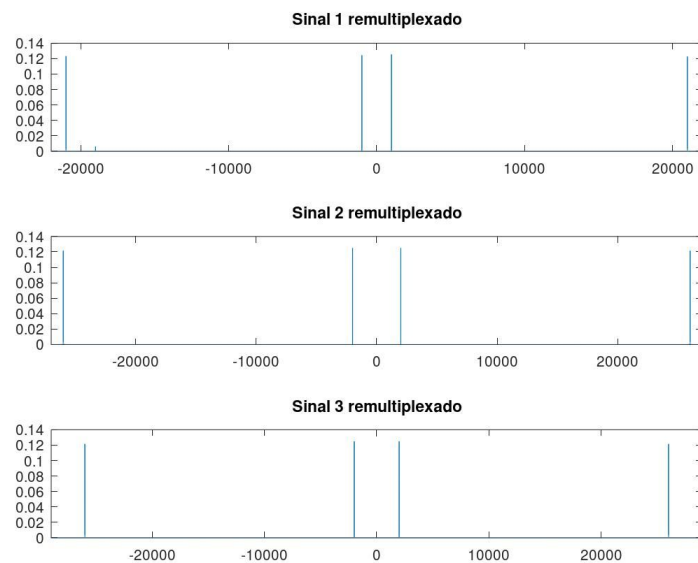
Com os sinais pré filtrados, já é possível fazer a soma para a transmissão do sinal multiplexado. Os sinais somados podem ser vistos na figura 16.



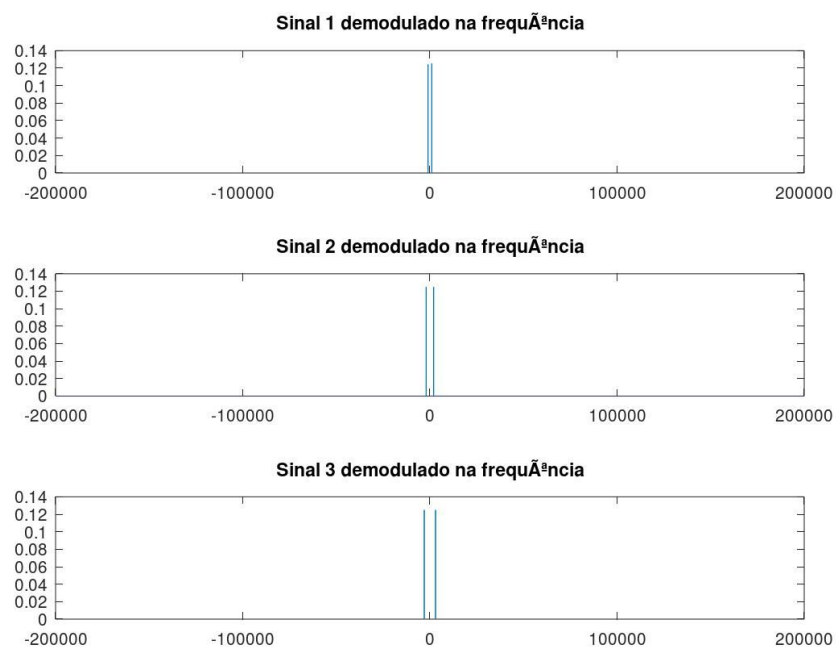
(Figura 16 - Sinais somados pós filtragem e modulação)

Os sinais, aqui, já estão com forma para transmissão. Após esta fase o objetivo é a recuperação de cada sinal que compartilhou este meio. Isto é feito,

primeiro separando cada sinal com um filtro passa faixa e depois multiplicando o sinal transmitido por cada portadora referente à cada sinal.



(Figura 17 - Sinais que passaram por cada portadora para a recuperação depois do filtro passa faixa)



(Figura 18 - Sinais recuperados)

Na figura 18 pode ser visto o sinal completamente recuperado, após a remultiplicação pela portadora, o sinal foi filtrado usando um filtro passa baixa. É possível notar que há bastante distância entre as frequências do sinal original e as

residuais do processo na figura 17, abrindo bastante margem para o uso de filtros reais com baixa ordem.

