

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Wagner Spinato Chittó

2º TRABALHO PRÁTICO
Amostragem de Sinais

Santa Maria, RS
29/08/2025

Objetivo:

Simulação dos processos de amostragem e reconstrução de sinais utilizando filtro passa-baixas ideal. Observação dos efeitos dos seguintes parâmetros nos processos: taxa de amostragem, largura de banda do sinal, frequência de corte do filtro.

Fundamentação:

- Arquivo de simulação “amostragem.m”:

```
% amostragem.m
function [s_out]=amostragem(sig_in,td,ts)
    if (rem(ts/td,1)==0)
        nfac=round(ts/td);
        s_out=downsample(sig_in,nfac);
        s_out=upsample(s_out,nfac);
    else
        warning('Erro! ts/td não é um inteiro!');
        s_out=[];
    end
end
```

- Arquivo de simulação “amostragem_reconstrucao.m”:

```
clear all;close all;clc;

% Exemplo de amostragem e quantização
td=0.002; % intervalo entre os pontos do sinal "analógico"
t=td:td:1; % intervalo de 1 segundo
xsig=sin(2*pi*t)-sin(2*3*pi*t); % seno de 1Hz + 3Hz;
Lsig=length(xsig);

ts=0.02; % taxa de amostragem 50 Hz
fator=ts/td;
% envia o sinal a um amostrador
s_out = amostragem(xsig,td,ts);

% calcula a transformada de Fourier
Lfft=2^ceil(log2(Lsig)+1);
Fmax=1/(2*td);
Faxis=linspace(-Fmax,Fmax,Lfft);
Xsig=fftshift(fft(xsig,Lfft));
S_out=fftshift(fft(s_out,Lfft));

% traça gráfico do sinal original e do sinal amostrado nos domínios do
% tempo e da frequência
figure(1);
```

```

subplot(311); sfig1a=plot(t,xsig,'k');
hold on; sfig1b=plot(t,s_out(1:Lsig),'b'); hold off;
set(sfig1a,'LineWidth',2); set(sfig1b,'LineWidth',2);
xlabel('tempo,segundos');
title('sinal {\it g} ({\it t}) e suas amostras uniformes');

subplot(312); sfig1c=plot(Faxis,abs(Xsig));
xlabel('frequência (Hz)');
axis([-150 150 0 300]);
set(sfig1c,'LineWidth',1);
title('Espectro de {\it g} ({\it t})');

subplot(313); sfig1d=plot(Faxis,abs(S_out));
xlabel('frequência (Hz)');
axis([-150 150 0 300/fator]);
set(sfig1c,'LineWidth',1);
title('Espectro de {\it g}_T ({\it t})');

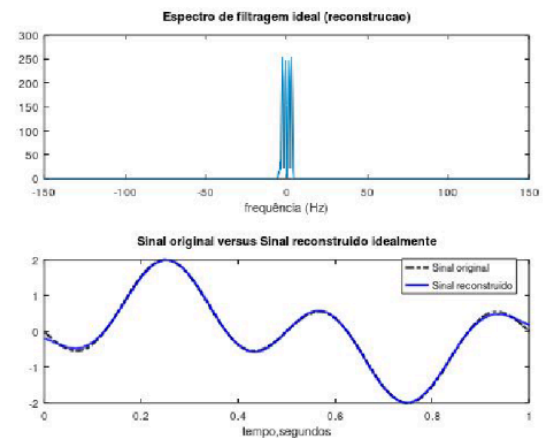
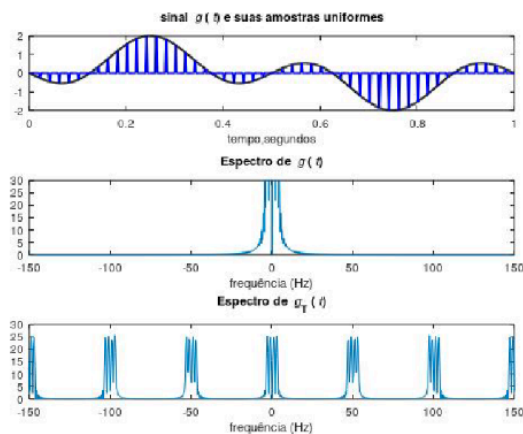
% calcula o sinal reconstruído a partir de amostragem ideal
% e LPF (filtro passa-baixas) ideal
% Máxima largura do LPF é igual a BW=floor((Lfft/Nfactor)/2);
BW=10; % largura de banda não é maior que 10Hz
H_lpf=zeros(1,Lfft);H_lpf(Lfft/2 - BW:Lfft/2+BW-1)=1; % LPF ideal
S_recv=fator*S_out.*H_lpf; % filtragem ideal
s_recv=real(ifft(fftshift(S_recv))); % domínio da freq. reconstruído
s_recv=s_recv(1:Lsig); % domínio do tempo reconstruído

% traça gráfico do sinal reconstruído idealmente nos domínios do
% tempo e da frequência
figure(2);
subplot(211); sfig2a=plot(Faxis,abs(S_recv));
xlabel('frequência (Hz)');
axis([-150 150 0 300]);
title('Espectro de filtragem ideal (reconstrução)');
subplot(212); sfig2b=plot(t,xsig,'k-.',t,s_recv(1:Lsig),'b');
legend('Sinal original','Sinal reconstruído');
xlabel('tempo,segundos');
title('Sinal original versus Sinal reconstruido idealmente');
set(sfig2b,'LineWidth',2);

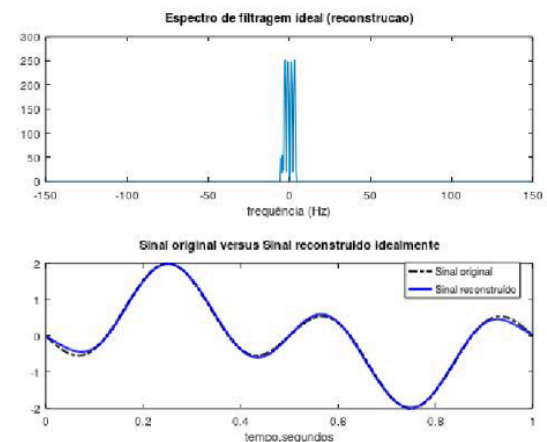
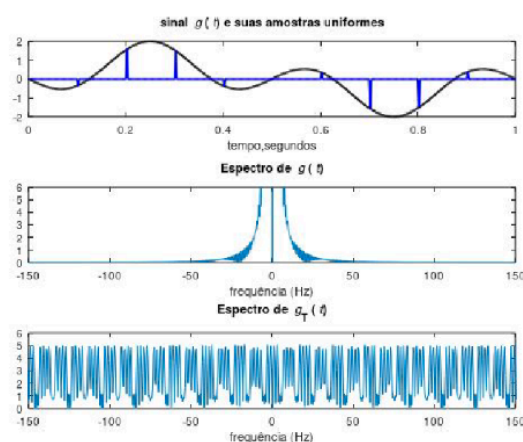
```

