



Análise no Domínio da Frequência

*Processamento de Sinais e Instrumentação
para a Análise do Movimento Humano*

Prof. Dr. Renato de Moraes

Os 4 componentes essenciais de um sinal que varia no tempo

Frequency: f

a



Amplitude: a

b



Offset: a_0

c



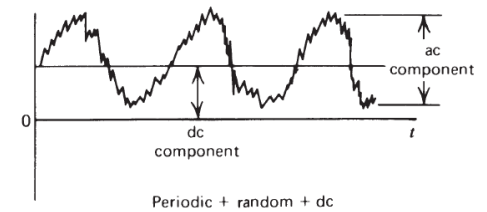
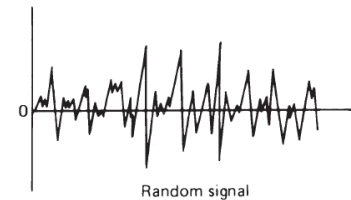
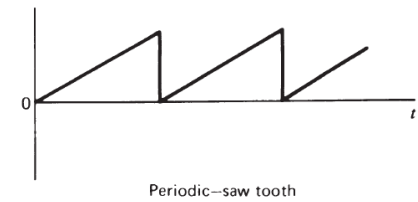
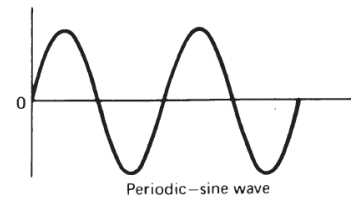
Phase angle (shift): θ

d



Tipos de sinais

- Sinal alternado (ac)
 - Muda continuamente ao longo do tempo
 - Pode ser periódico ou completamente randômico
 - Qualquer sinal pode ter um viés (offset ou dc)
 - Sinal flutua em torno desse valor



Frequência

- Representa quão rapidamente o sinal oscila.
- Usualmente medido em ciclos por segundo ou hertz (Hz).
- $1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo por segundo}$

Frequência

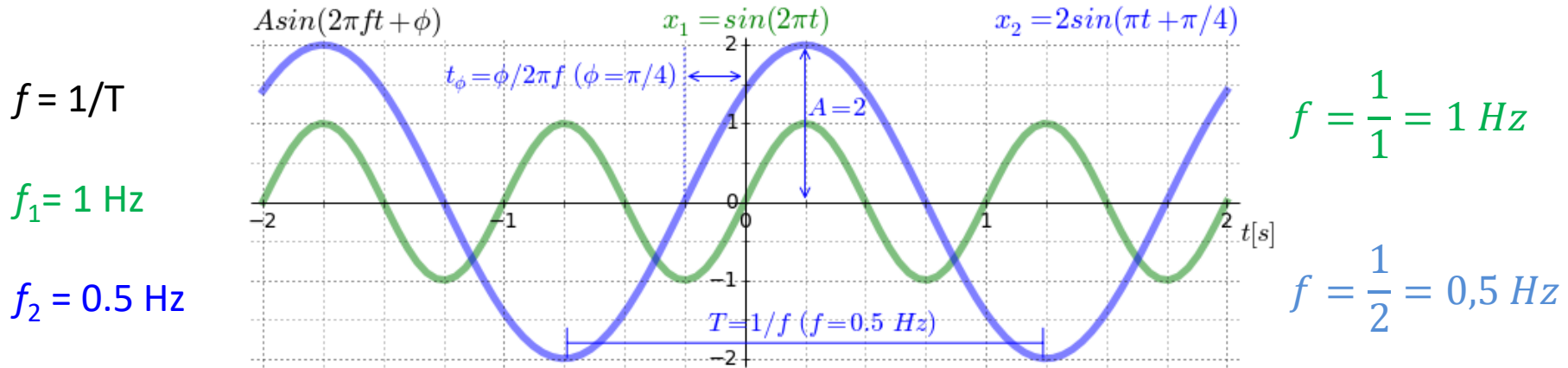
$$T = \frac{1}{f} \quad T = \frac{1}{250} \quad T = 0,004 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} \quad f = \frac{1}{0,004} \quad f = 250 \text{ Hz}$$

