



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



Frequência

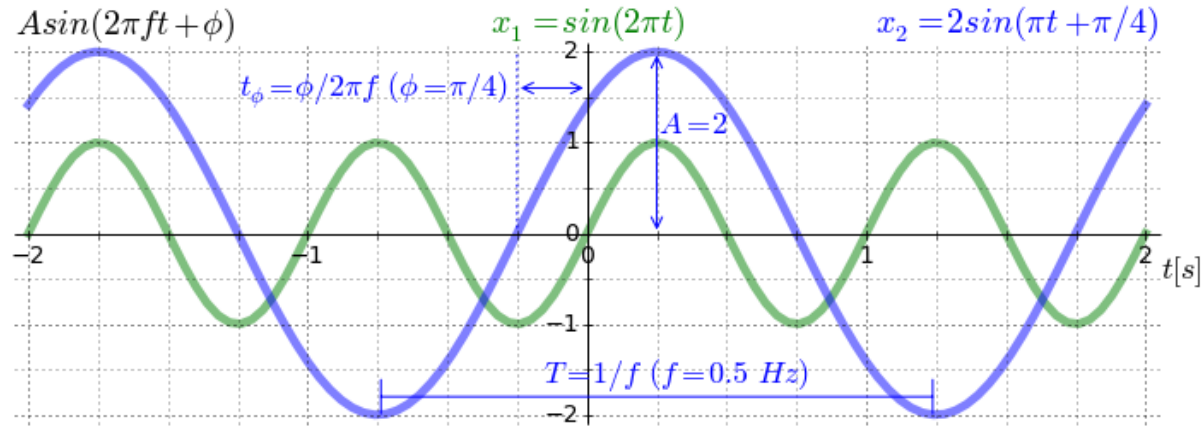
- Representa quão rapidamente o sinal oscila.
- Usualmente medido em ciclos por segundo ou hertz (Hz).
- $1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo por segundo}$

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

$$f = 1/T$$

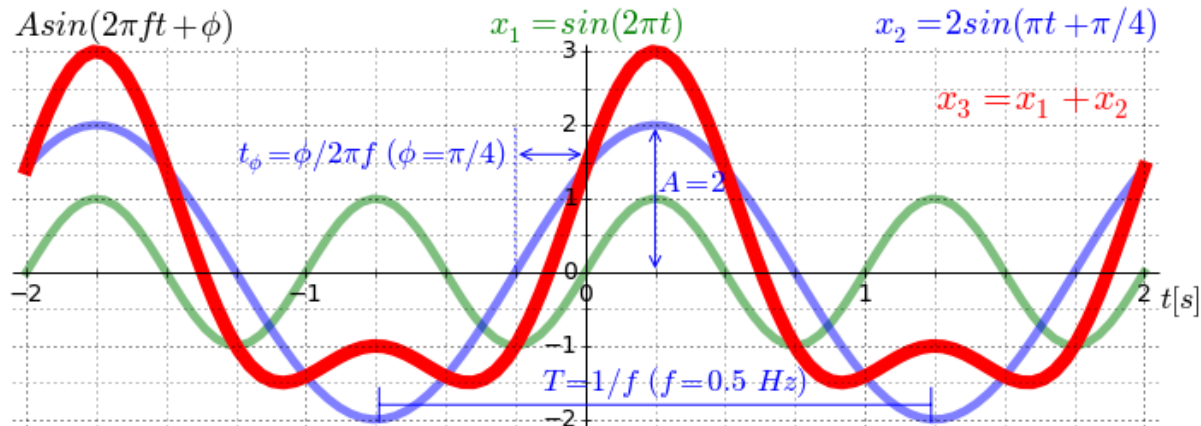
$$f_1 = 1 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 0.5 \text{ Hz}$$

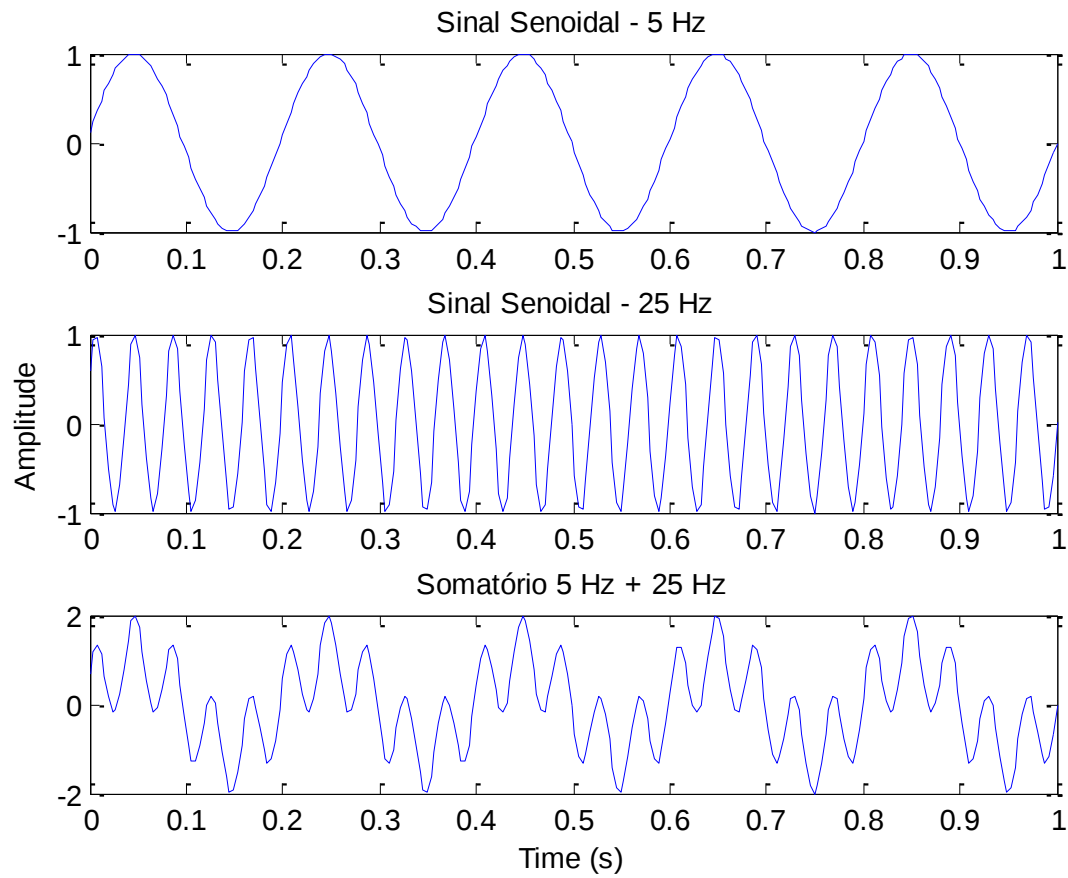


Qual deve ser a forma da somatória das duas curvas?

