



*Lato Sensus*

ENGENHARIA CLÍNICA

# ***Especialização em Engenharia Clínica***

## ***Instrumentação e Processamento de Sinais Biológicos***

**Docente:**

**> Marcelino M. de Andrade, Dr.**





*Lato Sensus*

ENGENHARIA CLÍNICA

## Descrição do Curso

---

---

**CURSO:** ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA CLÍNICA

**DISCIPLINA:** Processamento de sinais Biomédicos

**SEMESTRE/ANO**

**2º / 2018**

**PROFESSORES:** Prof. Marcelino M. de Andrade, Dr.

---

## PLANO DE AULA

---

### 1. OBJETIVOS DA DISCIPLINA

---

Estudar alguns dos sinais bioelétricos utilizados em equipamentos médico-hospitalares e em pesquisa biomédica, identificando tipos de sinais e abordagens computacionais utilizadas no processamento digital desses sinais bioelétricos.



*Lato Sensus*

ENGENHARIA CLÍNICA

---

## 2. EMENTA DO PROGRAMA

---

1. *Principais sinais bioelétricos;*
2. *Formação do sinal: ECG e EMG;*
3. *Teoria de processamento digital de sinais: transformadas, convolução, correlação, filtros digitais*
4. *Técnicas para redução de ruído em sinais biomédicos;*
5. *Processamento e análise de sinais de EMG;*
6. *Análise dos domínios do tempo e das frequências;*

---

## 3. HORÁRIO DE AULAS E ATENDIMENTO

---

- **Aulas teóricas:** Sexta-feira das 19:00 às 22:30 e Sábados das 8:00 às 12:00.
- **Avaliação:** Sábados das 13:00 às 17:00.
- **Observações:** O atendimento presencial ocorrerá com o agendamento prévio do aluno.



Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Apresentação do Curso: Bibliografia

---

### 7. BIBLIOGRAFIA

---

**BOYLESTAD, R.L.; NASHELSKY, L.;** Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. São Paulo: Prentice-Hall, 2004.

**TOMPKINS, W.J.;** Biomedical digital signal processing: C-language examples and laboratory experiments for the IBM PC . Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA, 1993.

**WEBSTER, J.;** Medical instrumentation: application and design. Boston: Houghton Milfflin Co, 2a ed. 1992. 800p.

**OPPENHEIM, A. V.;** SCHAFFER, R. W. Digital Signal Processing. Ohio: Prentice Hall, 2001.

**SPACELABS, INC.;** Biophysical Measurement Series: Advanced Electrocardiography, Redmond, WA: SpaceLabs, Inc., 1992.

**MALIK, M., CAMM, A.J.;** Heart Rate Variability, Armonk, NY: Futura Publishing Company Inc., 1995.

**CHALLIS R.E., KITNEY R.I.;** Biomedical signal processing (in four parts). Part 1. Time-domain methods. Med Biol Eng Comput. 1990 Nov;28(6):509-24.

**CHALLIS R.E., KITNEY R.I.;** Biomedical signal processing (in four parts). Part 2. The frequency transforms and their inter-relationships. Med Biol Eng Comput. 1991 Jan;29(1):1-17.

**CHALLIS R.E., KITNEY R.I.;** Biomedical signal processing (in four parts). Part 3. The power spectrum and coherence function. Med Biol Eng Comput. 1991 May;29(3):225-41.



Lato Senu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Projeto I: Mão Biônica

G1 Na TV Trânsito Aeroportos VC no G1

02/04/2014 06h00 - Atualizado em 02/04/2014 06h00

### Com R\$ 250 e impressora 3D, alunos da UnB criam mão biônica reciclável

Produção leva seis horas; item pode chegar ao mercado ainda neste ano. Em caso de quebra, mão pode ser derretida para confecção de uma nova.

Raquel Moraes  
Do G1 DF

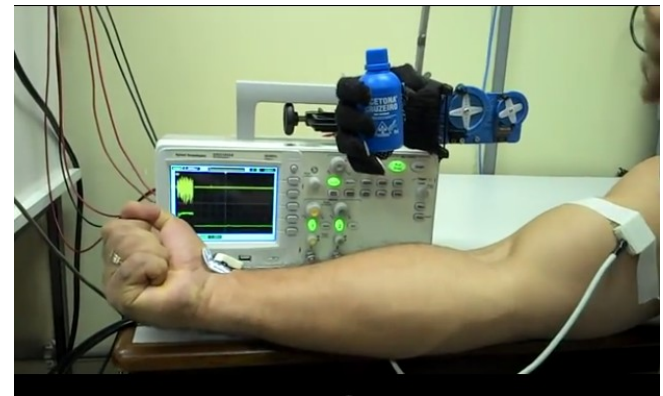
85 comentários

Tweetar 106

Recomendar 1 mil



Alunos do mestrado em engenharia biomédica da UnB que criaram mão biônica usando impressora 3D (Foto: Mariana Costa/UnB Agência)