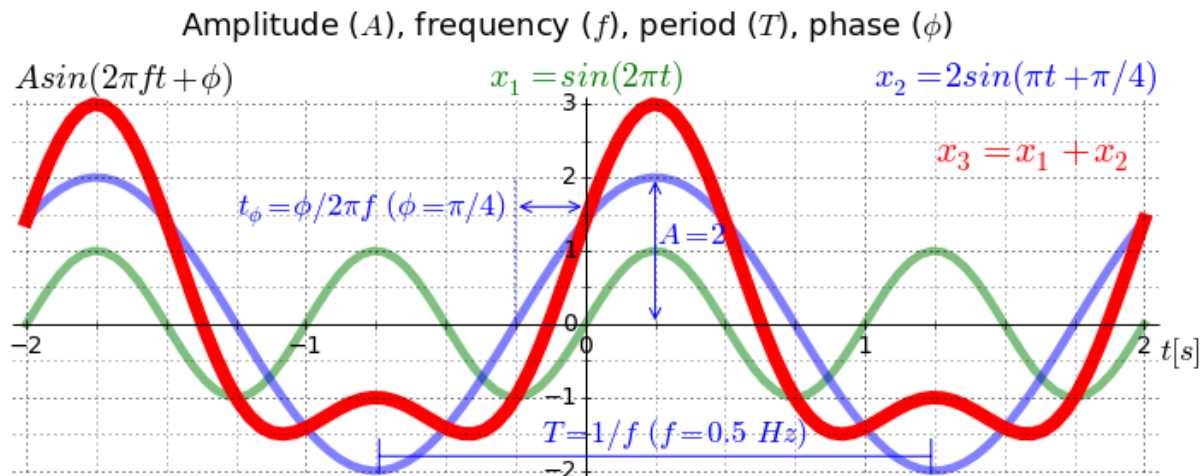
T : tempo

f : frequência

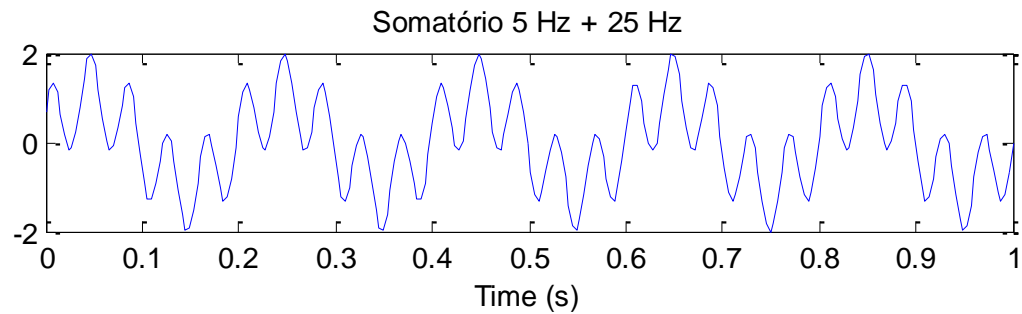
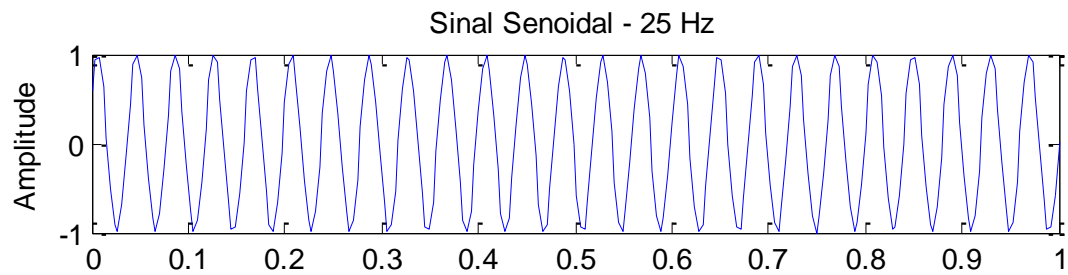
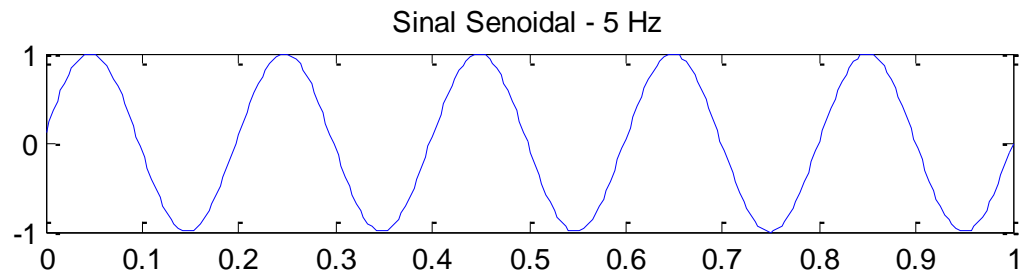
Amplitude (A), frequency (f), period (T), phase (ϕ)



Qual deve ser a forma da somatória das duas curvas?



Outro exemplo



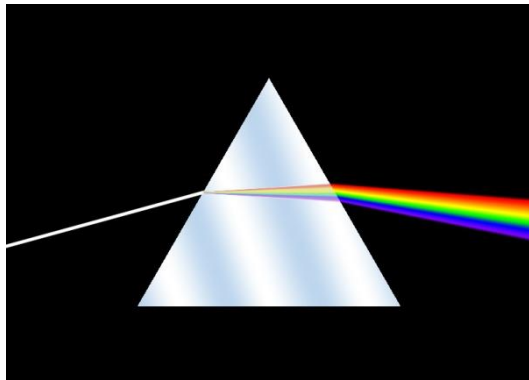
Análise de frequência

- Todos os sinais que medimos e analisamos tem um conteúdo de frequência característica

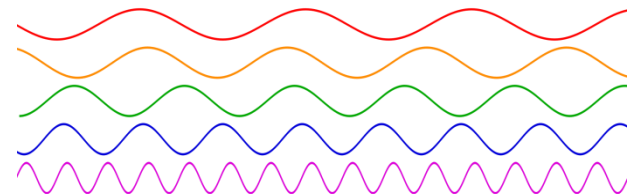
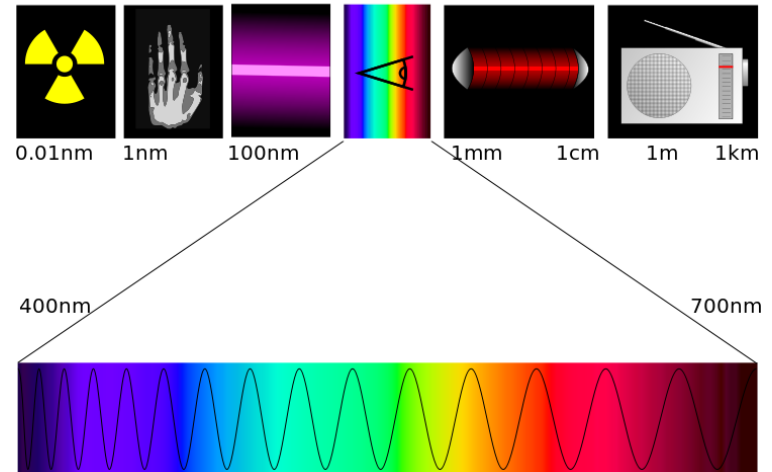
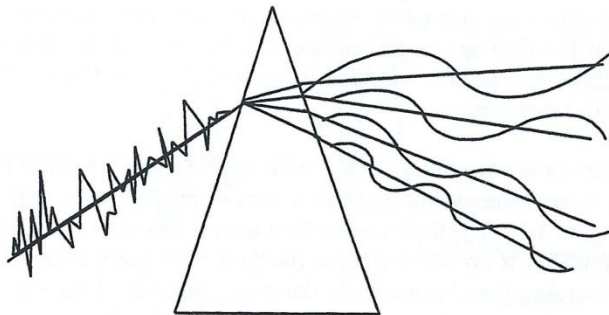
↓
Espectro do sinal

↓
Representação gráfica de todas as frequências do sinal, do mais baixo ao mais alto

Prisma como uma analogia para a análise de frequência

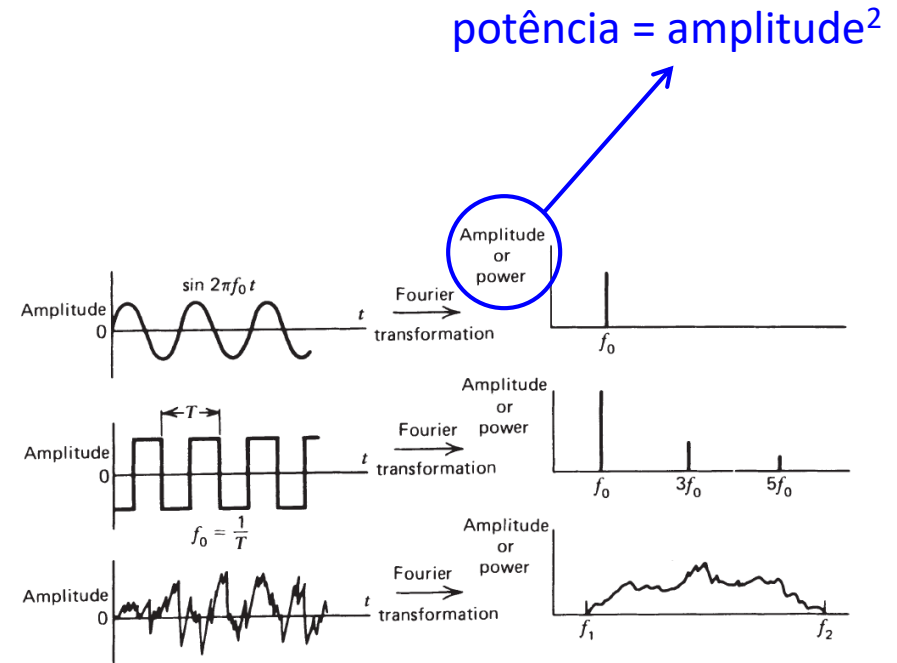


- ✓ *Prismas dispersivos são usados para separar a luz em suas cores de espectro.*
- ✓ *A luz branca entrando no prisma é uma mistura de diferentes frequências*



