



O Sinal de ECG

O eletrocardiograma, também conhecido como ECG, é um tipo de exame de saúde no qual é feito o registro da variação dos potenciais elétricos gerados pela atividade elétrica do coração para avaliar a função cardíaca. O registro das variações de ondas elétricas emitidas pelas contrações do coração que passam para os tecidos vizinhos e chegam à pele é feito com eletrodos estrategicamente posicionados no peito do paciente. Na Figura I é mostrado o sinal de um ECG que representa a função cardíaca padrão ao longo do tempo e na Figura II a forma do ciclo cardíaco. Um ciclo completo da função cardíaca padrão é representado por ondas P, Q, R, S, T, com duração total menor do que 0,8 segundos. Neste ciclo se distingue uma onda P que corresponde à contração dos átrios e um consecutivo complexo QRS determinado pela contração dos ventrículos. Conclui o ciclo uma onda T. Cabe notar que se o tempo estimado em cada quadrante (conforme indicado na Figura I) é de 0,2 segundos e um ciclo compreende 5 quadrantes, em 60 segundos (1 minuto), teremos a frequência de 60 ciclos ou batimentos por minuto ($0,2 \text{ segundos} \times 5 = 1 \text{ segundo} = 1 \text{ ciclo}$; em 60 segundos teremos 60 ciclos). Um adulto normal apresenta em média 60 a 100 batimentos (ciclos) por minuto.

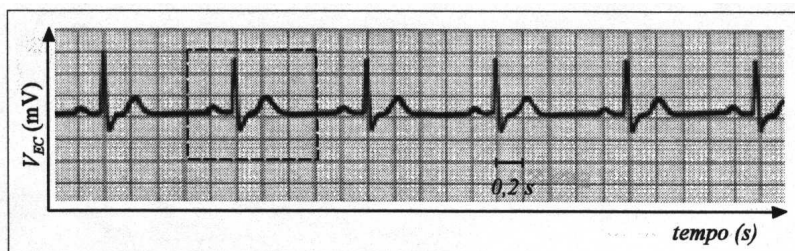


Figura I
(eletrocardiograma normal)

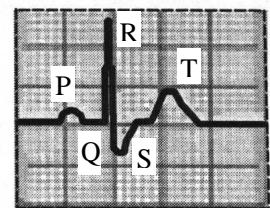


Figura II
(detalhe do
eletrocardiograma)

O ECG representa um precioso meio de diagnóstico. O laudo do cardiologista é baseado na análise das formas de onda que compõem o ECG. Por esse motivo é importante que sejam eliminados as eventuais interferências que podem surgir durante o processo de aquisição. O maior problema na obtenção de ECGs é o aparecimento da interferência de 60 Hz da rede elétrica, principalmente devido às interconexões e imperfeições dos eletrocardiógrafos. Se o sinal da rede elétrica não for puramente um sinal senoidal, devido a distorções e/ou saturações, harmônicas da frequência fundamental também podem aparecer. Para eliminar esse tipo de interferência é essencial filtrar o sinal medido pelos eletrodos (sinal de ECG + interferências) com um filtro seletivo em frequência (filtro *notch*).

O objetivo da experiência é usar os conceitos de resposta em frequência abordados no curso de PDS-I (PTC-2324) para projetar filtros que elimine interferências presentes em um sinal de ECG. Além disso, verificar a diferença no comportamento de filtros FIR e IIR.

Considere que temos disponível um sinal de ECG contaminado pela interferência de 60 Hz da rede elétrica e as cinco harmônicas seguintes. Especificamente desejamos eliminar o conteúdo espectral do sinal nas frequências

$$60 \ell \text{ Hz}, \quad \ell = 1, 2, \dots, 5.$$

Considera-se aqui que o sinal foi amostrado com $f_a = 1200 \text{ Hz}$ e as amostras das sequências com e sem interferências estão gravadas no arquivo *dados05102012.mat*.

1) **Análise do espectro do sinal.** Para responder esse item você deve usar as sequências do arquivo *dados05102012.mat*. Além disso, você pode usar a rotina TFTD da experiência anterior mas agora com passo menor $\text{passo} = 1/10000$.

1.a) Obter a representação em frequência do sinal do ECG sem interferências.

1.b) Obter a representação em frequência do sinal do ECG com interferências.

- Arquivo de dados

```
load dados05102012 % "ecg2=sinal ECG" e "sinal= ecg2 + interferencias"
```

- Rotina TFTD

```
function [omega,X]=TFTD(n,x); % função TFTD.m
L=length(n);
passo=1/10000;
omega=0:passo:1*pi-passo;
X=zeros(1,length(omega));
for k=1:L
    X=X+x(k).*exp(-j*omega*n(k));
end
```

2) Resultados com o filtro FIR

- a) Projete um filtro *notch* digital, não-recursivo, de ordem 10 e com coeficientes reais para eliminar as interferências indesejadas.