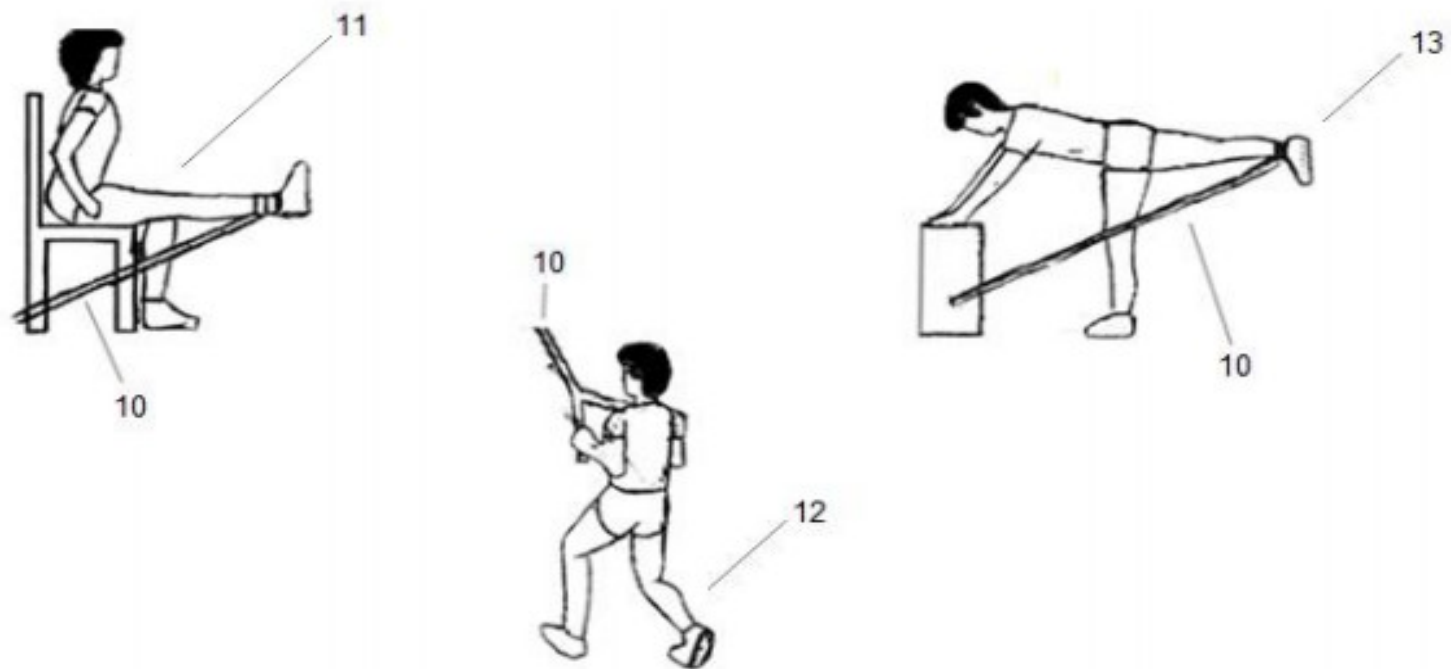




Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Projeto II: Biodyn



SISTEMA DE *BIOFEEDBACK* PARA A PRÁTICA DE EXERCÍCIOS  
RESISTIDOS COM SOBRECARGA ELÁSTICA



Lato Sensus

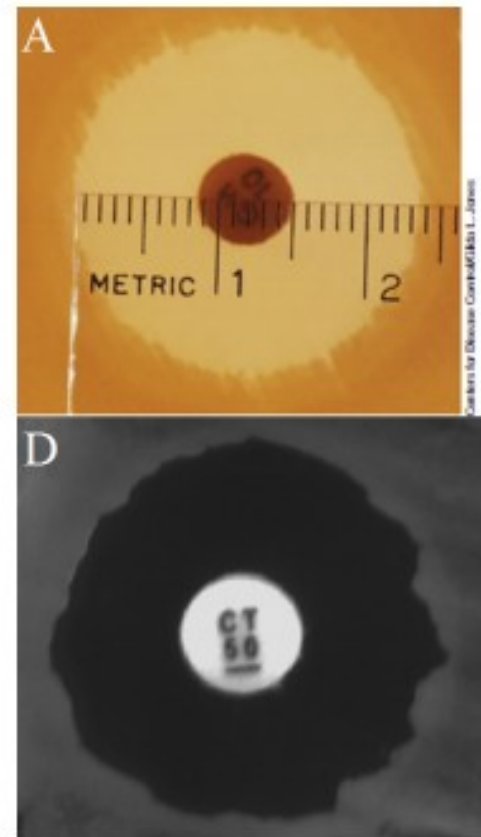
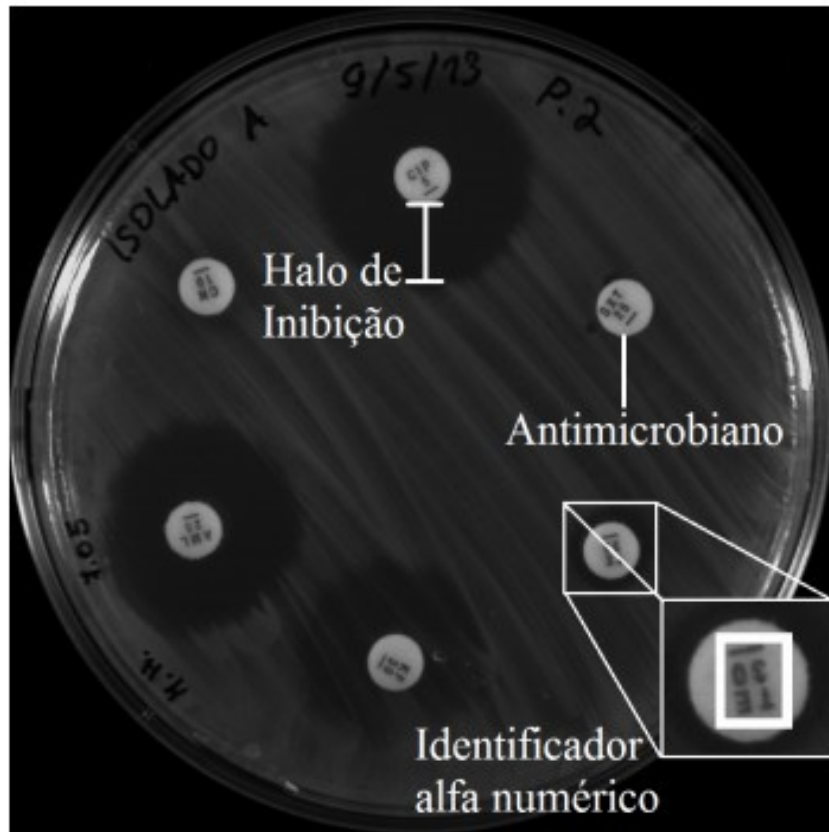
ENGENHARIA CLÍNICA

## Projeto II: Biodyn



<https://medium.com/@tecjor2018/cumpru-meu-papel-de-cidad%C3%A3-foi-o-investimento-da-popula%C3%A7%C3%A3o-que-possibilitou-esse-projeto-e-eu-918e95d53dfd>

## Projeto III: Antibiógrama







Lato Senu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Projeto III: Antibiógrama

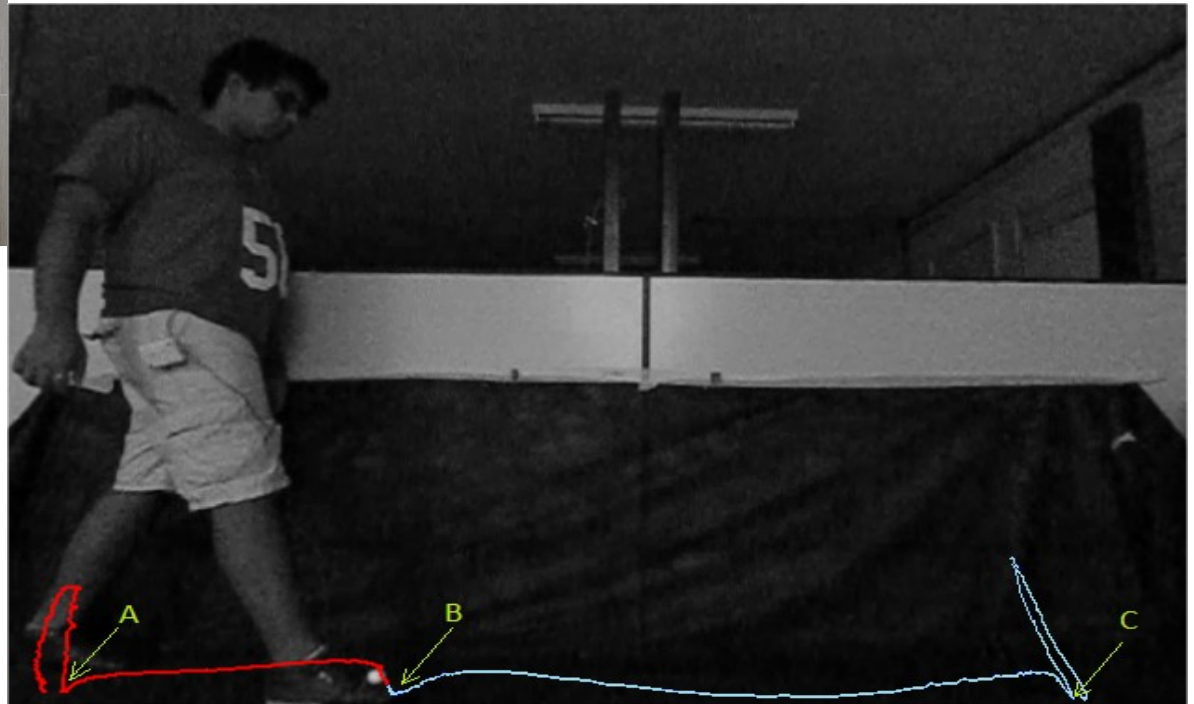
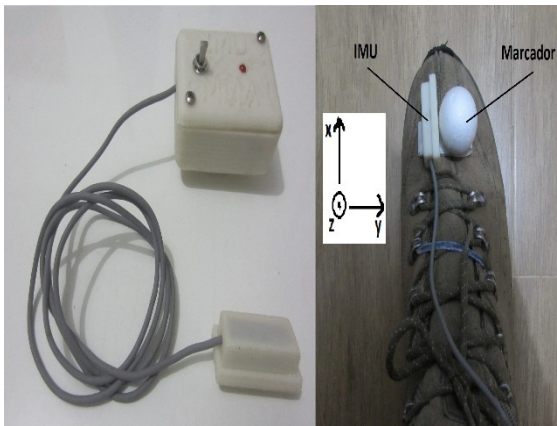




Lato Senu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Projeto IV: UMI e Marcha