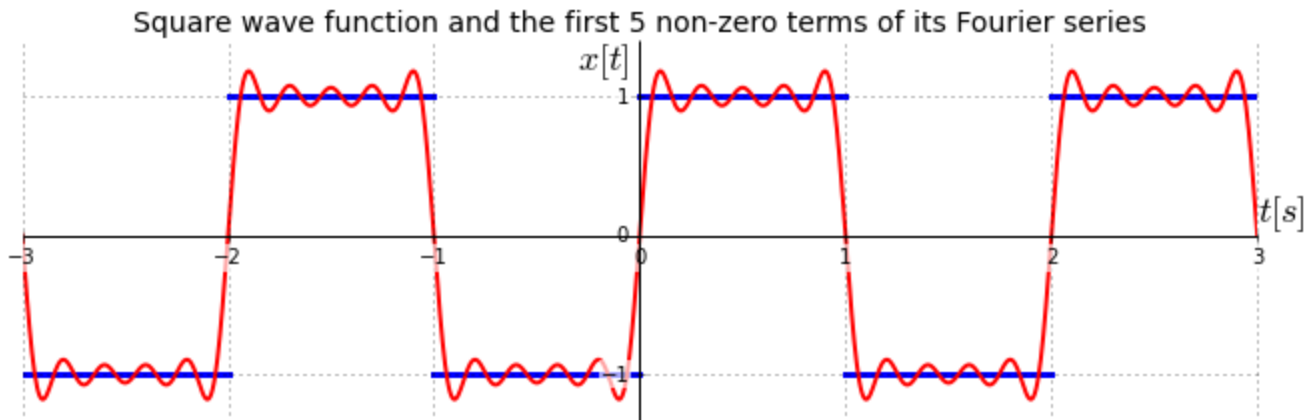
Conteúdo de Frequência

- Qualquer sinal pode ser discutido em termos de seu conteúdo de frequência
 - Uma forma de onda senoidal tem uma única frequência
 - Qualquer outra forma de onda pode ser a soma de ondas seno e cosseno
 - A PSD (Power Spectral Density) é a medida do conteúdo de potência do sinal versus a frequência.



Onda quadrada

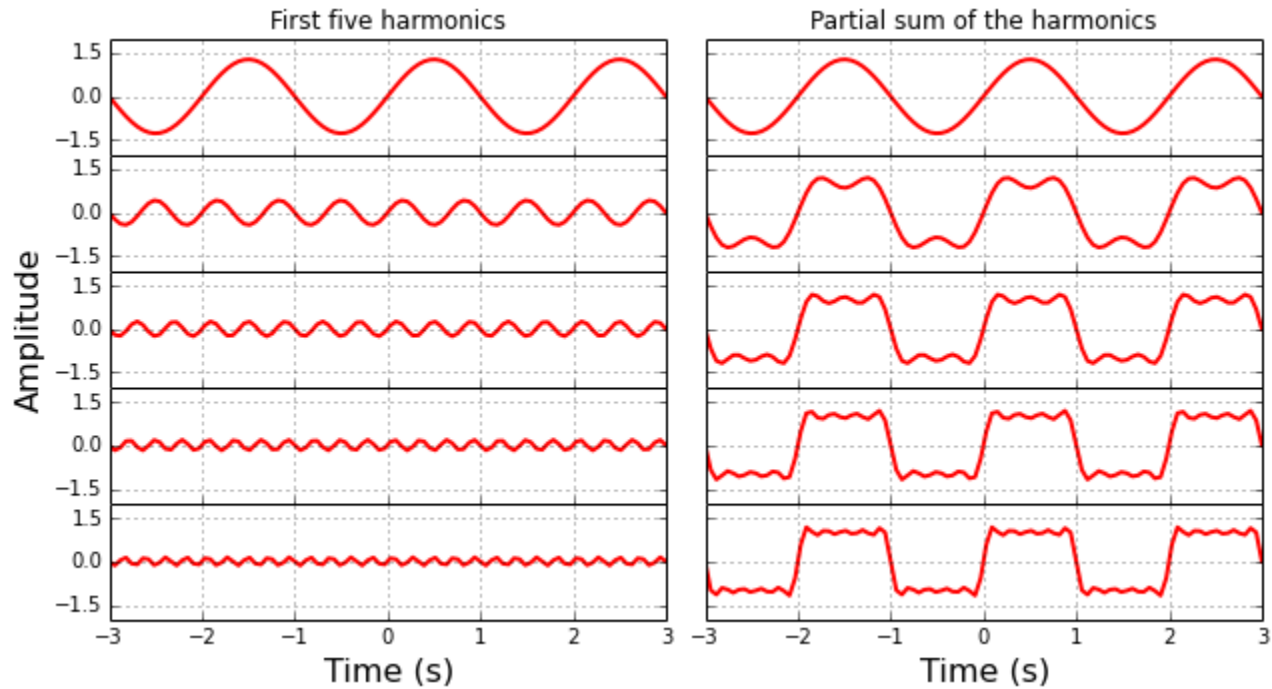
Caracterizada pela alternância entre um estado de amplitude máxima e outro estado de amplitude mínima, sendo que cada um destes estados tem duração igual.



Onda quadrada



Harmônicas de uma onda quadrada



Método de Welch

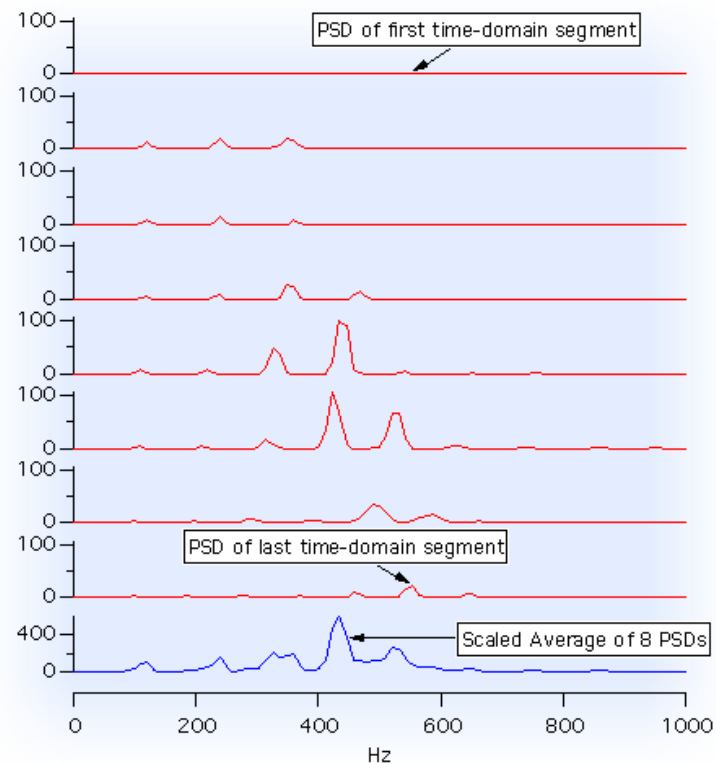
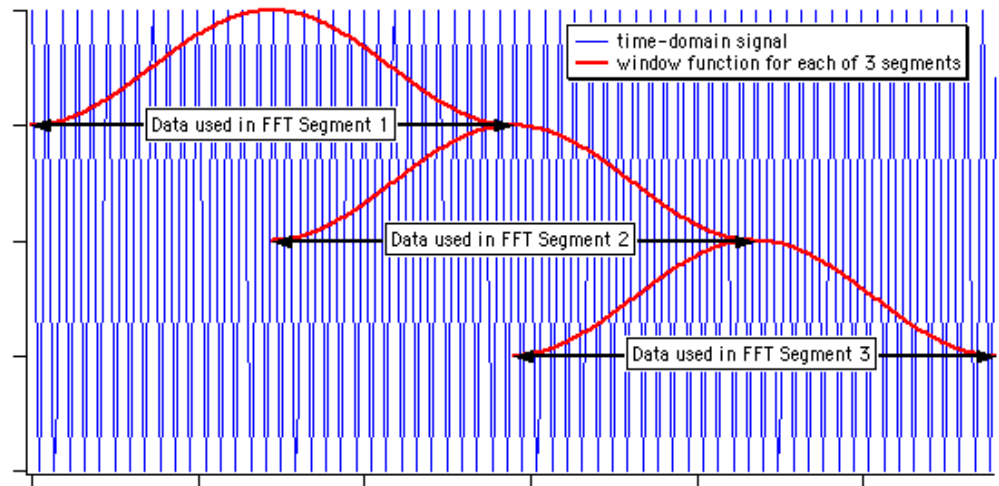
Método de Welch