## Seção IV

Percebe-se com este experimento principalmente a diferença entre os tipos de modulação AM. A facilidade de recuperação do sinal utilizando modulação AM DSB, suprimindo a necessidade do filtro da AM DSB-SC, entretanto, trás um outro problema que é a inserção do sinal em corrente contínua, aumentando bastante o gasto de potência para a transmissão, se perdendo energia.

Além disso, pode-se compreender melhor os processos de multiplexação FDM e atrelá-los aos conhecimentos de modulação e filtragem.

## Seção V

Toda a seção de códigos no matlab seguem nas próximas páginas, sendo divididas entre os três exercícios propostos:

### Exercício 1: DSB:

```
clc
clear all
close all

Ao = 3;

fs = 30000;
f = -fs/2:fs/2;
t = 0:1/fs:1;

f1 = 50;
fc = 1000;

w1 = 2*pi*f1;
wc = 2*pi*fc;

% Sinal de informaÃ§Ã£o:

xin = Ao + 1*cos(w1*t);
```

```
% Sinal da portadora:
```

```
xc = 1*cos(wc*t);
```

```
figure(1);  
subplot(2,2,1);
```

```
plot(t, xin);  
xlim([0 10/w1]);  
title('Sinal de informa~ão no tempo');
```

```
subplot(2,2,3);
```

```
plot(t, xc);  
xlim([0 10/w1]);  
title('Sinal da portadora no tempo');
```

```
Yin = fftshift(fft(xin))/length(fft(xin));
```

```
subplot(2,2,2);  
plot(f, abs(Yin));  
title('Sinal de informa~ão na frequ~ancia');  
xlim([-150 150]);
```

```
Yc = fftshift(fft(xc))/length(fft(xc));
```

```
subplot(2,2,4);  
plot(f, abs(Yc));  
title('Sinal da portadora na frequ~ancia');  
xlim([-1500 1500]);
```

```
%% Fazendo a modula~ão DSB
```

```
xmod = xin.*xc;
```

```
figure(2);
```

```
subplot(2,1,1);
```



```

plot(t, xmod);
title('Sinal modulado no tempo junto com o sinal de informa  o');
xlim([0 10/w1]);
hold on;
plot(t, xin);
hold off;

subplot(2,1,2);

plot(f, abs(fftshift(fft(xmod))/length(fft(xmod))));
title('Sinal modulado na frequ  ncia');
xlim([-1500 1500]);

%% Fazendo a demodula  o DSB

% remultiplicando
xremult = xmod.*xc;

figure(3)
plot(t, xremult, 'b');
xlim([0 10/w1]);
title('Sinal remultiplexado no tempo Ao = 3');
hold on;
plot(t, xin, 'r');
hold off;

```

## Exerc  cio 1 - DSB SC

```

clc;
clear all;
close all;

%% Dados:

Ao = 3;

fs = 30000;
f = -fs/2:fs/2;
t = 0:1/fs:1;

```

```

f1 = 100;
fc = 1000;

w1 = 2*pi*f1;
wc = 2*pi*fc;

% Sinal de informa  o:

xin = cos(w1*t);

% Sinal da portadora:

xc = cos(wc*t);

figure(1);
subplot(2,2,1);

plot(t, xin);
xlim([0 10/w1]);
title('Sinal de informa  o no tempo');

subplot(2,2,3);

plot(t, xc);
xlim([0 10/w1]);
title('Sinal da portadora no tempo');

Yin = fftshift(fft(xin))/length(fft(xin));

subplot(2,2,2);
plot(f, abs(Yin));
title('Sinal de informa  o na frequ  ncia');
xlim([-150 150]);

Yc = fftshift(fft(xc))/length(fft(xc));

subplot(2,2,4);
plot(f, abs(Yc));
title('Sinal da portadora na frequ  ncia');
xlim([-1500 1500]);