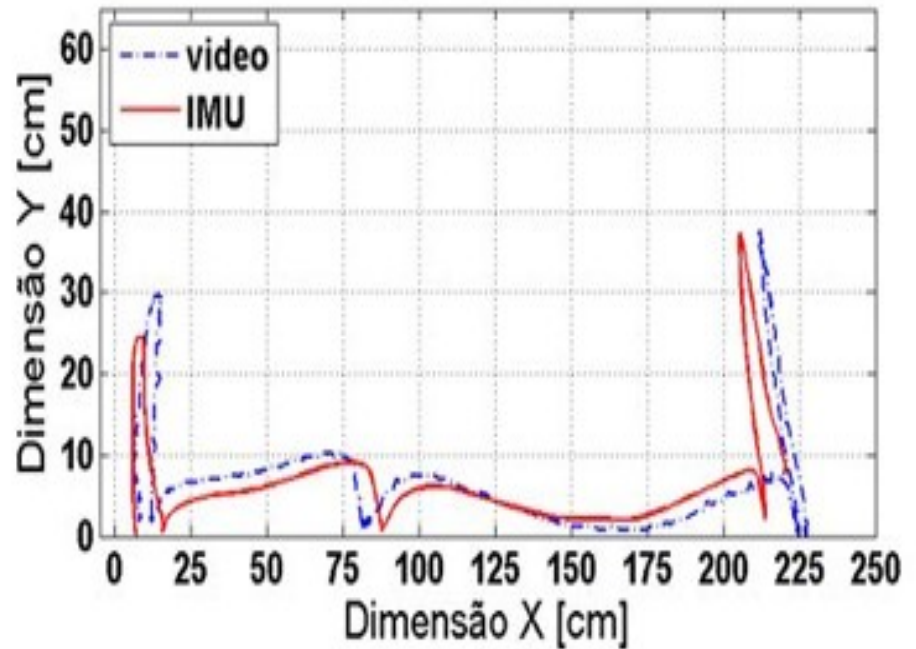
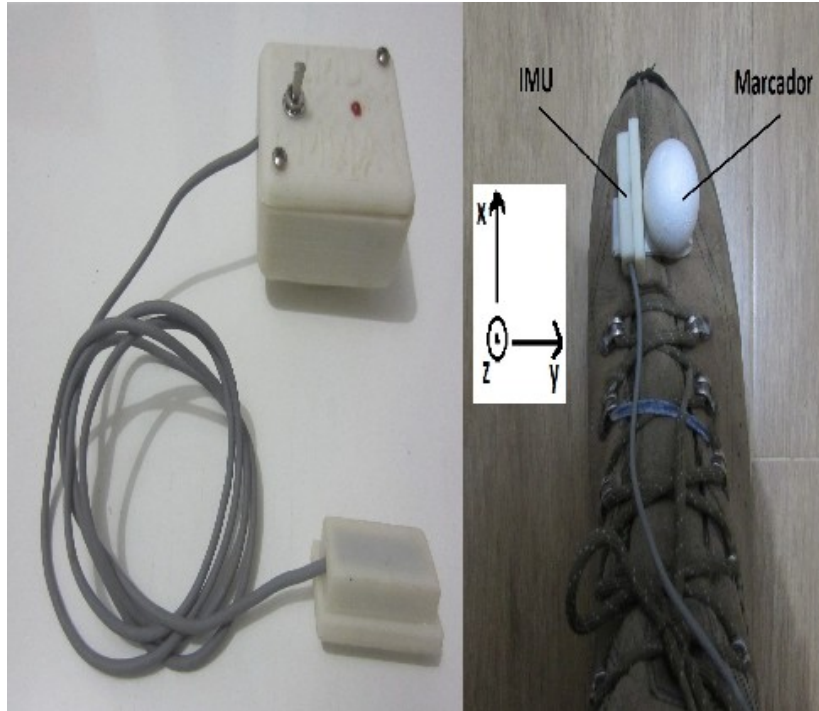




Lato Senu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Projeto V: UMI e Marcha



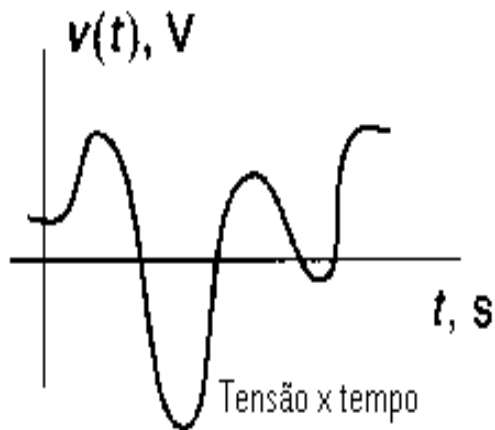


Lato Sensus

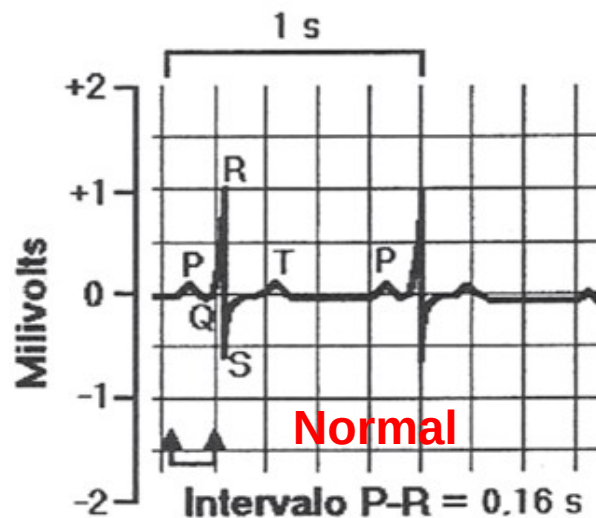
ENGENHARIA CLÍNICA

## Defina Sinal?

“Uma função que carrega informação, geralmente relacionadas a uma estado ou comportamento de um sistema.”



Sinal de Tensão  
Típico



Mansur, P.H.G; et al. 2006 - “Análise de registros eletrocardiográficos associados ao infarto agudo do miocárdio” A.B. Cardiol. vol.87 no.2 SP





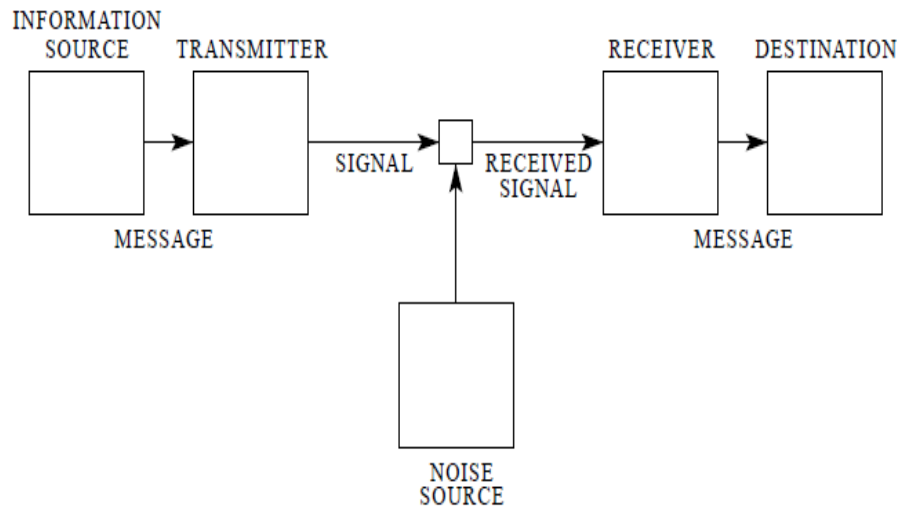


Lato Sensus

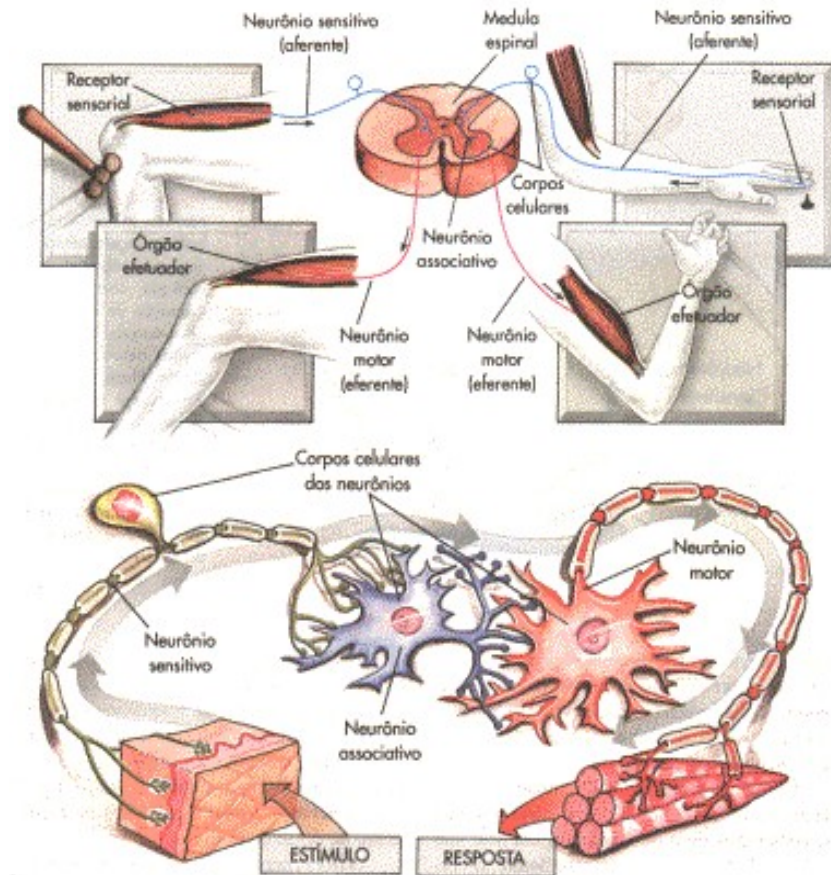
ENGENHARIA CLÍNICA

## Sinal, Exemplifique Melhor!!

“Uma função que  
carrega informação...”