Janelando o sinal

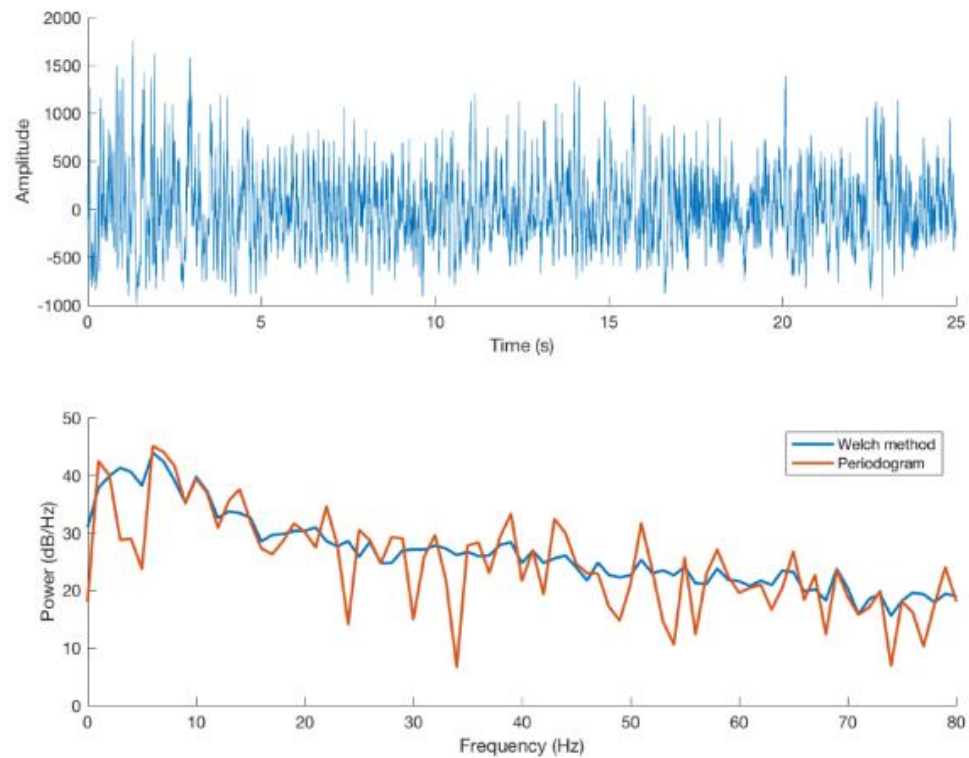
Janelamento elimina a contribuição do sinal próximo do fim do segmento.
A solução é sobrepor os segmentos.

Exemplo do cálculo da média de 8 janelas de dados.

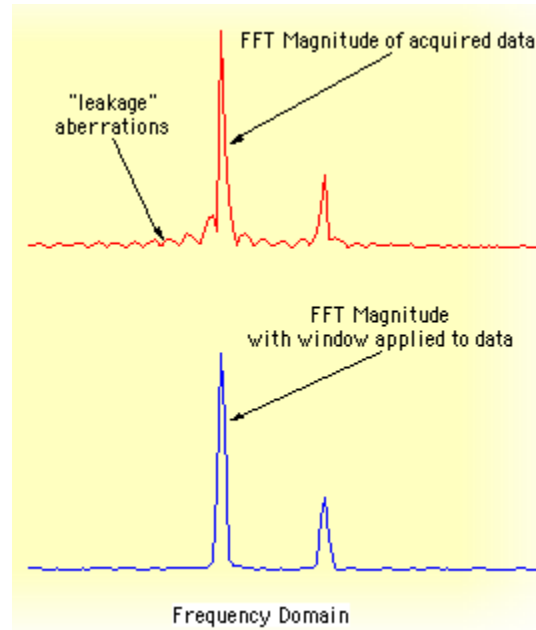
A média dos segmentos de sinais atribui com mais precisão a potência às frequências, ao reduzir as flutuações induzidas por ruído nas amplitudes de potência.



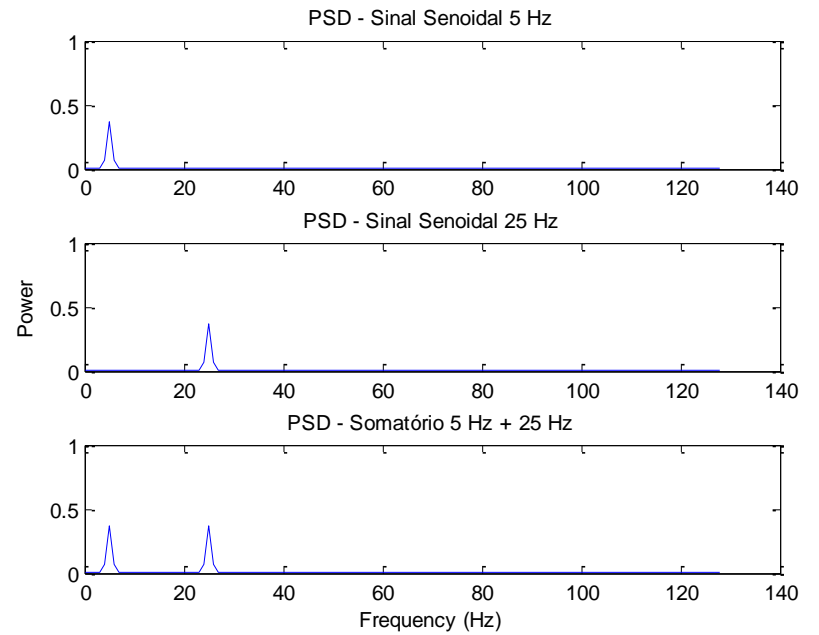
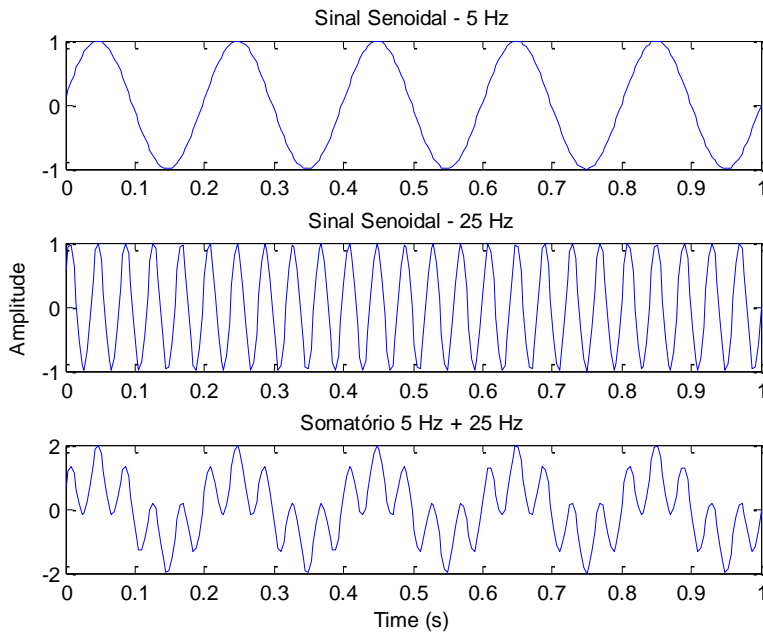
Método de Welch vs. método sem janelamento