Procedimento:

1 - Sinal fundamental:



2.1 - Influência da variação da taxa de amostragem:

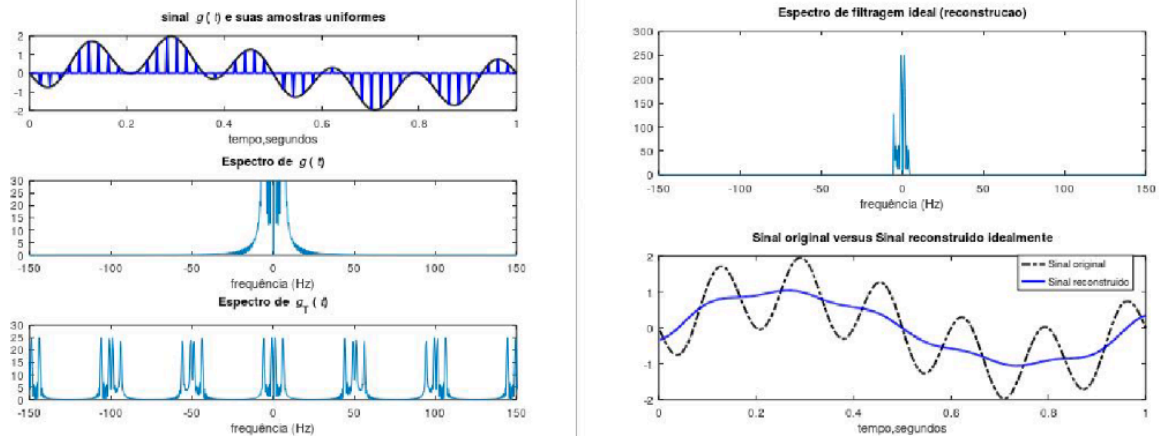


Análise teórica: A taxa de amostragem deve ser pelo menos o dobro da maior frequência presente no sinal para evitar aliasing.