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



Outro exemplo

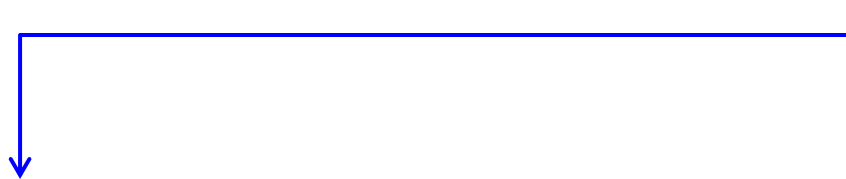


Análise de frequência

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

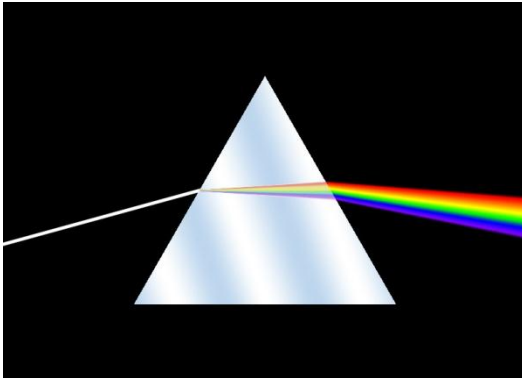


Espectro do sinal

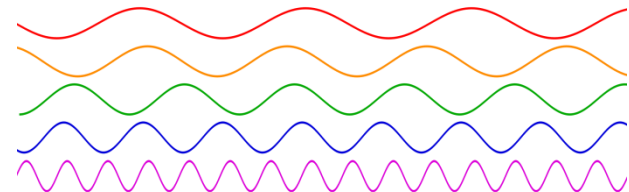
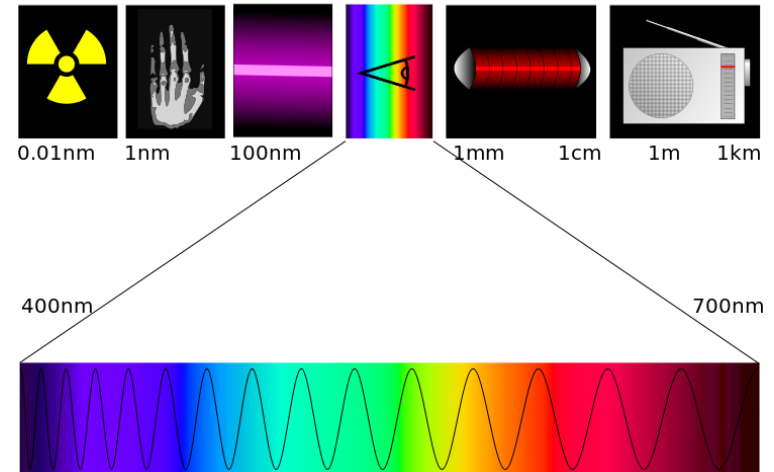
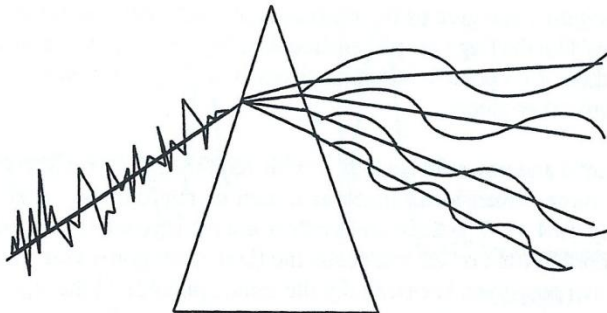


Representação gráfica de todas as frequências do sinal, do mais baixo ao mais alto

Prisma como uma analogia para a análise de frequência

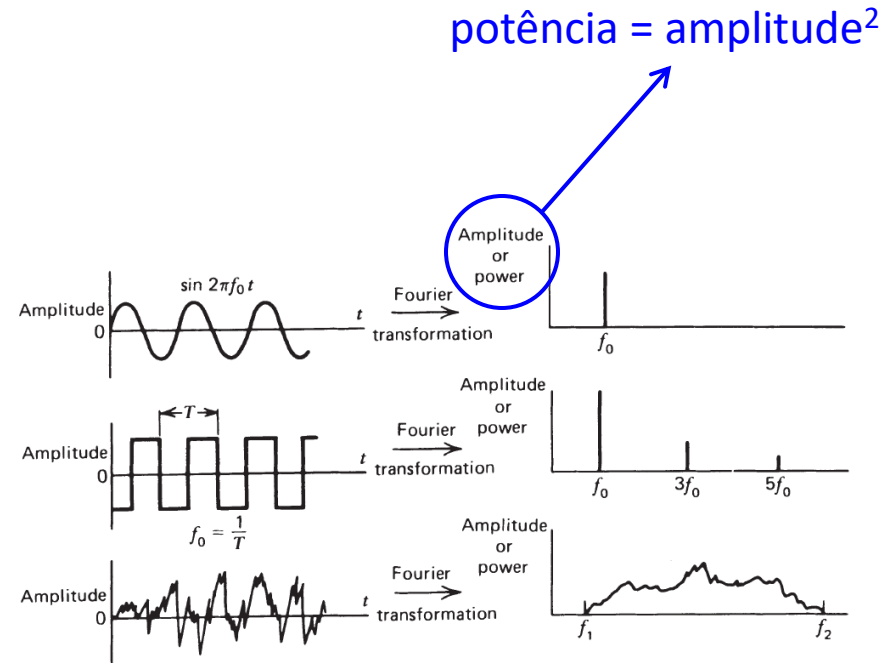


- ✓ *Prismas dispersivos são usados para separar a luz em suas cores de espectro.*
- ✓ *A luz branca entrando no prisma é uma mistura de diferentes frequências*