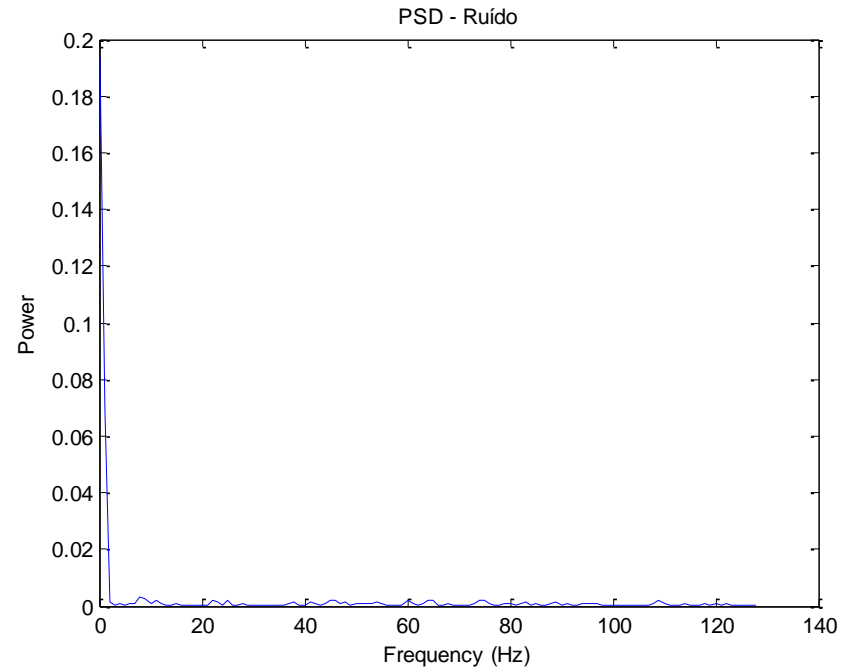
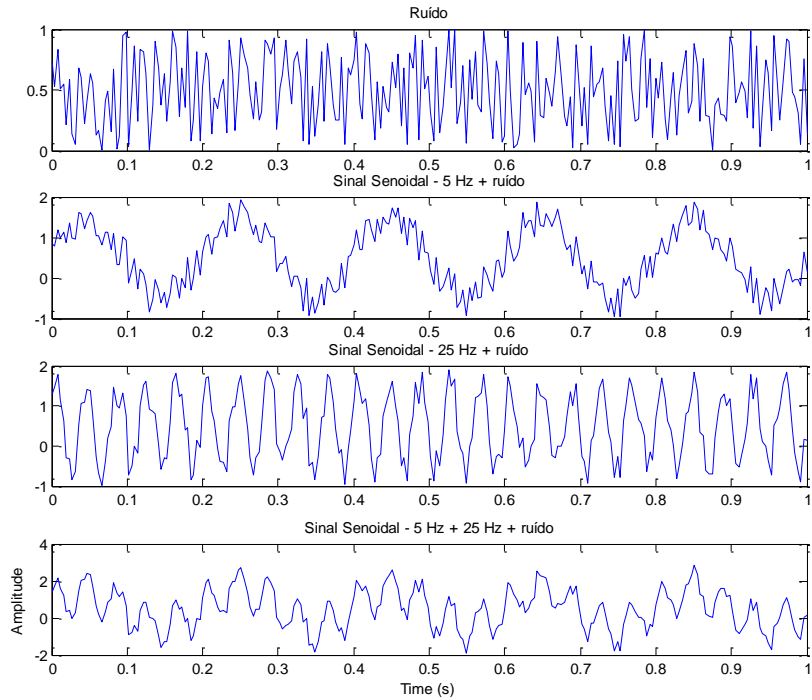
Método de Welch vs. método sem janelamento