```

```
%% Fazendo a modulação DSB-SC
```

```
xmod = xin.*xc;
```

```
figure(2);
```

```
subplot(2,1,1);
```

```
plot(t, xmod);
```

```
title('Sinal modulado no tempo junto com o sinal de informação');
```

```
xlim([0 10/w1]);
```

```
hold on;
```

```
plot(t, xin);
```

```
hold off;
```

```
subplot(2,1,2);
```

```
plot(f, abs(fftshift(fft(xmod))/length(fft(xmod))));
```

```
title('Sinal modulado na frequência');
```

```
xlim([-1500 1500]);
```

```
%% Fazendo a demodulação DSB-SC
```

```
% remultiplexando
```

```
xremult = xmod.*xc;
```

```
figure(3)
```

```
subplot(2,1,1);
```

```
plot(t, xremult);
```

```
xlim([0 10/w1]);
```

```
title('Sinal remultiplexado no tempo');
```

```
% Fazendo o filtro passa baixas com frequência de corte em 200Hz
```

```
subplot(2,1,2);
```

```
plot(f, abs(fftshift(fft(xremult))/length(fft(xremult))));
```

```
xlim([-2500 2500]);
```

```
title('Sinal remultiplexado na frequência');
```

```
fi1 = fir1 (50,(2*200)/fs);
```

```
xdemod = filter(fi1, 1, xremult);
```

```

figure(4)
subplot(2,1,1);
plot(t, xdemod);
xlim([0 20/w1]);
title('Sinal demodulado no tempo');

subplot(2,1,2);
plot(f, abs(fftshift(fft(xdemod))/length(fft(xdemod))))
xlim([-1500 1500]);
title('Sinal demodulado na frequência');

%%

```

## Exercício 2 - Multiplexação utilizando modulação AM

```

clear all
close all
clc

%% Gerando os cossenos em 1kHz, a 2kHz e 3kHz

fs = 200000;
t = [0:1/fs:1];

f1 = 1000;
f2 = 2000;
f3 = 3000;

w1 = 2*pi*f1;
w2 = 2*pi*f2;
w3 = 2*pi*f3;

x1 = cos(w1*t);
x2 = cos(w2*t);
x3 = cos(w3*t);

figure(1)
% Sinais no domínio do tempo
subplot(311);

```

```
plot(t,x1);  
title('cosseno em 1kHz no tempo');  
xlim([0 0.02])
```

```
subplot(312);  
plot(t,x2);  
title('cosseno em 2kHz no tempo');  
xlim([0 0.02])
```

```
subplot(313);  
plot(t,x3);  
title('cosseno em 3kHz no tempo');  
xlim([0 0.02])
```

```
% Sinais no domínio da frequência
```

```
f = -fs/2:fs/2;  
Y1 = fftshift(fft(x1))/length(fft(x1));  
Y2 = fftshift(fft(x2))/length(fft(x2));  
Y3 = fftshift(fft(x3))/length(fft(x3));
```

```
figure(2)
```

```
subplot(311)  
plot(f, abs(Y1));  
title('cosseno em 1kHz na frequência');  
xlim([-1500 1500])
```

```
subplot(312);  
plot(f, abs(Y2));  
title('cosseno em 2kHz na frequência');  
xlim([-2500 2500])
```

```
subplot(313);  
plot(f, abs(Y3));  
title('cosseno em 3kHz na frequência');  
xlim([-3500 3500])
```

```
%% Modulando os sinais
```

```
fc1 = 10000;  
fc2 = 12000;
```

```

fc3 = 14000;

wc1 = 2*pi*fc1;
wc2 = 2*pi*fc2;
wc3 = 2*pi*fc3;

xc1 = cos(wc1*t);
xc2 = cos(wc2*t);
xc3 = cos(wc3*t);

Yc1 = fftshift(fft(xc1))/length(fft(xc1));
Yc2 = fftshift(fft(xc2))/length(fft(xc2));
Yc3 = fftshift(fft(xc3))/length(fft(xc3));

figure(3);

subplot(311);
plot(f, abs(Yc1));
xlim([-12000 12000]);
title('Sinal de modulação em 10kHz');

subplot(312);
plot(f, abs(Yc2));
xlim([-15000 15000]);
title('Sinal de modulação em 12kHz');

subplot(313);
plot(f, abs(Yc3));
xlim([-16000 16000]);
title('Sinal de modulação em 13kHz');

%% Fazendo a modulação de sinal pra sinal:

xm1 = x1.*xc1;
xm2 = x2.*xc2;
xm3 = x3.*xc3;

Ym1 = fftshift(fft(xm1))/length(xm1);
Ym2 = fftshift(fft(xm2))/length(xm2);
Ym3 = fftshift(fft(xm3))/length(xm3);

figure(4);