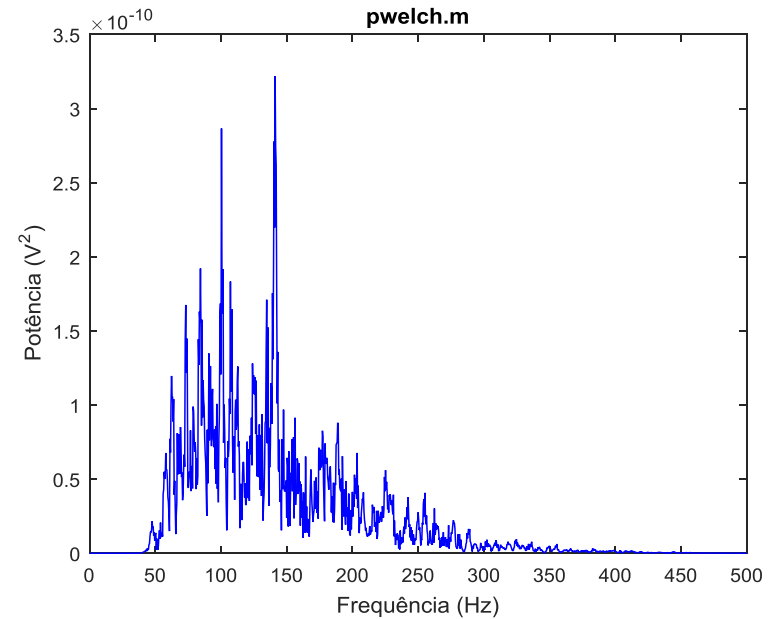
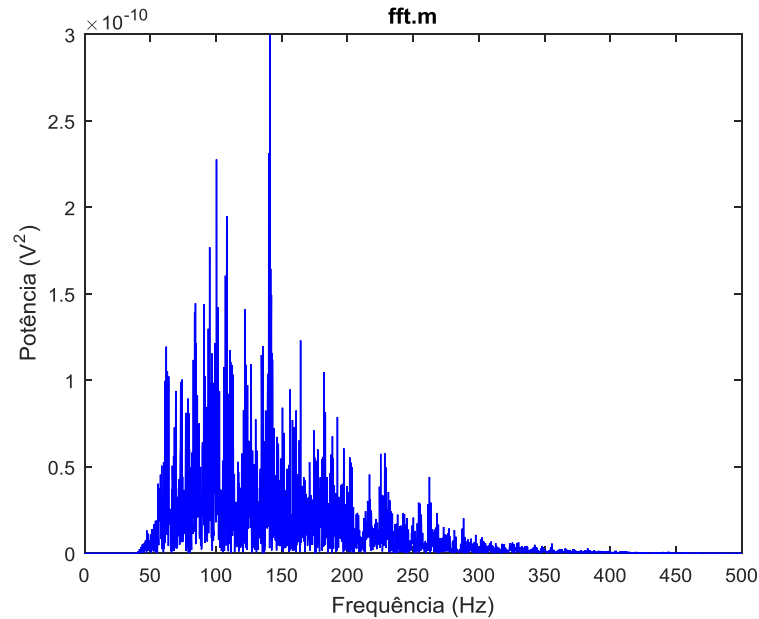
Conteúdo de Frequência

- 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



Método de Periodograma de Welch

Power Spectrum Density - PSD



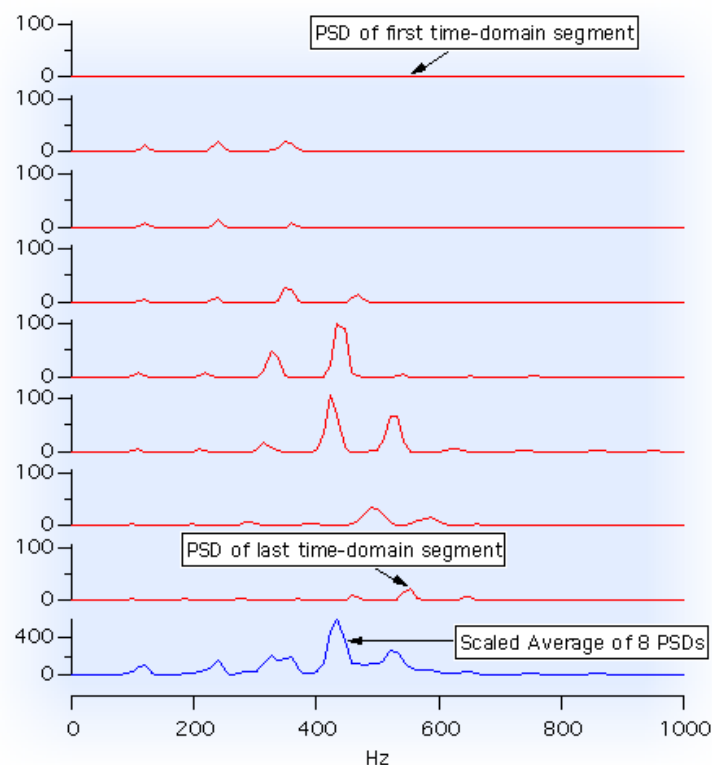
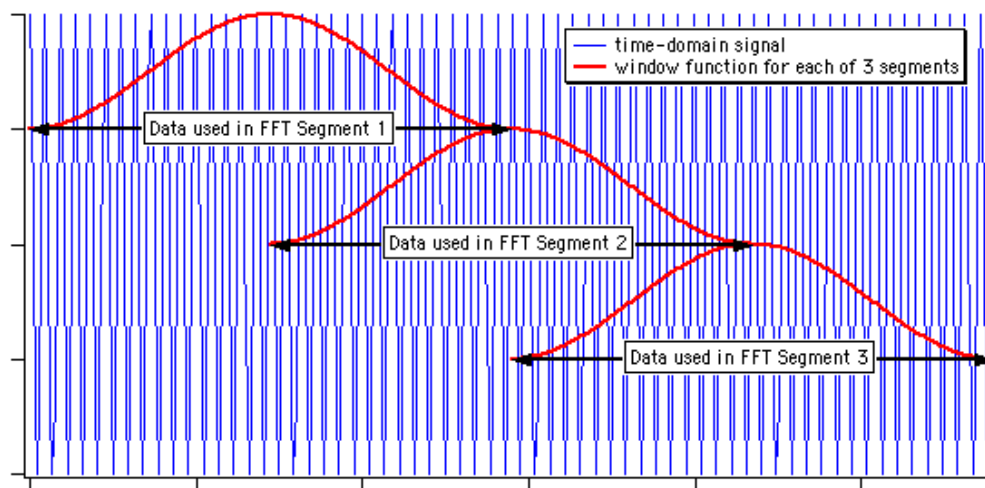
Método de Periodograma de Welch