SHANNON, C. E. (1948) A Mathematical Theory of Communication, *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656.



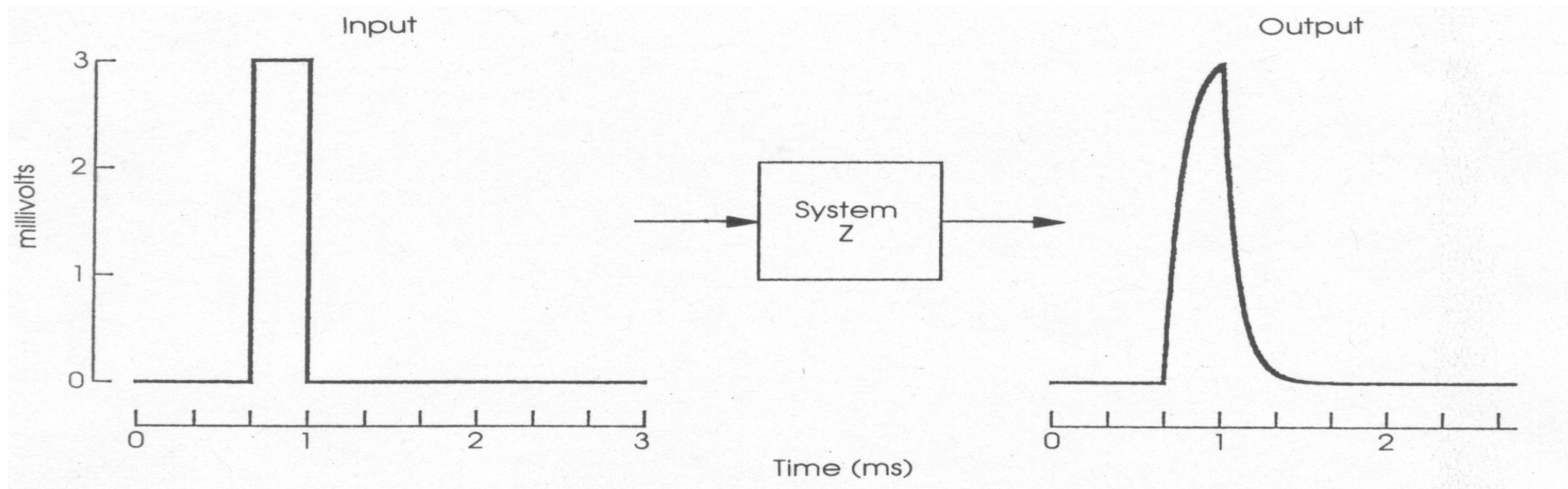


*Lato Sensus*

ENGENHARIA CLÍNICA

## Defina Sistema?

“Matematicamente pode ser definido como uma transformação de um sinal de entrada em um sinal de saída.”



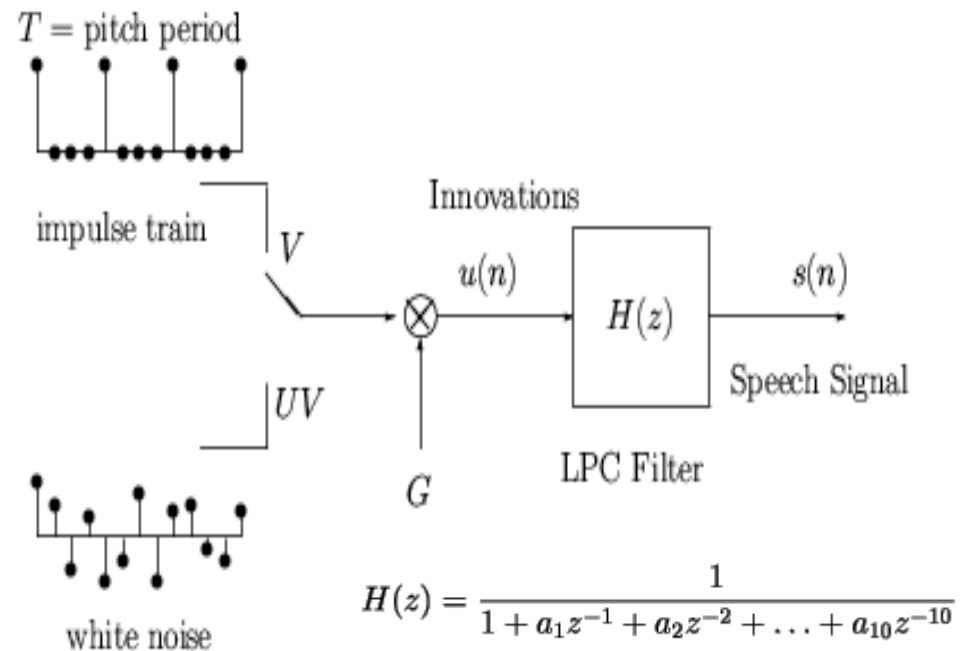
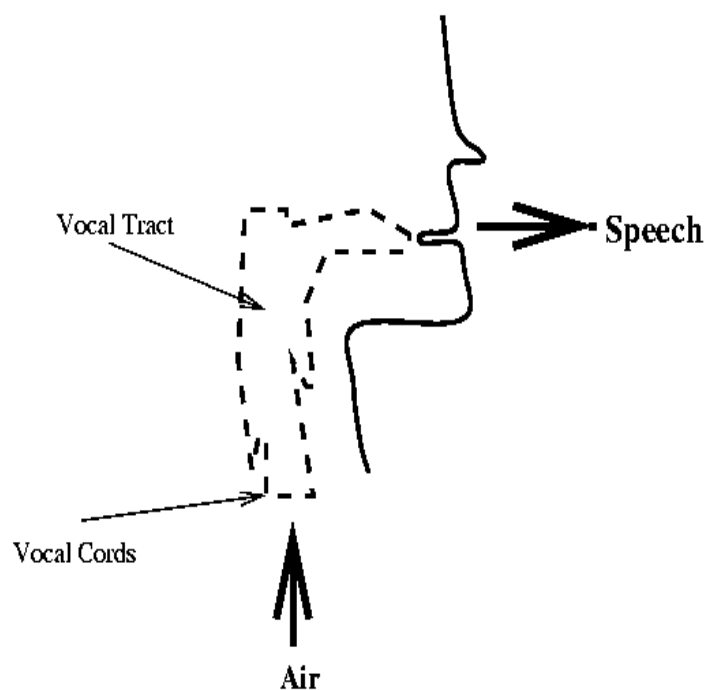


Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Sistema, Exemplifique Melhor!!

“Matematicamente pode ser definido como uma transformação de um sinal de entrada em um sinal de saída.”