Análise experimental: Quando a taxa de amostragem é reduzida, o espectro replicado no domínio da frequência pode causar sobreposição. Isso gera distorções no sinal reconstruído.

Conclusão: Quanto menor a taxa de amostragem, maior a distorção em relação ao sinal teórico.

2.2 - Influência da variação da largura de banda do sinal:

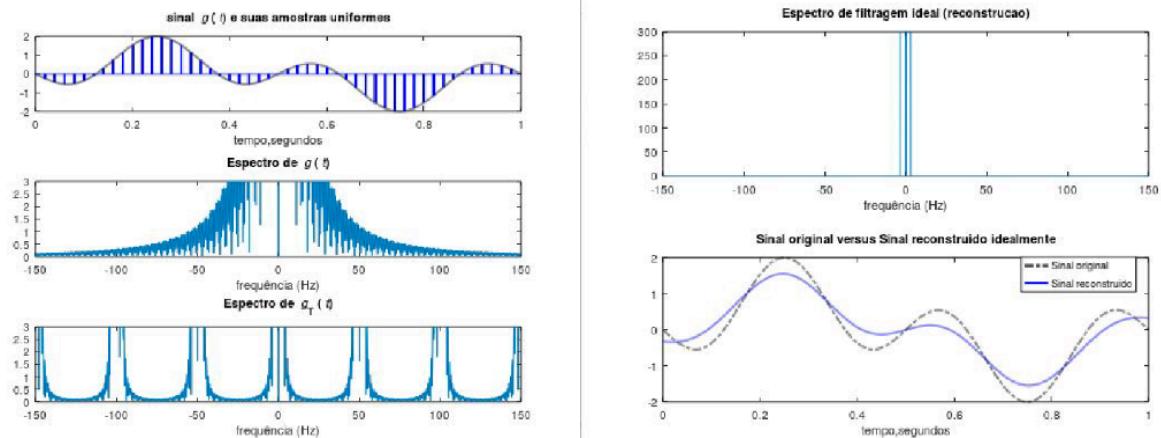


Análise teórica: Quanto maior a largura de banda do sinal, maior será a faixa de frequências que precisa ser representada e preservada durante a amostragem e reconstrução.

Análise experimental: Aumentando a largura de banda, o espectro ocupa mais espaço no domínio da frequência. Isso exige maior taxa de amostragem para evitar aliasing. Na reconstrução mostrada, observa-se que o sinal não se sobrepõe perfeitamente ao original, pois o filtro ideal não consegue recuperar toda a informação perdida.

Conclusão: O aumento da largura de banda piora a reconstrução se a taxa de amostragem e o filtro não forem ajustados proporcionalmente.

2.3 - Influência da variação da frequência de corte do filtro:



Análise teórica: O filtro de reconstrução deve ter frequência de corte ajustada exatamente à largura de banda do sinal para remover réplicas espectrais sem eliminar conteúdo útil.

Se a frequência de corte for menor que a largura de banda, partes do sinal original são eliminadas, resultando em atenuação e distorção.

Se a frequência de corte for maior que a largura de banda, passam ruídos e réplicas indesejadas, afetando a fidelidade da reconstrução.