Janelando o sinal

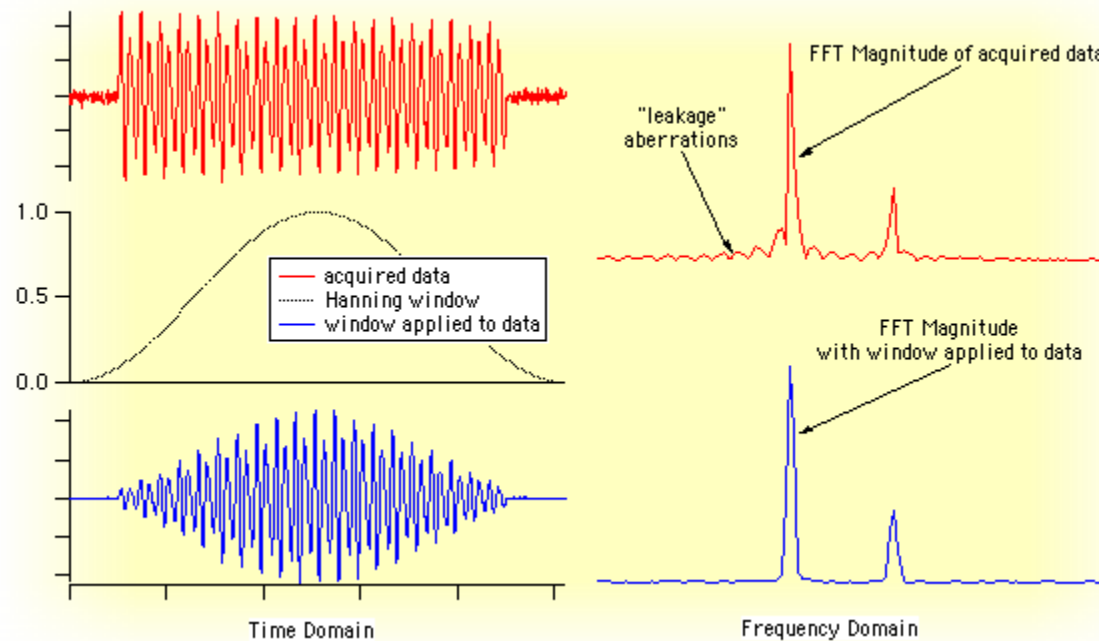
Janelamento elimina a contribuição do sinal próximo do fim do segmento.

A solução é sobrepor os segmentos.

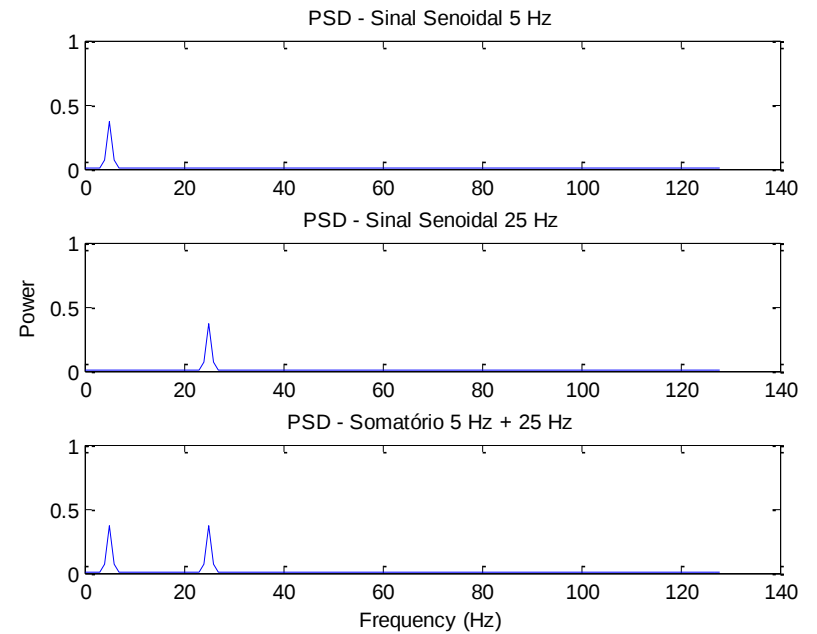
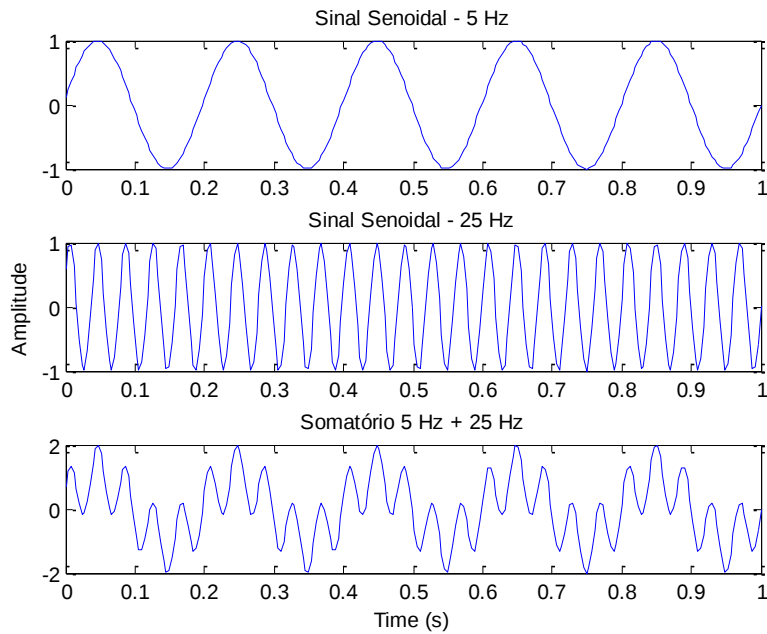
Exemplo do cálculo da média de 8 periodogramas dos segmentos (window) de dados janelados:



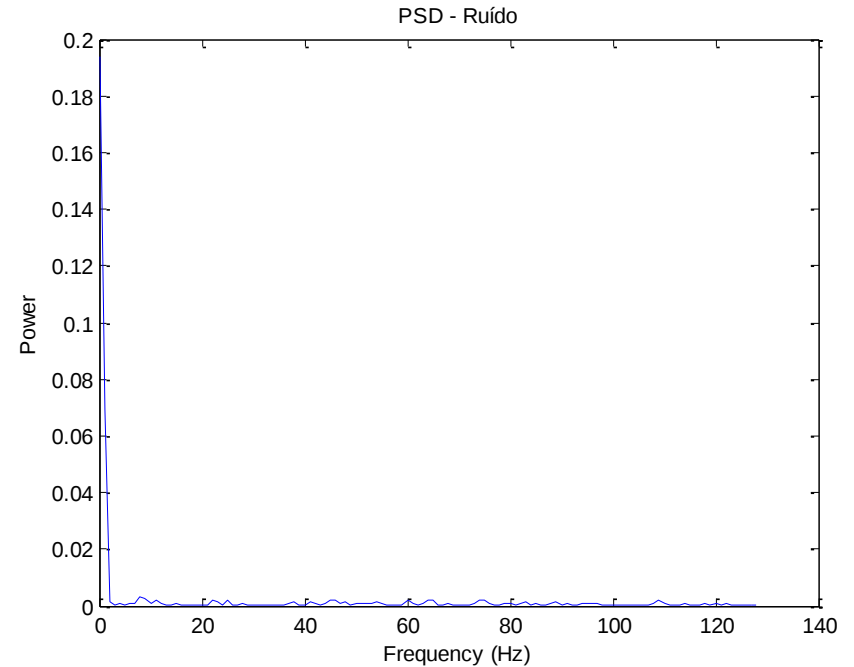
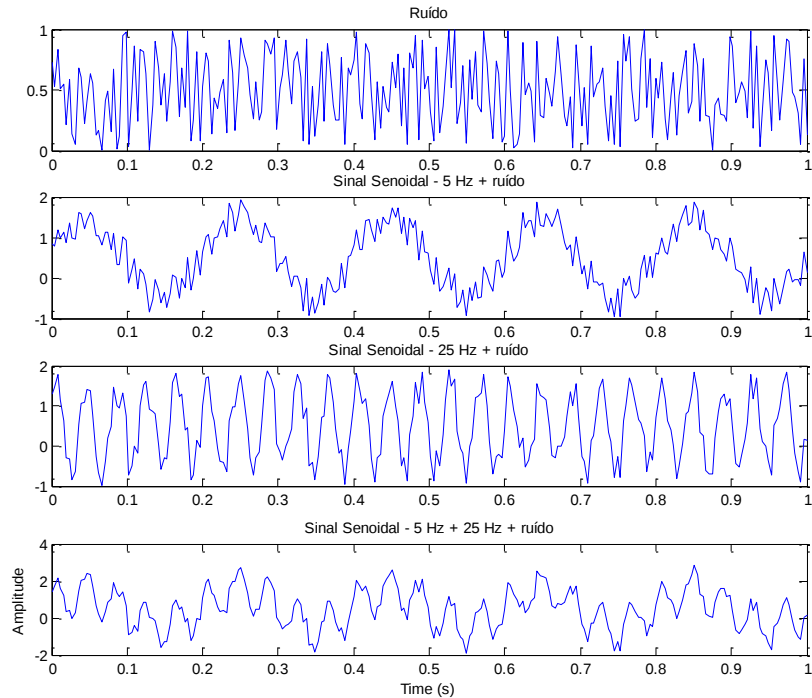
Janelamento