Exemplo

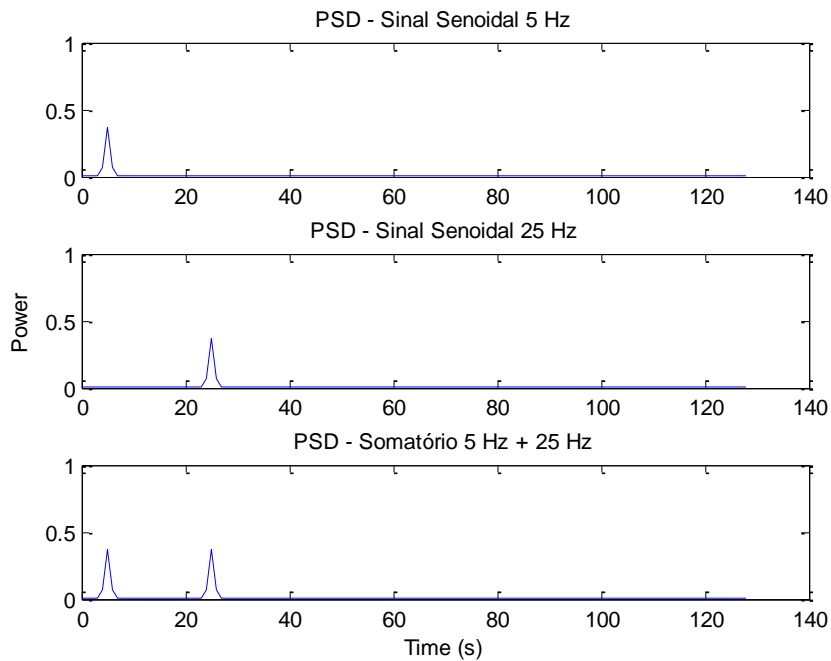


Análise Espectral

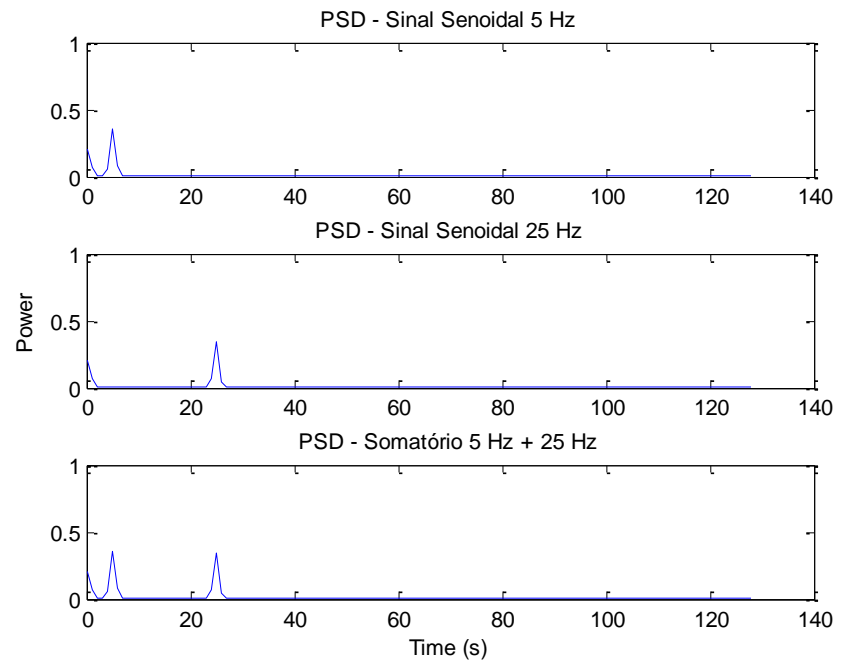


Análise Espectral

Sem ruído

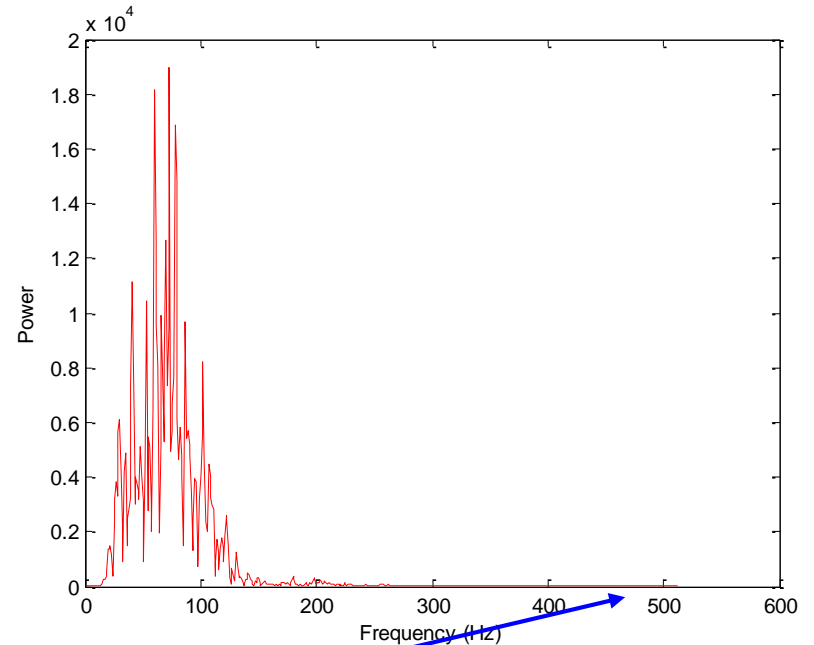
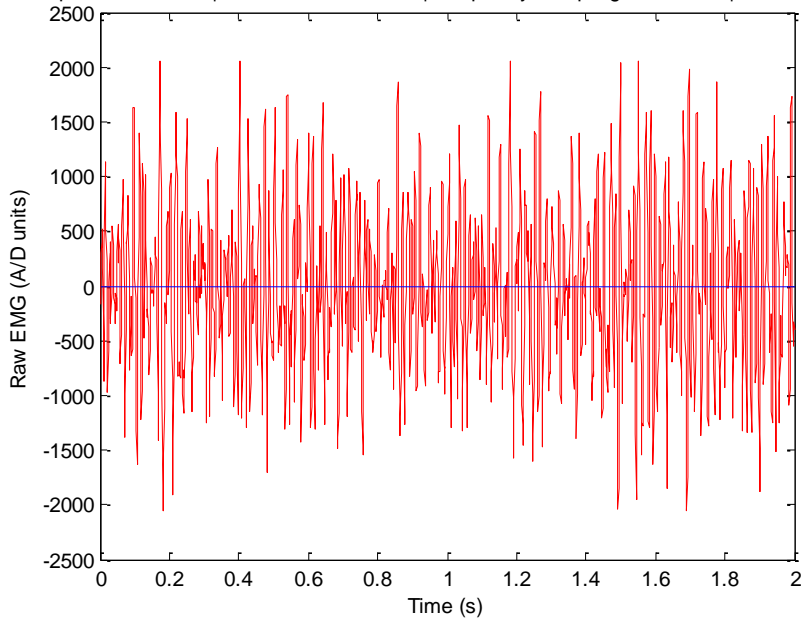


Com ruído



PSD de um sinal EMG

Biceps Brachii EMG | Isometric contraction | Frequency sampling = 1024 Hz | Duration = 2 s



A frequência mais alta do PSD
corresponde a metade da frequência de
amostragem do sinal

$$\frac{1024}{2} = 512 \text{ Hz}$$

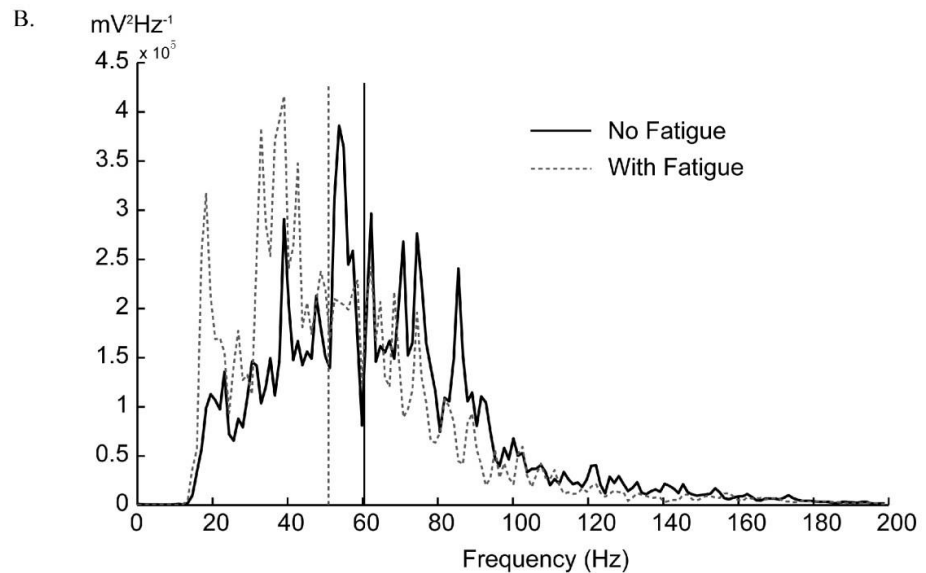
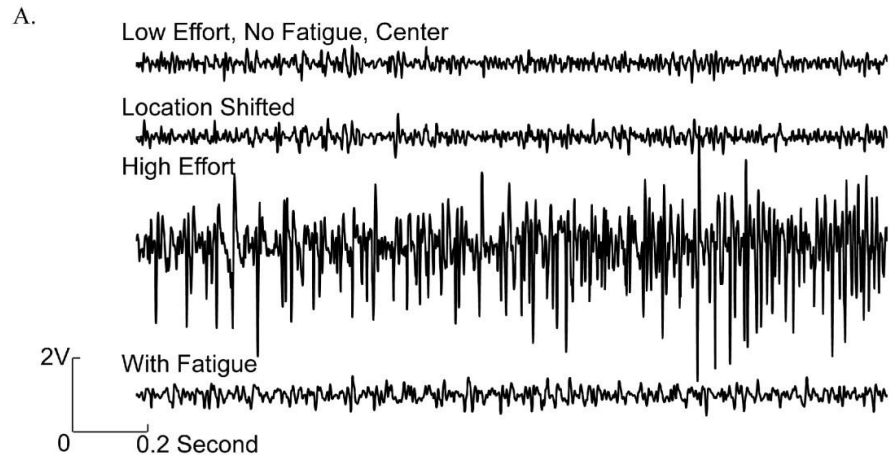
Análise de Frequência para detecção de fadiga muscular