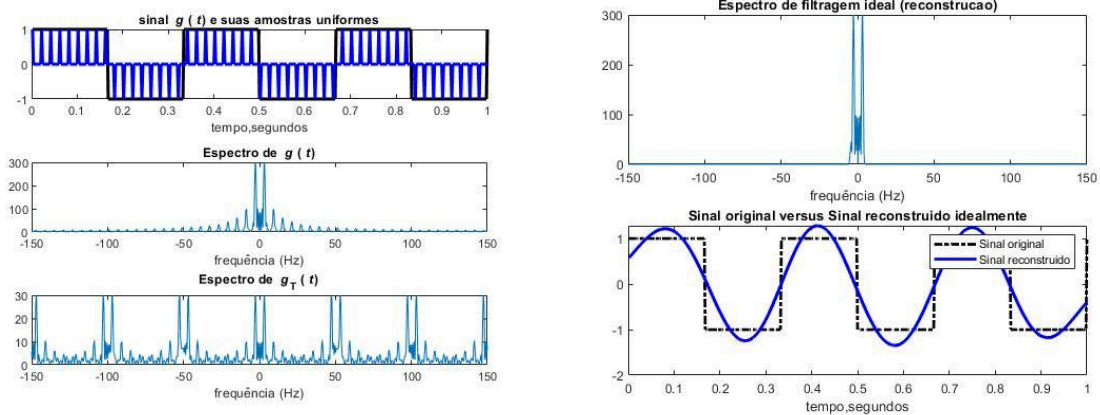
Análise experimental: O ajuste inadequado da frequência de corte gera discrepâncias claras entre sinal teórico e reconstruído.

Conclusão: O alinhamento ideal ocorre quando a frequência de corte coincide com a largura de banda teórica do sinal.

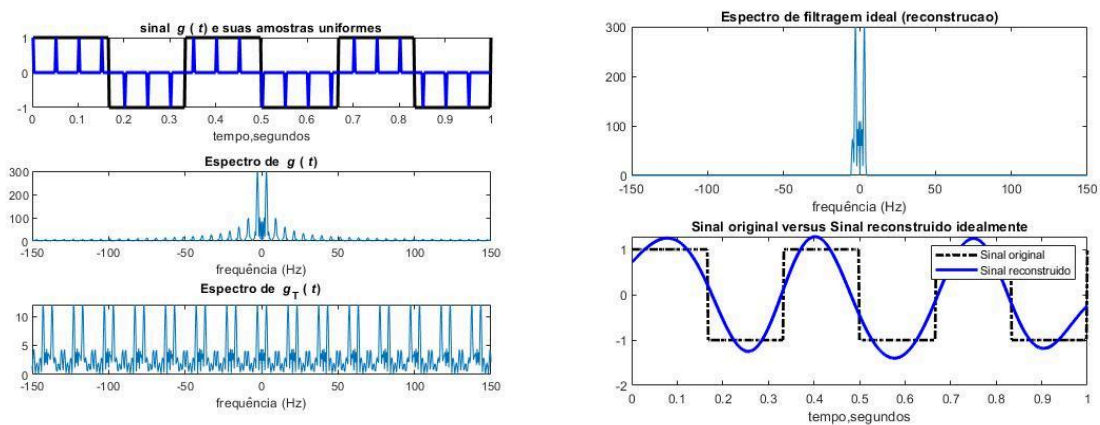
3 - Modificações da simulação:

3.1 - Onda quadrada

Base:

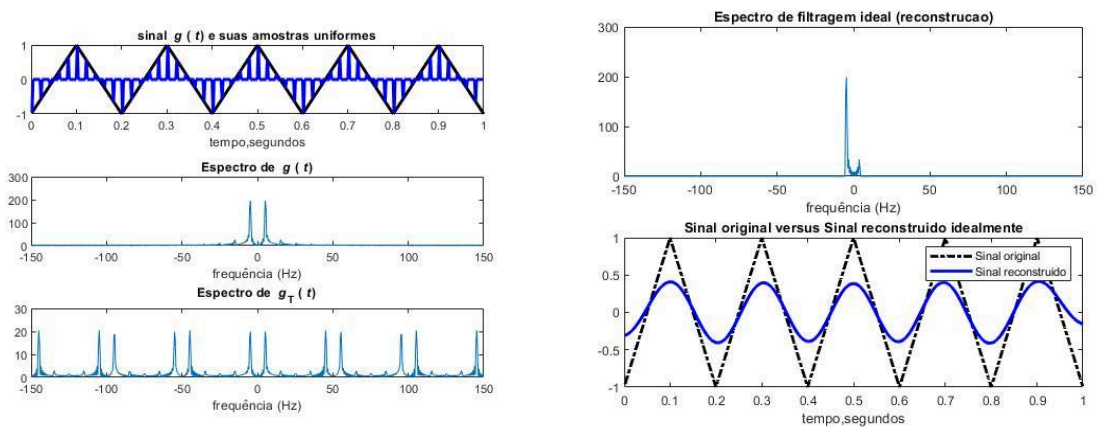


Varição:

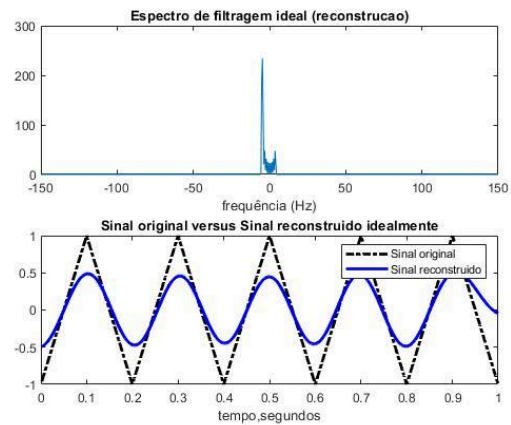
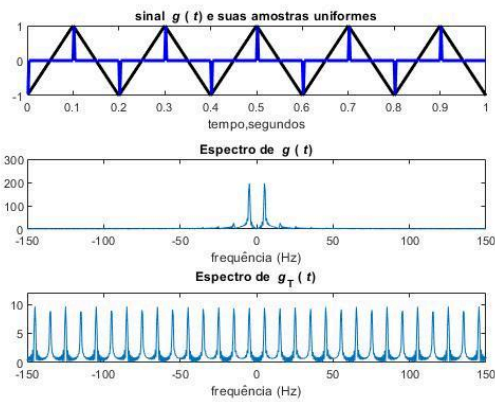


3.2 - Onda triangular

Base:

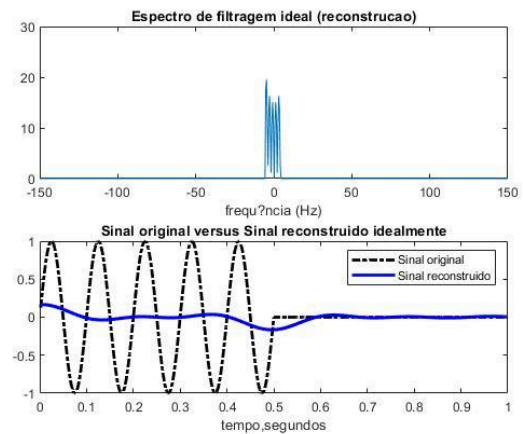
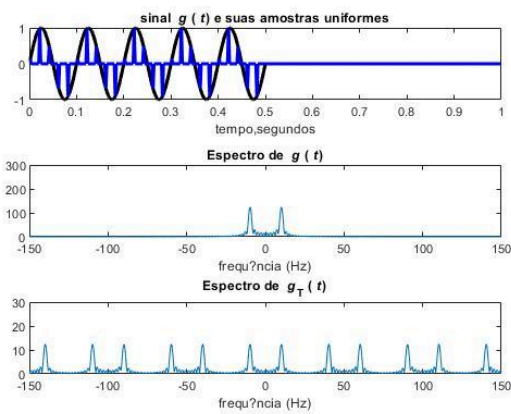


Varição:

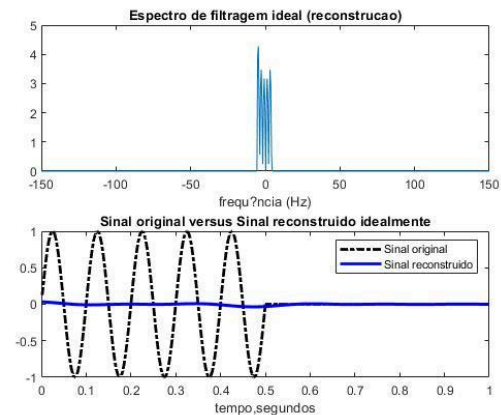
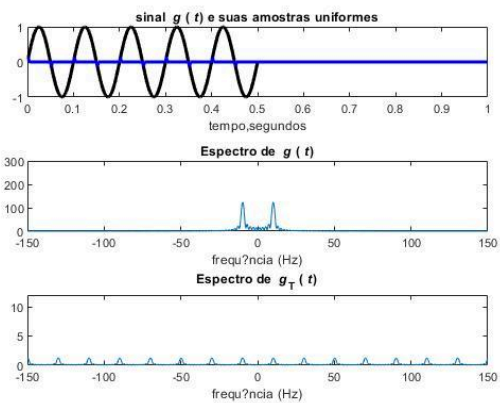