Exemplo

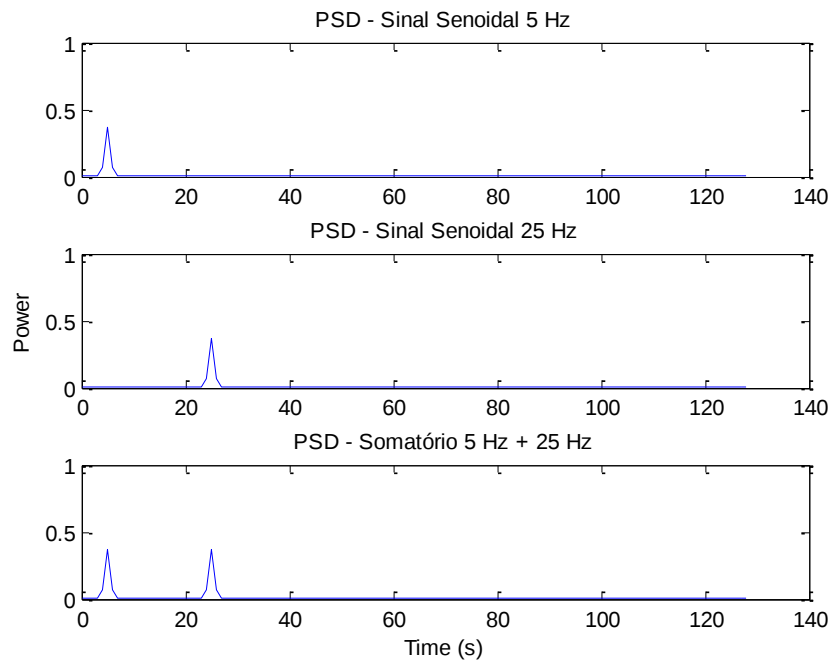


Análise Espectral

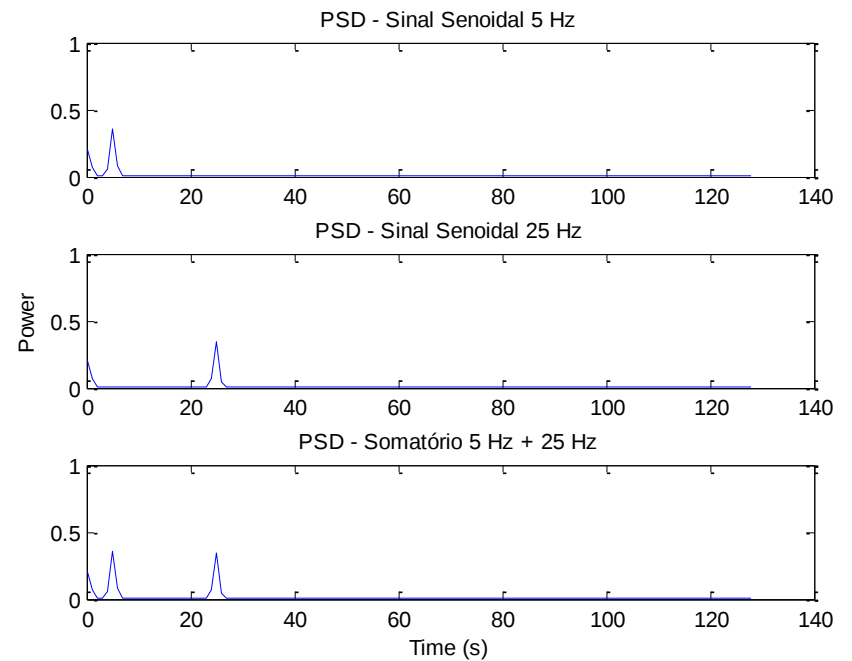


Análise Espectral

Sem ruído

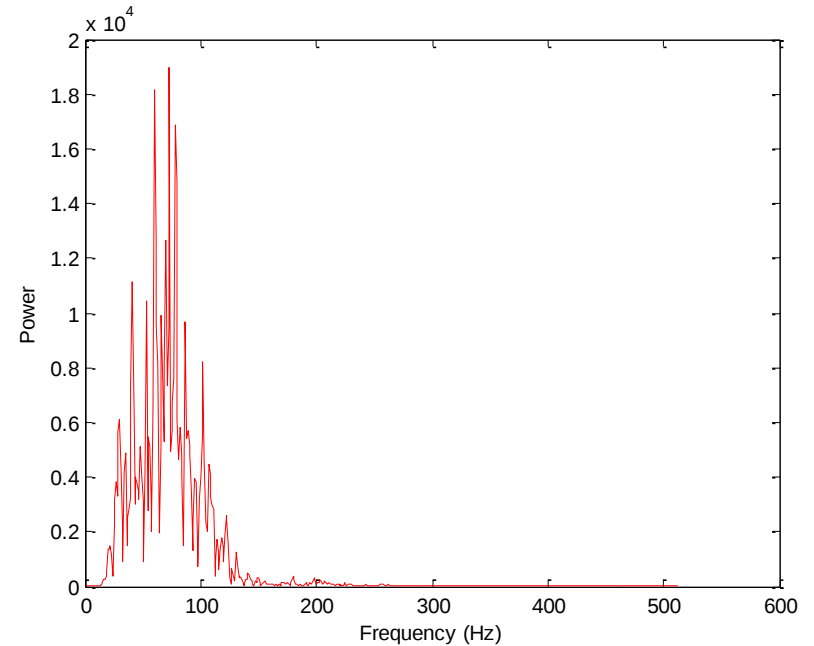
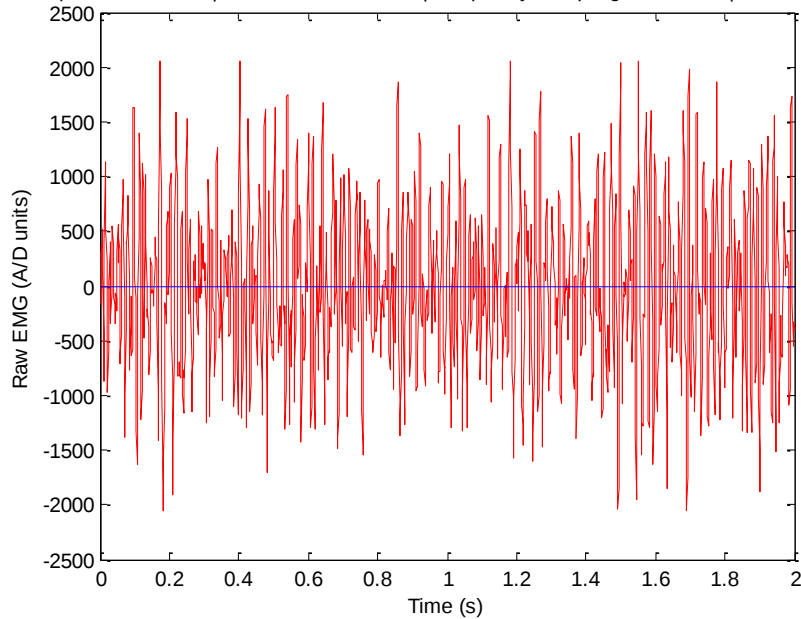


Com ruído



PSD de um sinal EMG

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



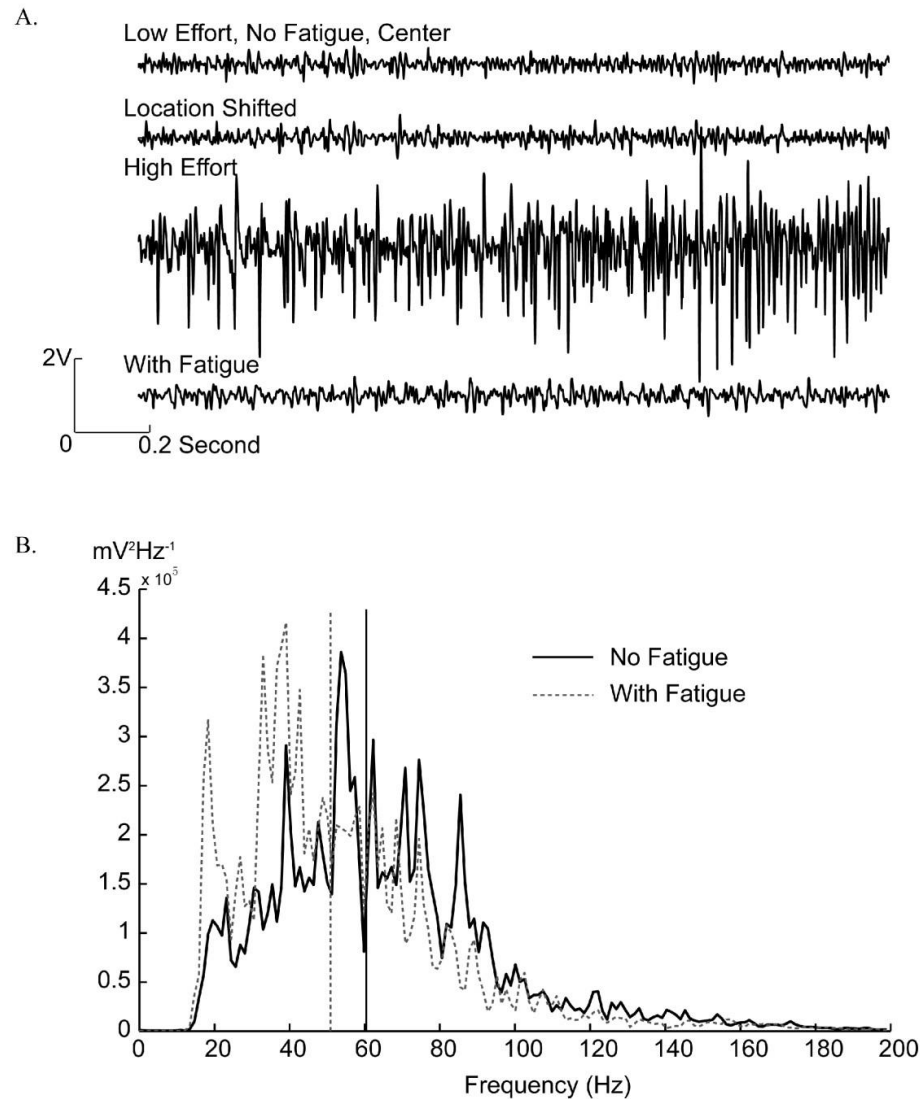
Análise de Frequência para detecção de fadiga muscular