Dica: Forneça inicialmente a expressão do $H(z)$. Com a frequência de amostragem dada, calcule os zeros do filtro digital de forma a eliminar as interferências senoidais. A partir dos zeros calculados, obtenha os coeficientes do polinômio correspondente, usando a função *poly.m*. Apresente um gráfico do diagrama de pólos e zeros do filtro, utilizando a função *zplane.m*.

```
fa=1200; % frequencia de amostragem
fint=60; % frequencia fundamental a ser eliminada
K=5; % fundamental mais K-1 de harmônicas
Nt=length(sinal);
omega0=2*pi*fint/fa;
z1=exp(j*omega0*[1:K]); % zeros da função de transferência
% Precisamos ter zeros também nos complexos conjugados para que os coef. do
% filtro sejam reais
z2=conj(z1);
ind=find(real(z2)==-1);
z2(ind)=[]; % para evitar zero duplo em -1
zz=[z1 z2]; % o filtro não elimina DC pois não tem zeros em z=1
bfir=poly(zz); % numerador do filtro FIR
figure(1)
subplot(221); zplane(bfir,1); title('zeros do FIR')
```

- b) Apresente gráficos da resposta em frequência (módulo e fase) do filtro FIR em função da frequência em Hz. Para isso, utilize a função *freqz*, informando o valor de f_a . Como é a atenuação do filtro nas frequências das interferências? Verifique o resultado considerando $f_{\text{ator}} = 1$ e posteriormente $f_{\text{ator}} = 12$

```
bfirfator=fator*bfir;
[Hfir,ffir]=freqz(bfirfator,1,4096,fa);
figure(2)
subplot(211); plot(ffir,20*log10(abs(Hfir))); ylabel('Módulo (dB)'); grid on
title('Resposta em frequencia do filtro FIR')
subplot(212); plot(ffir,angle(Hfir));
ylabel('Fase (rad)'); xlabel('f (Hz)'); grid on
```

- c) Implemente o filtro FIR. Verifique o resultado considerando $fator = 1$ e posteriormente $fator = 12$. Apresente um gráfico do sinal de ECG em função do tempo em segundos. Apresente também gráfico do sinal filtrado. O filtro fez o que deveria? Explique seus resultados.

```
%% Filtro FIR
ecg_fir=filter(bfirfator,1,sinal);
t=(0:length(sinal)-1)/fa; % tempo em segundos
figure(3)
t1=length(bfir);
t2=length(sinal);
subplot(211); plot(t(t1:t2), sinal(t1:t2)); title('ECG com interferência'); grid
subplot(212); plot(t(t1:t2), ecg_fir(t1:t2));
xlabel('tempo (s)'); title('Saída do filtro FIR')
hold; plot(t, ecg2(1:end),'r'); hold off; grid
```

- d) Obter a representação em frequência do sinal filtrado. Compare com as curvas do Item 1. **Dica:** Considere aqui o intervalo $t_1 < n < t_2$ conforme o que foi feito para as curvas do sinal no item anterior. Comente e justifique as eventuais diferenças.

3) Vamos agora projetar um filtro *notch* recursivo (IIR) com coeficientes reais. Para isso, os pólos devem ter a mesma fase dos zeros do filtro não-recursivo projetado no Exercício 2) e módulo igual a 0.95. Pede-se:

- a) De forma semelhante ao item a) do Exercício 2, obtenha os coeficientes do polinômio do numerador e do denominador do filtro recursivo e faça o diagrama de polos e zeros.

```
%% Filtro IIR
r=0.95; % modulo dos polos do filtro notch
polos=r*zz;
b64=real(poly(zz));
a64=real(poly(polos));
%
figure(1)
subplot(222); zplane(b64,a64); title('polos e zeros do IIR')
```

- b) Apresente gráficos da resposta em frequência (módulo e fase). Explique porque esse filtro é melhor que o filtro recursivo FIR projetado anteriormente.

```
figure(4)
[H64,f64]=freqz(b64,a64,4096,fa);
subplot(211); plot(f64,20*log10(abs(H64))); ylabel('Módulo (dB)'); grid on
subplot(212); plot(f64,angle(H64)); ylabel('Fase (rad)'); xlabel('f (Hz)'); grid on
```

- c) Apresente gráficos do sinal de entrada e de saída do filtro em função do tempo em segundos. Comente e justifique adequadamente seus resultados. **Obs:** Você pode usar a função `filter.m` do Matlab.

```
ecg_iir=filter(b64,a64,sinal);
figure(5)
subplot(211); plot(t, sinal), title('ECG com interferência'); grid on
subplot(212); plot(t, ecg_iir), xlabel('tempo (s)'); title('Saída do filtro IIR')
hold; plot(t, ecg2(1:end),'r'); hold off; grid on
```

- d) Obter a representação em frequência do sinal filtrado. Compare com as curvas dos Item 1 e Item 2d. Comente e justifique as eventuais diferenças.