```

```
subplot(311);  
plot(f, abs(Ym1));  
xlim([-13000 13000]);  
title('Sinal 1 modulado');
```

```
subplot(312);  
plot(f, abs(Ym2));  
xlim([-15000 15000]);
```

```
title('Sinal 2 modulado');
```

```
subplot(313);  
plot(f, abs(Ym3));  
xlim([-18000 18000]);  
title('Sinal 3 modulado');
```

```
%% Filtrando os sinais para evitar sobreposição:
```

```
% Criando filtros ideais:
```

```
% Sinal 1
```

```
fi1 = [zeros(1, 89000) ones(1, 2000) zeros(1, 9001) zeros(1, 10000) ones(1, 2000)  
zeros(1, 88000)];
```

```
figure(5);  
Ym1f = fi1.*Ym1;
```

```
subplot(3,1,1);  
plot(f, abs(Ym1f));  
title('Sinal 1 filtrado em 11kHz');
```

```
% Sinal 2
```

```
fi2 = [zeros(1, 85000) ones(1, 2000) zeros(1, 13001) zeros(1, 13000) ones(1, 2000)  
zeros(1, 85000)];  
Ym2f = fi2.*Ym2;
```

```
subplot(3,1,2);  
plot(f, abs(Ym2f));  
title('Sinal 2 filtrado em 14kHz');
```

```
% Sinal 3
```

```
fi3 = [zeros(1, 82000) ones(1, 3000) zeros(1, 15001) zeros(1, 15000) ones(1, 3000) zeros(1, 82000)];
```

```
Ym3f = fi3.*Ym3;
```

```
subplot(3,1,3);
```

```
plot(f, abs(Ym3f));
```

```
title('Sinal 3 filtrado em 17kHz');
```

```
%% Somando os sinais para transmissão:
```

```
Ysum = Ym1f + Ym2f + Ym3f;
```

```
figure(6);
```

```
plot(f, abs(Ysum));
```

```
title('Sinais somados');
```

```
xlabel('Frequência');
```

```
ylabel('Amplitude');
```

```
xlim([-17000 17000]);
```

```
%% Aplicando os mesmos filtros para poder recuperar os sinais.
```

```
Ypf1 = Ysum.*fi1;
```

```
Ypf2 = Ysum.*fi2;
```

```
Ypf3 = Ysum.*fi3;
```

```
%% Demodulando os sinais:
```

```
% Sinal 1:
```

```
figure(7);
```

```
fa = -fs:fs;
```

```
Y1remult = conv(Ypf1,Yc1);
```

```
subplot(3,1,1);
```

```
plot(fa, abs(Y1remult));
```

```
xlim([-22000 22000])
```

```
title('Sinal 1 remultiplexado');
```



% Sinal 2:

```
Y2remult = conv(Ypf2,Yc2);
```

```
subplot(3,1,2);  
plot(fa, abs(Y2remult));  
xlim([-27000 27000])  
title('Sinal 2 remultiplexado');
```

% Sinal 3:

```
Y3remult = conv(Ypf3,Yc3);
```

```
subplot(3,1,3);  
plot(fa, abs(Y2remult));  
xlim([-29000 29000])  
title('Sinal 3 remultiplexado');
```

%% Passando um filtro passa baixas para recuperar os sinais originais:

```
figure(8);
```

% Criando o filtro passa baixas ideal:

```
fpb = [zeros(1, 192000) ones(1, 13000) zeros(1, 195001)];
```

% Filtrando os sinais remultiplexados:

```
Y1demod = Y1remult.*fpb;  
subplot(3,1,1);  
plot(fa, abs(Y1demod));  
title('Sinal 1 demodulado na frequência');
```

```
Y2demod = Y2remult.*fpb;  
subplot(3,1,2);  
plot(fa, abs(Y2demod));  
title('Sinal 2 demodulado na frequência');
```

```
Y3demod = Y3remult.*fpb;  
subplot(3,1,3);  
plot(fa, abs(Y3demod));  
title('Sinal 3 demodulado na frequência');
```