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

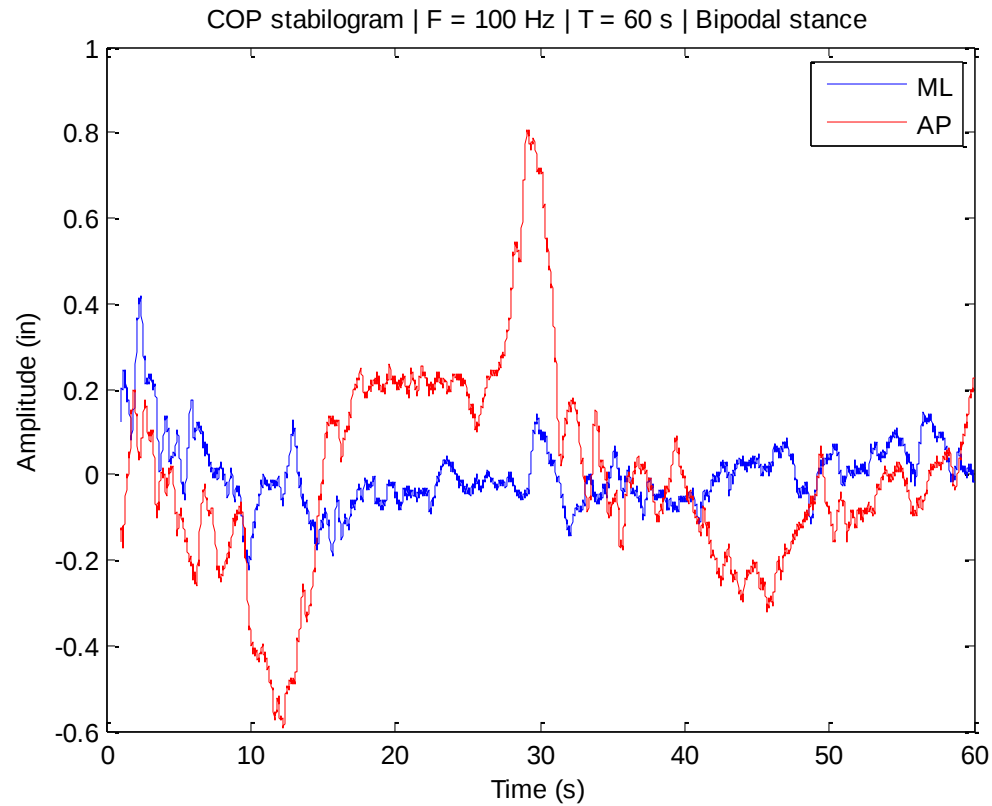
Frequência mediana

Sem fadiga: 60.4 Hz

Com fadiga: 50.8 Hz



Centro de Pressão



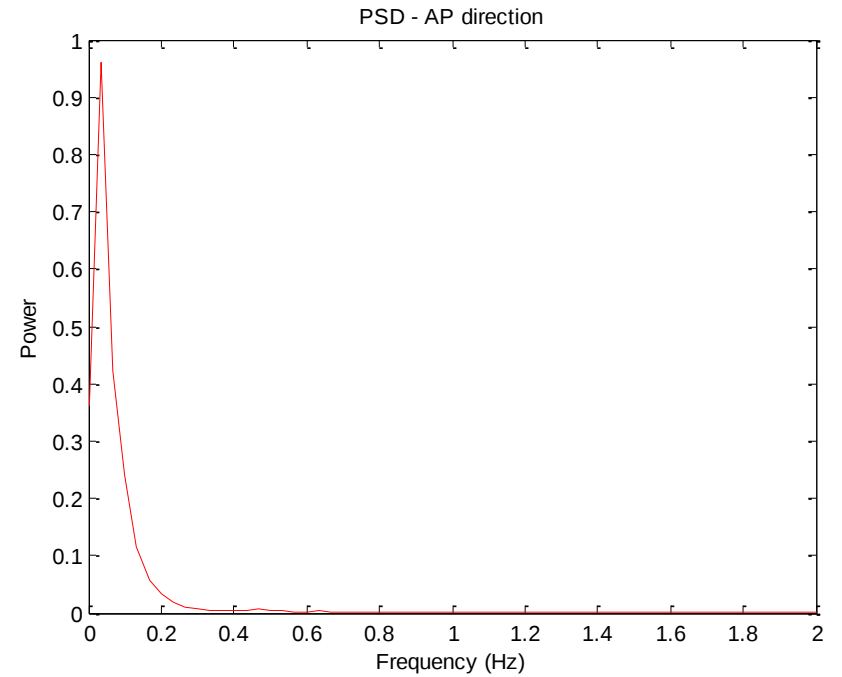
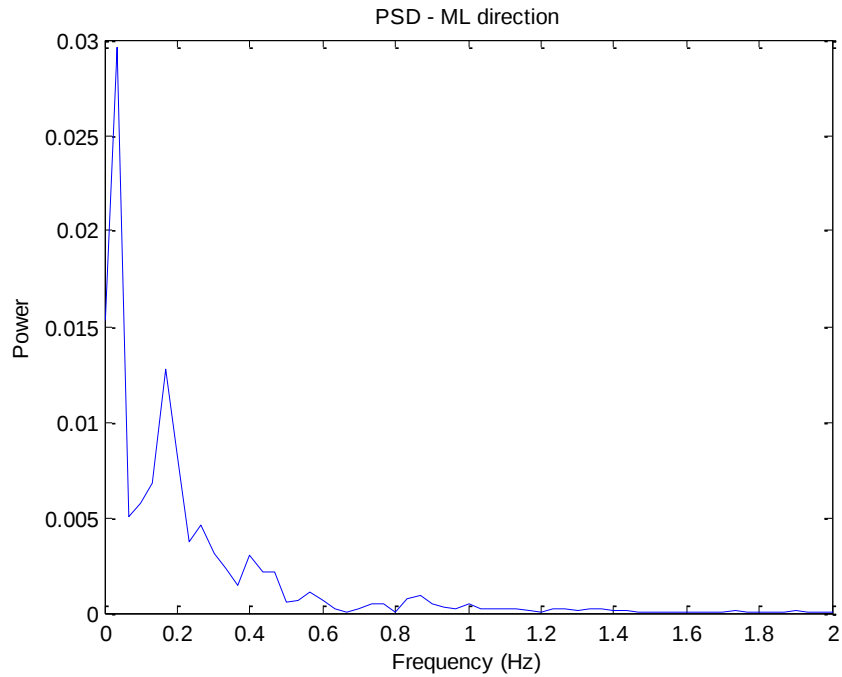
Método de Periodograma de Welch