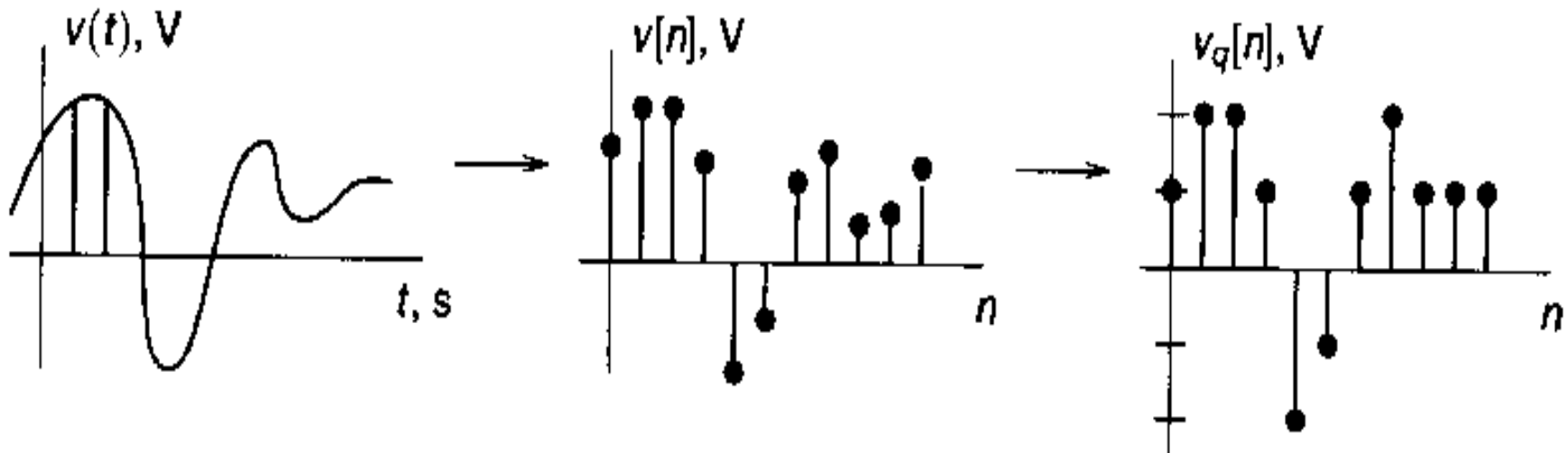


Lato Sensu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Sinais Analógicos e Digitais

Sinal analógico  $\xrightarrow{\text{Amostragem}}$  Sinal de domínio discreto  $\xrightarrow{\text{Quantização}}$  Sinal digital



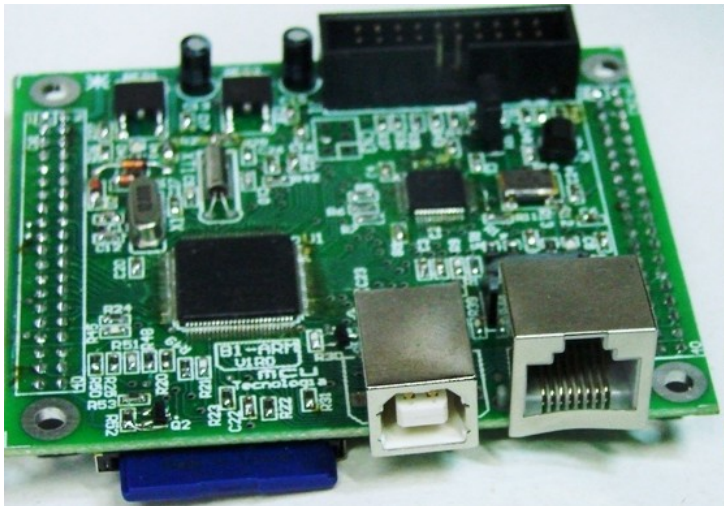
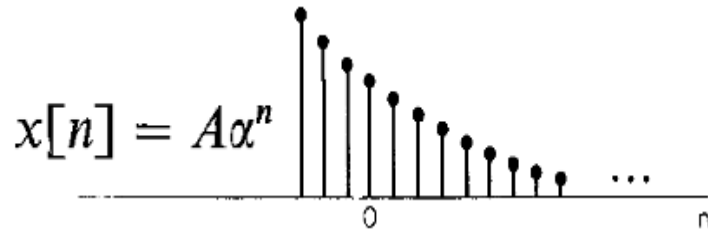




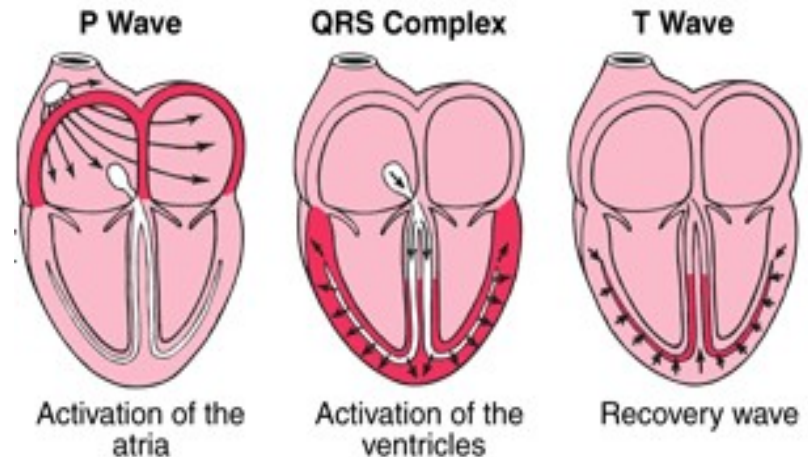
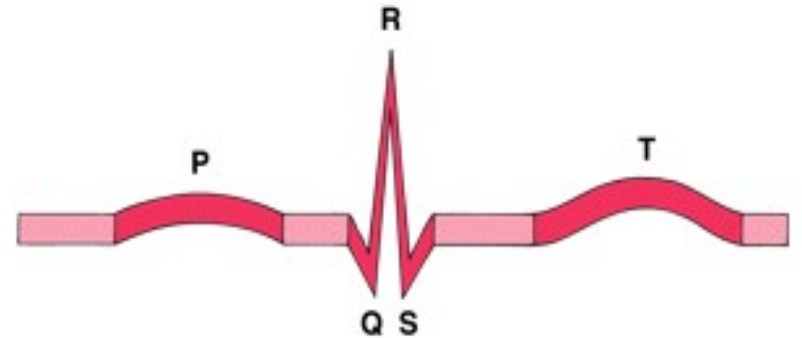
Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Sinais Analógicos e Digitais



Módulo B1-ARM LPC2368



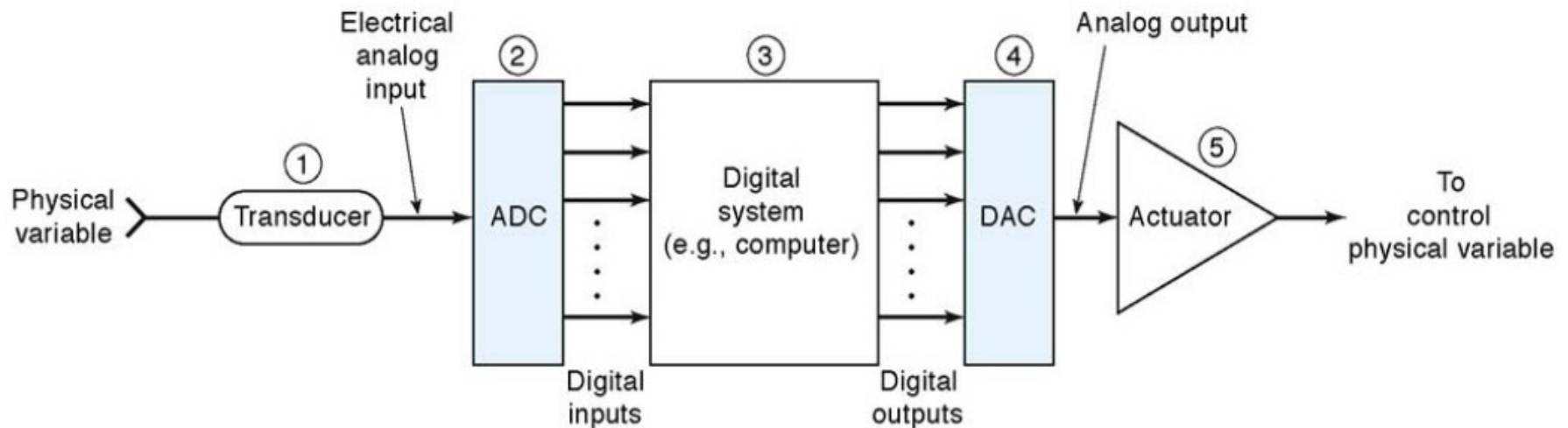


Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Analógico ou Digital?

# O “mundo” não é analógico?



Fonte: R. Tocci and N. Widmer, Digital Systems



*Lato Sensu*

ENGENHARIA CLÍNICA

## **Exemplos: Sinais Bioelétricos!!**

---

> Eletroencefalograma (EEG),

> Eletromiograma (EMG),

> Eletrooculograma (EOG),

> Eletrocardiograma (ECG).



*Lato Sensus*

ENGENHARIA CLÍNICA

## Exemplos: Sinais Biofísicos!!

---

- **Bioelétricos:** ECG, EEG, EMG e EOG;
- **Biomagnéticos:** MEG e MCG;
- **Biomecânicos:** Pressão arterial e Força muscular;
- **Bioquímicos:** Glicemia, Teor alcoólico e pH.