Na presença de fadiga, o espectro de potência da atividade EMG muda em direção as frequências mais baixas.

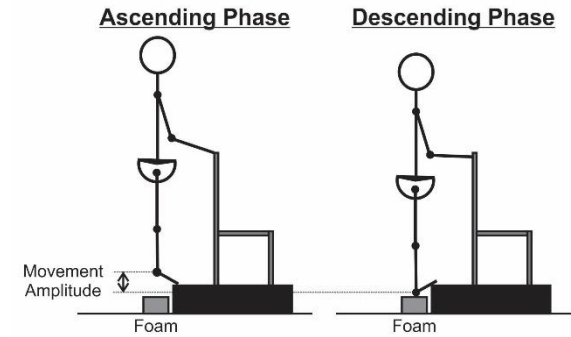
Frequência mediana

Sem fadiga: 60.4 Hz

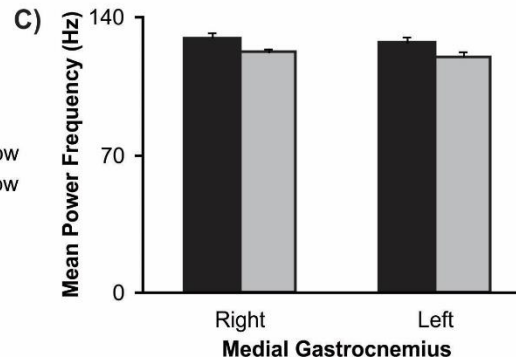
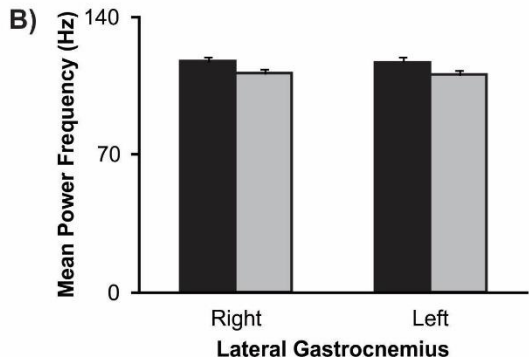
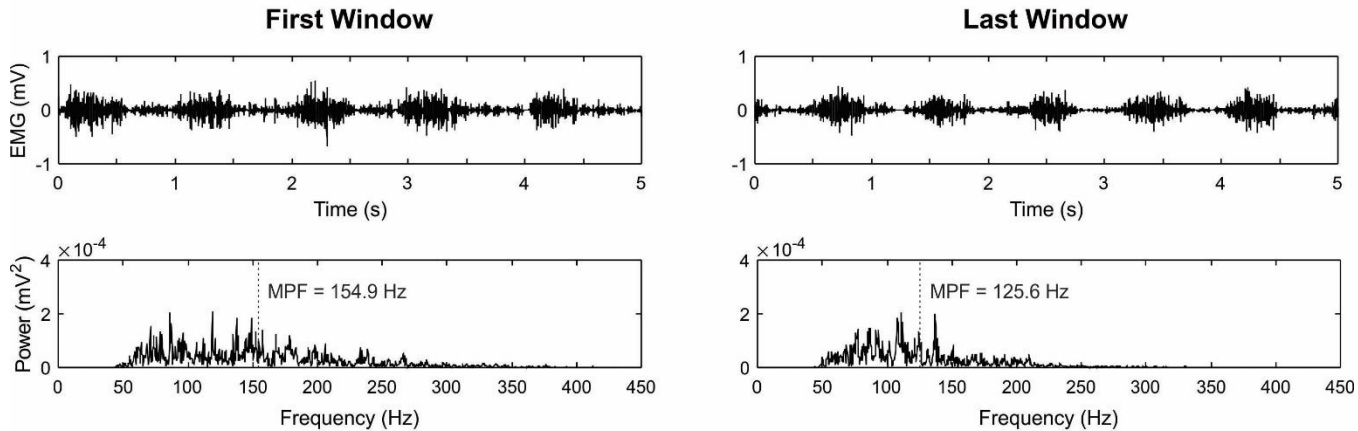
Com fadiga: 50.8 Hz



Análise de Frequência para detecção de fadiga muscular



A) Right Lateral Gastrocnemius



Método de Welch

- $[p,f] = \text{pwelch}(sg, \text{window}, \text{noverlap}, \text{nfft}, F_s);$
- Argumentos de entrada
 - window
 - Divide sg em seções de comprimento igual ao valor atribuído
 - noverlap
 - Deve ser um número inteiro menor do que o valor atribuído a window
 - nfft
 - Especifica o número de pontos usados para calcular o PSD
 - Igual ao valor atribuído a window
 - F_s
 - Frequência de amostragem do sinal (Hz)

Método de Welch

- $[p,f] = \text{pwelch}(sg, \text{window}, \text{noverlap}, \text{nfft}, F_s);$
- Argumentos de saída
 - p
 - Densidade espectral ou *power spectral density* (PSD)
 - f
 - Vetor com os valores de frequência