- $[P_{xx}, F] = \text{pwelch}(sg, \text{window}, \text{noverlap}, \text{nfft}, F_s);$
- Argumentos de entrada
 - window
 - Divide sg em seções de comprimento igual ao valor atribuído
 - Segmentos mais longos melhoram a resolução das frequências
 - noverlap
 - Deve ser um número inteiro menor do que o valor atribuído a window
 - 50%
 - 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)

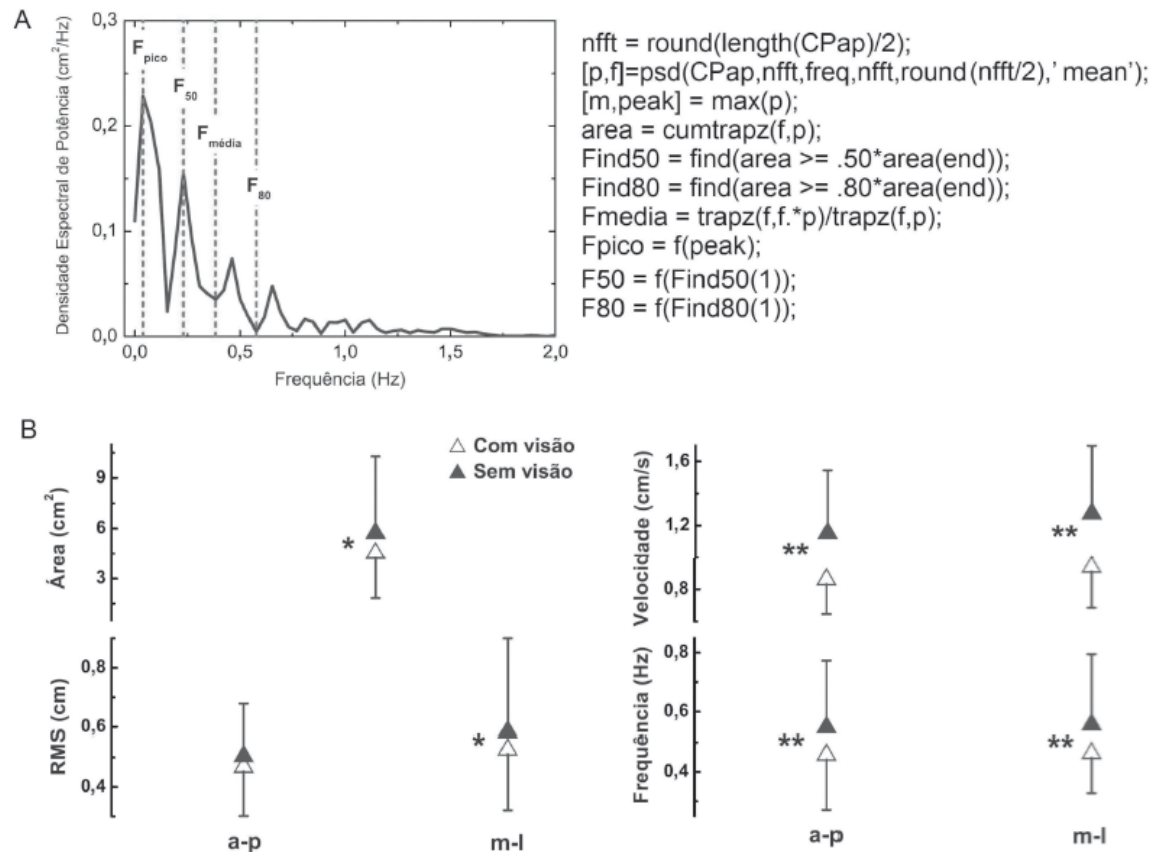
Método de Periodograma de Welch

- $[P,F] = \text{pwelch}(\text{sg}, \text{window}, \text{noverlap}, \text{nfft}, \text{Fs});$
- Argumentos de saída
 - P
 - Potência
 - F
 - Frequência

PSD do COP



Análise Espectral - COP



* $p < 0,05$; ** $p < 0,005$; $N = 60$. Adaptado de Freitas et al.²⁹

Figura 3. Em A, espectro com as frequências pico (F_{pico}), média ($F_{\text{média}}$), em 50% (F_{50}) e em 80% (F_{80}) da potência do espectro e, em B, média e desvio-padrão para as variáveis área, RMS, velocidade e frequência (banda de frequência com 80% da potência espectral) da oscilação do CP nas direções ântero-posterior (ap) e médio-lateral (ml) com e sem visão.

Implementando a análise de frequência

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

```
nfft = window;
```

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

```
[P,F] = pwelch(data,window,noverlap,nfft,Fs);
```

Default

NFFT = WINDOW = $\frac{1}{2}$ data length, NOVERLAP = 50%