Lato Senu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Sinais Biomédicos & Processamento de Sinais!

“Processamento de Sinais se preocupa em representar, transformar e manipular sinais e suas respectivas informações armazenadas” *Oppenheim*

### >Eletroencefalograma (EEG):

Banda de Frequência: 0 – 100 Hz;

Variação de Amplitude: 15 – 100 mV;

### >Eletromiograma (EMG):

Banda de Frequência: 10 - 200 Hz;

Variação de Amplitude: 100  $\mu$ V até 90 mV

### >Eletrocardiograma (ECG):

Banda de Frequência: 0,05 - 100 Hz;

Variação de Amplitude: 5 mV (adulto);

## Eletromiografia (EMG) - Histórico

---

- 1666: Francesco Redi deduzir que o músculo de um tipo de peixe elétrico gerava eletricidade;
- 1790: Luigi Galvani 1790 demonstrou que descargas de eletricidade estática podiam provocar contrações musculares;
- Déc. 40 e 50: Popularização do EMG em estudos de controle motor e função muscular, relação entre amplitude, força e velocidade de contração;
- Déc. de 70 e 80: o computador digital foi inserido como instrumentação no desenvolvimento de modelos do sinal eletromiográfico;
- No presente a eletromiografia é tratada como uma ferramenta poderosa de modelagem do sistema neuro-músculo-esquelético.



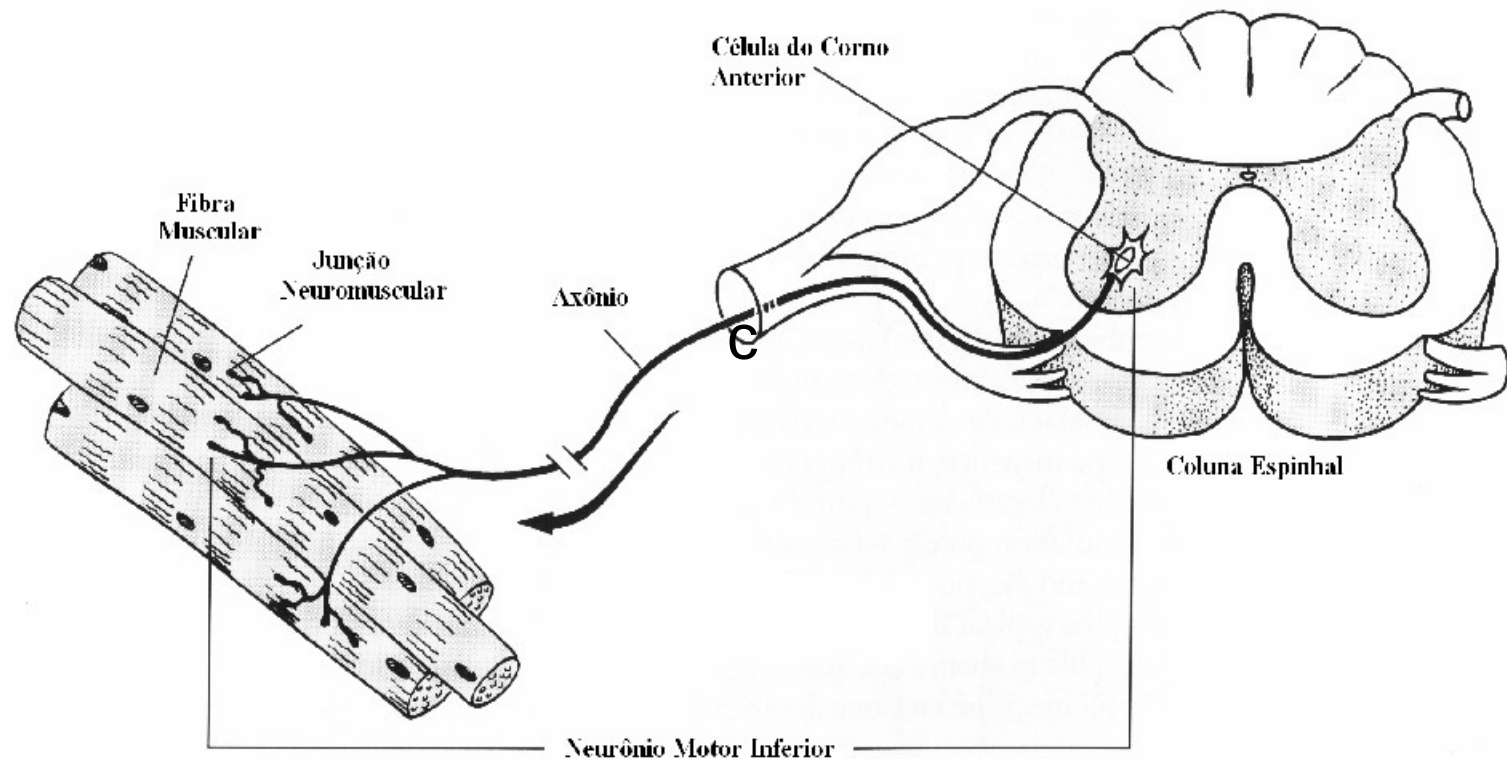
Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Sinais Bioelétricos

### Eletromiografia (EMG)

O sinal eletromiográfico é essencialmente o registro das atividades elétricas de um conjunto de unidades motoras ativas no mesmo instante. **Winter**



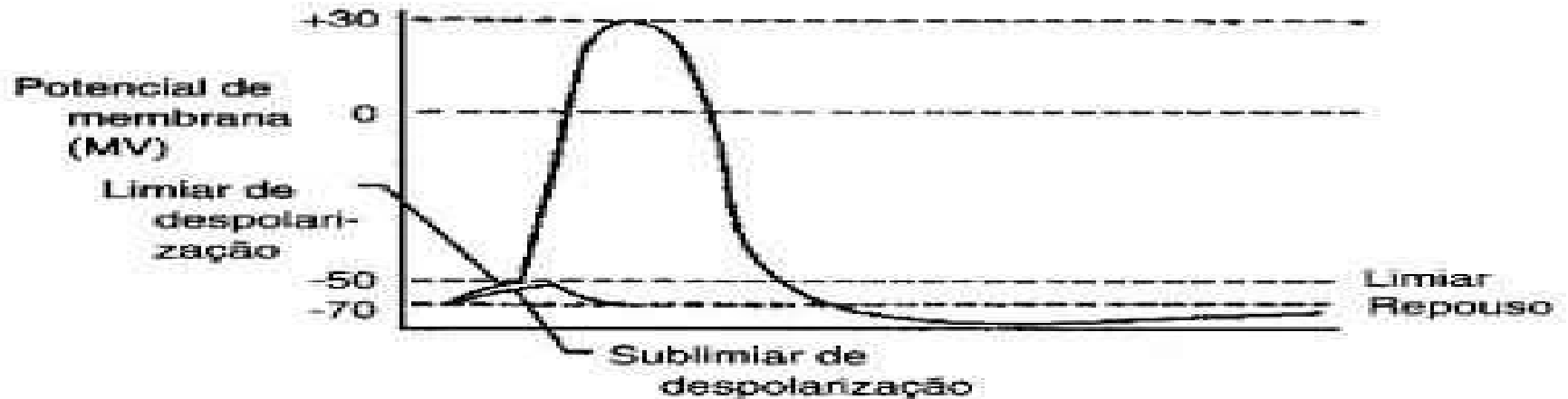
SpaceLabs Medical (1993) "Electromyography / Electroencephalography (biophysical measurement series)". Redmond: SpaceLabs Medical.



Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Potencial de Ação da Unidade Motora



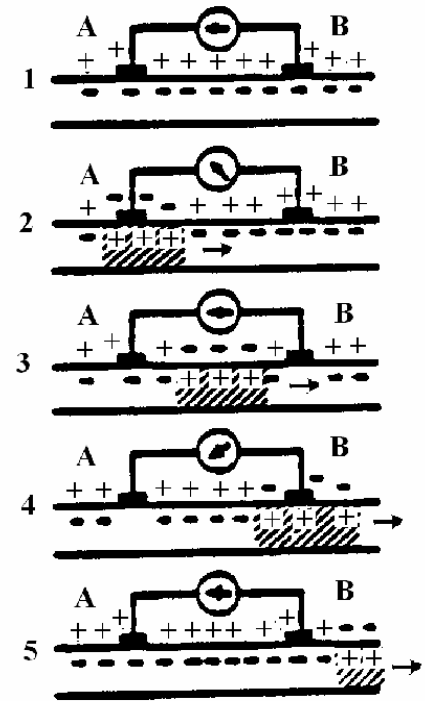
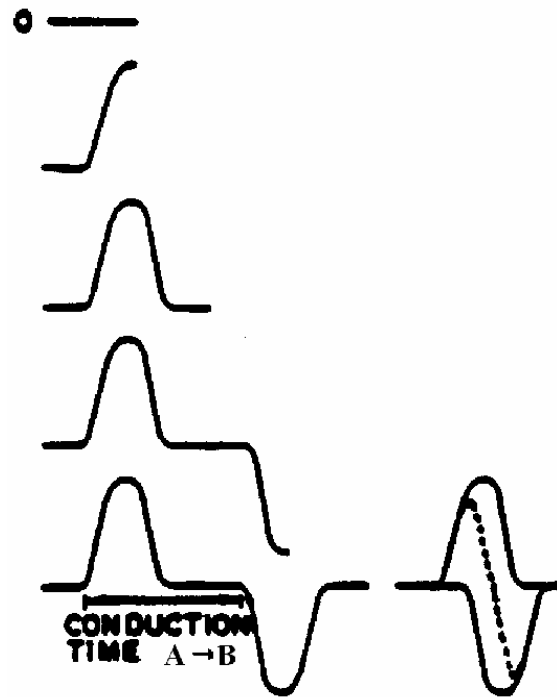
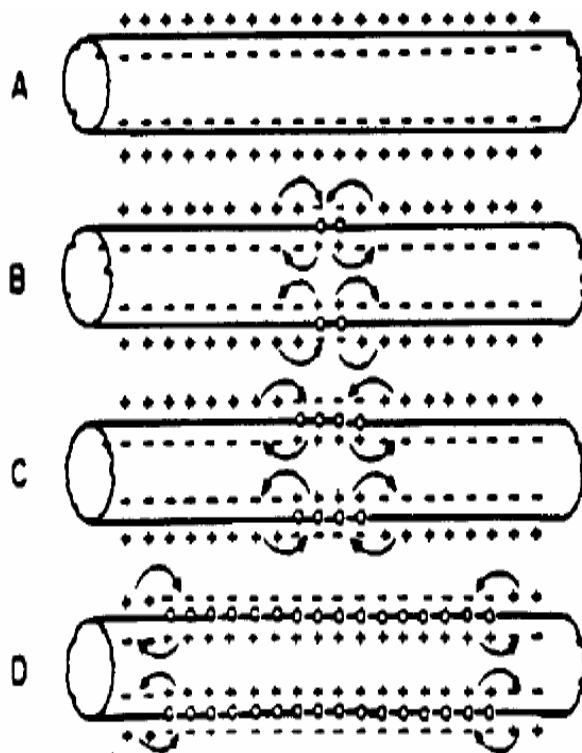




Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## EMG, é Fácil Medir?





*Lato Sensus*

ENGENHARIA CLÍNICA

## Eletrocardiografia (ECG) - Histórico

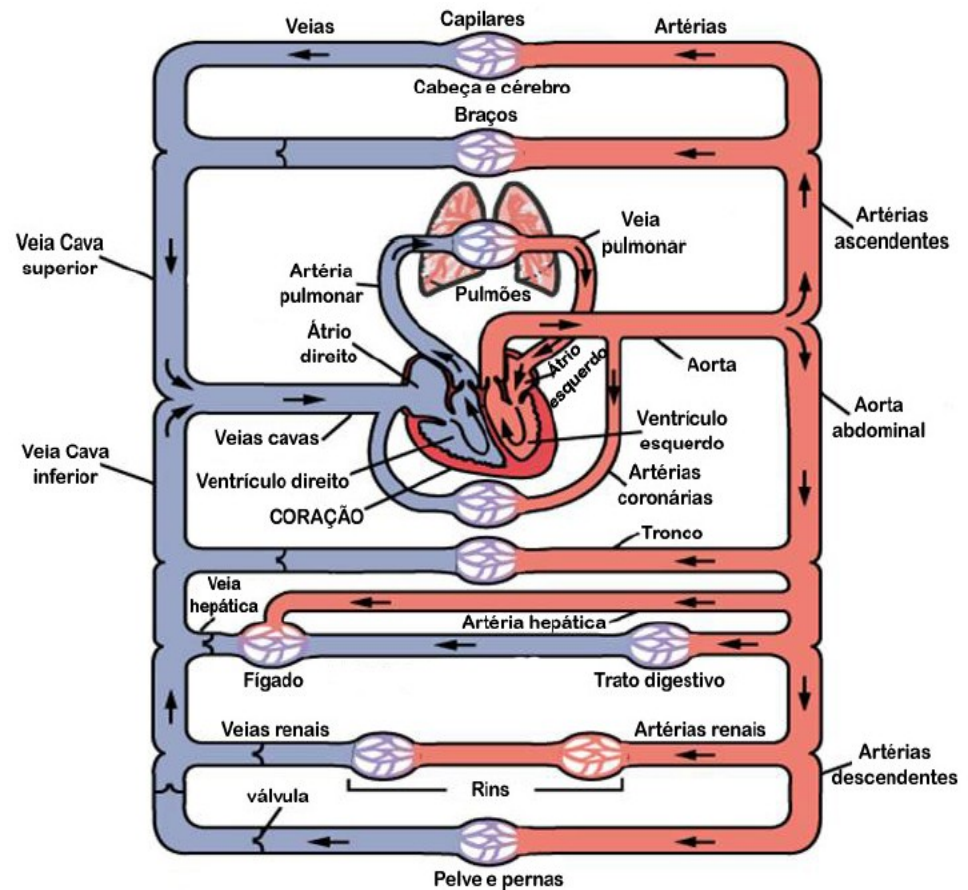
---

- 1843: Emil Dubois-Reymond descreve um “potencial de ação” que acompanha cada contração muscular;
- 1891: são descritas 3 fases da atividade cardíaca (ondas P, QRS, T);
- 1901: Einthoven constrói o primeiro ECG com galvanômetro;
- 1906: Einthoven publica o primeiro Atlas de ECGs normais e anormais, diferenciadas (ventricular e atrial, esquerda e direita);
- 1924: Einthoven ganha o prêmio Nobel por inventar o eletrocardiograma;
- 1950: primeiros ECGs transistorizados;
- 1966: utilização de computadores IBM para reconhecimento de padrões para diagnóstico automático;
- > anos 70: monitoramento automático e em rede de arritmias, eletrodos descartáveis, processamento digital.

**Prof. Sérgio Mühlen, Unicamp**

# O Coração - Anatomia e Fisiologia

**“O coração  
consiste em uma  
Bomba Muscular  
Pulsátil  
Unidirecional  
Dupla que  
trabalha em dois  
Tempos”**



**Prof. Sérgio Mühlen, Unicamp**

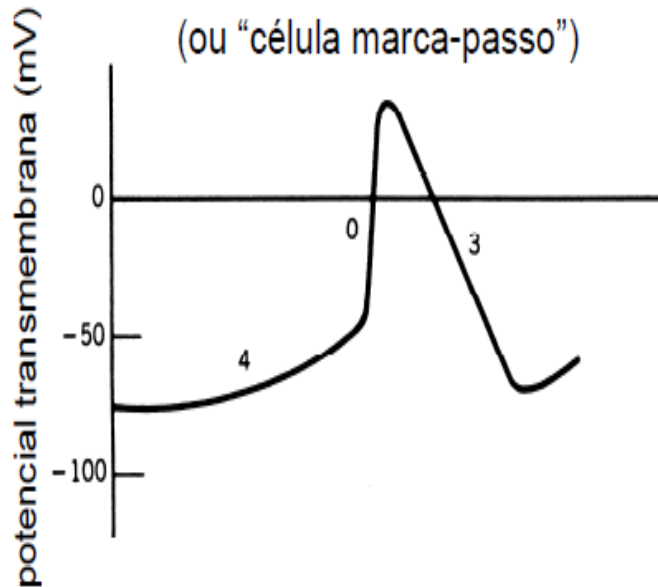


Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

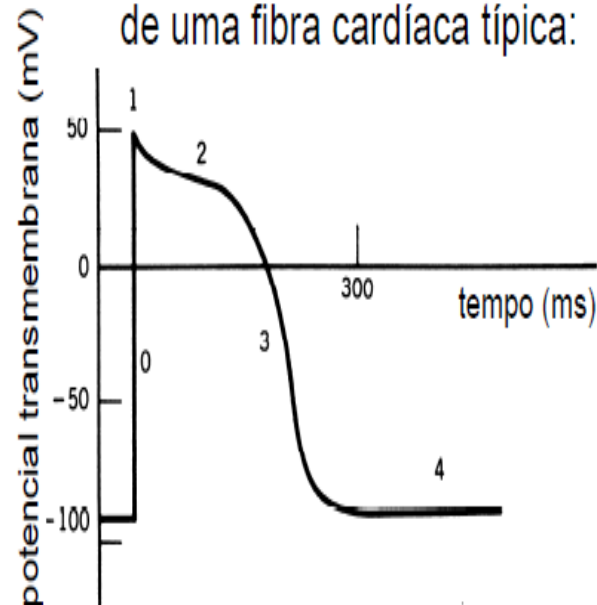
## O Coração e seus Potenciais de Ação

Potencial de Ação de  
fibra do Nodo Átrio-Sinusal  
(ou “célula marca-passo”)



- ♦ não tem período refratário absoluto.