Método de Welch

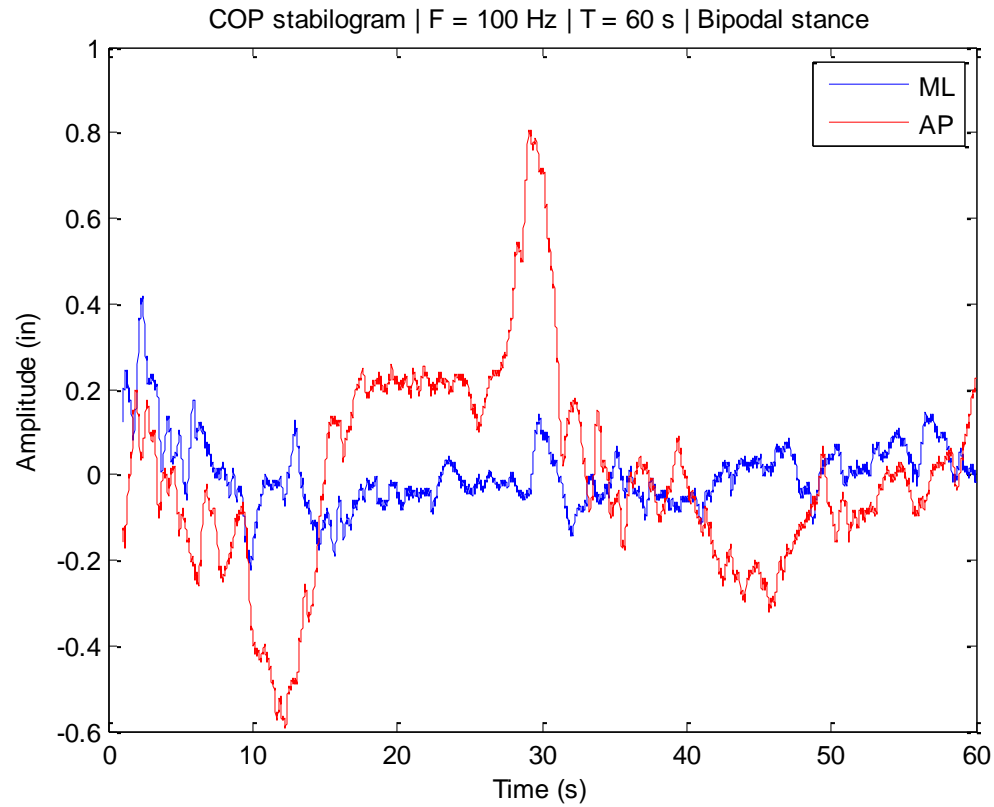
```
window = ceil(length(data)/2);
```

```
nfft = window;
```

```
noverlap = ceil(window/2);
```

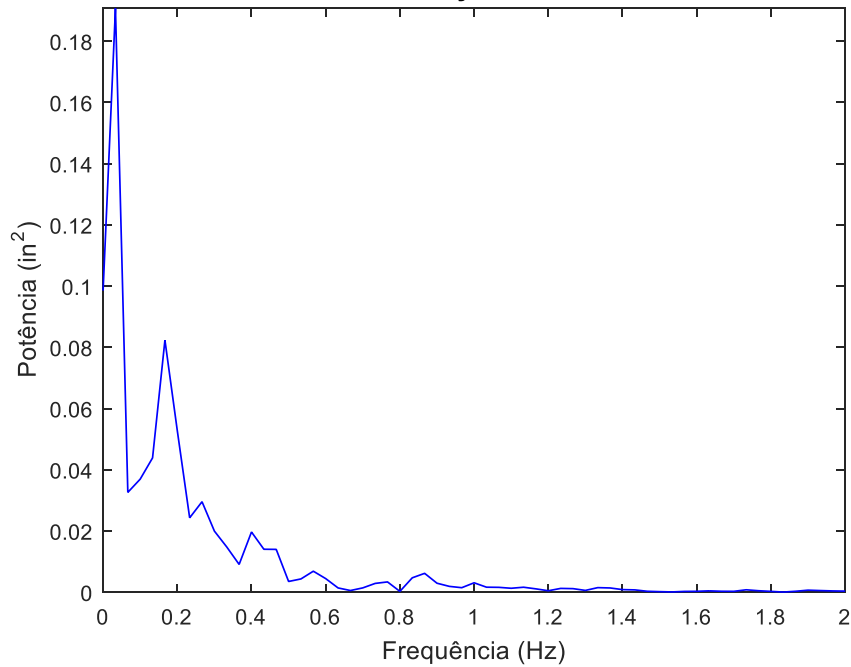
```
[p,f] = pwelch(data,window,noverlap,nfft,Fs);
```

Centro de Pressão

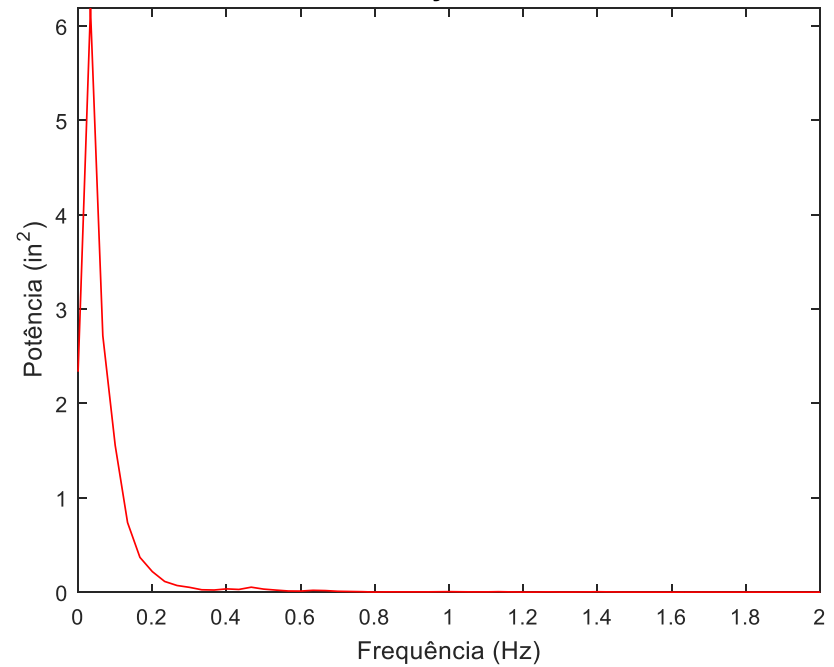


PSD do COP

Direção ML

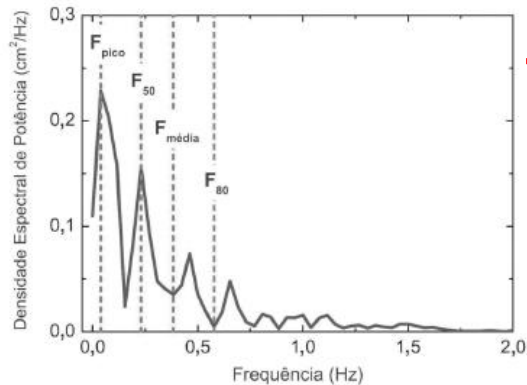


Direção AP



```
Fs = 100;  
window = ceil(length(data)/2);  
nfft = window;  
noverlap = ceil(window/2);  
[p,f] = pwelch(data,window,noverlap,nfft,Fs);
```

Análise Espectral - COP



```
nfft = round(length(CPap)/2);  
[p,f]=psd(CPap,nfft,freq,nfft,round(nfft/2),'mean');  
[m,peak] = max(p);  
area = cumtrapz(f,p);  
Find50 = find(area >= .50*area(end));  
Find80 = find(area >= .80*area(end));  
Fmedia = trapz(f,f.*p)/trapz(f,p);  
Fpico = f(peak);  
F50 = f(Find50(1));  
F80 = f(Find80(1));
```

Variáveis obtidas à partir do PSD

```
>> [m,peak] = max(p)
```

```
>> Fpeak = f(peak); % frequência pico
```

```
>> area = cumtrapz(f,p)
```

```
>> Find50 = find(area>=.50*area(end))
```

```
>> F50 = f(Find50(1)) % frequência mediana
```