3.3 - Sinal senoidal com duração finita

Base:

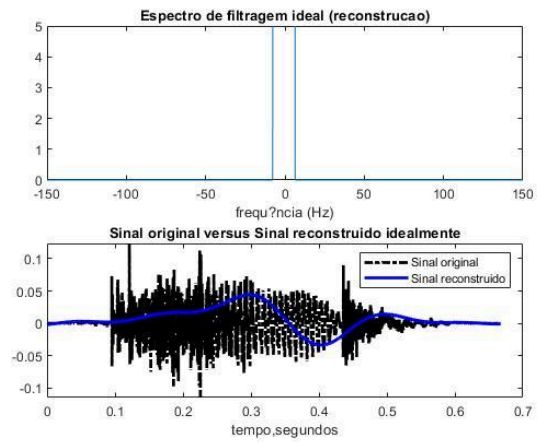
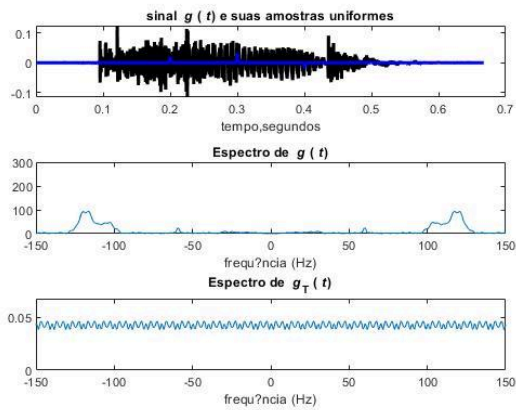


Varição:

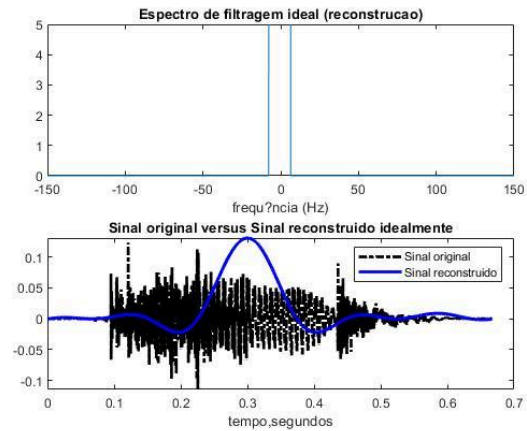
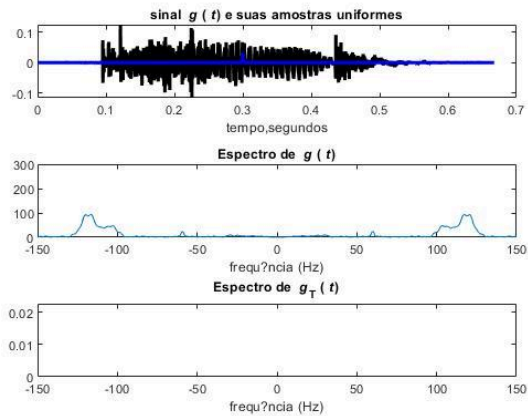


3.4 - Sinal de áudio (voz)

Base:



Variação:



Bibliografia:

- Algoritmo amostragem_reconstrucao.m:
https://ead06.proj.ufsm.br/pluginfile.php/5461143/mod_resource/content/1/amostragem_reconstrucao.m
- Algoritmo amostragem.m:
https://ead06.proj.ufsm.br/pluginfile.php/5461142/mod_resource/content/0/amostragem.m
- Gravação Voz: <https://www.pacdv.com/sounds/voices/and-2.wav>
- <https://www.mathworks.com>