Potencial de Ação  
de uma fibra cardíaca típica:



fase 0: ativação

fase 1: recuperação inicial

fase 2: platô de despolarização

fase 3: repolarização

fase 4: potencial de repouso

- ♦ período refratário absoluto: fases 1 e 2
- ♦ período refratário relativo: fase 3

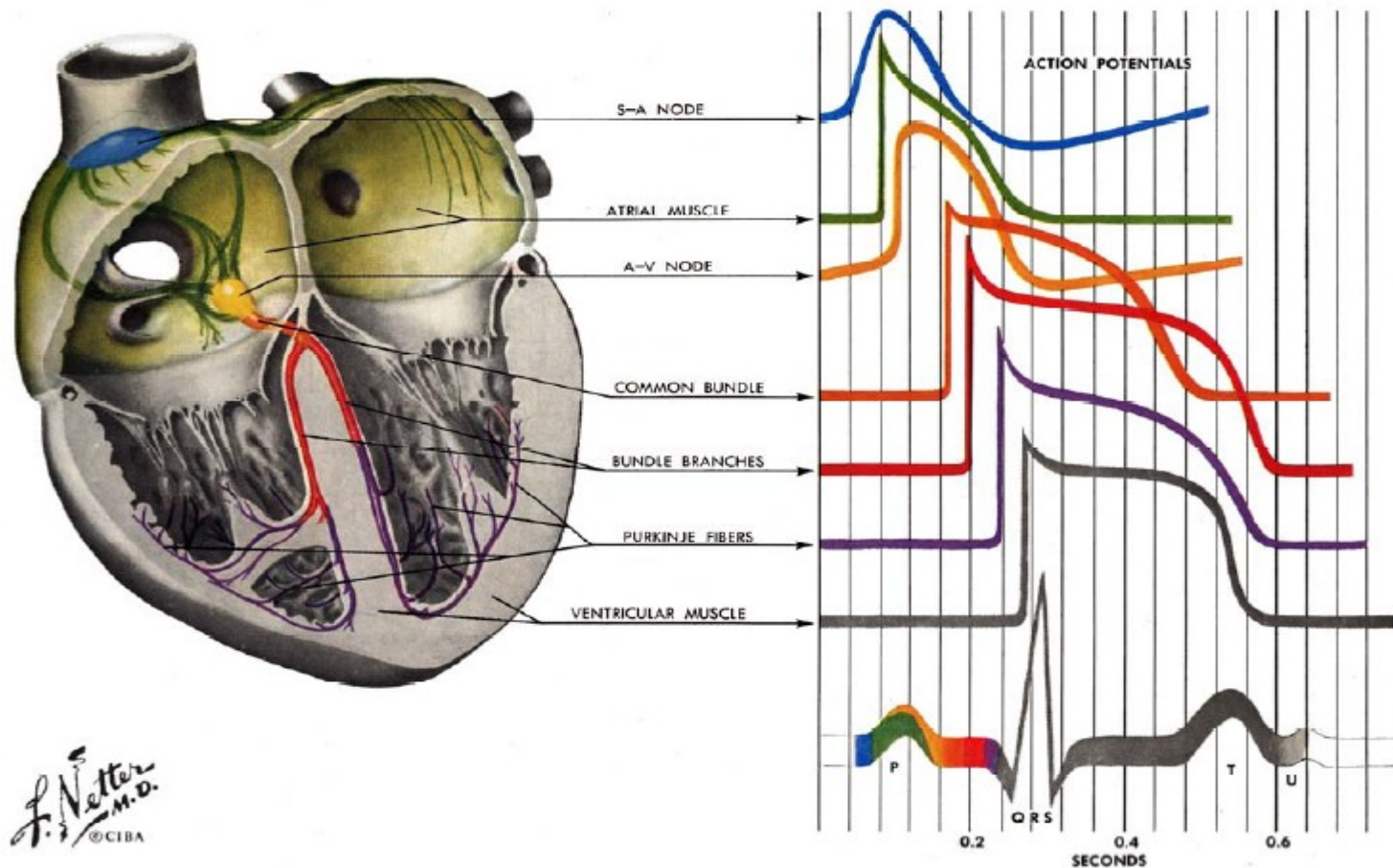




Lato Sensu

ENGENHARIA CLÍNICA

## O Coração e seus Potenciais de Ação



Prof. Sérgio Mühlen, Unicamp

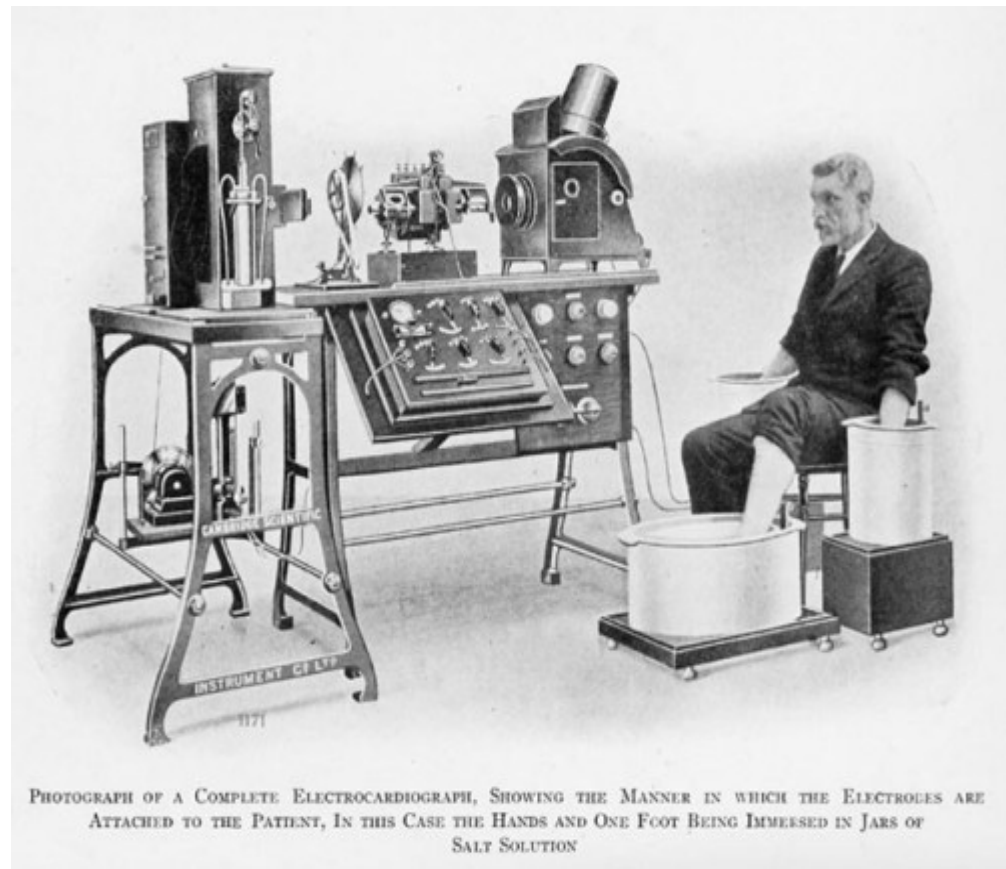
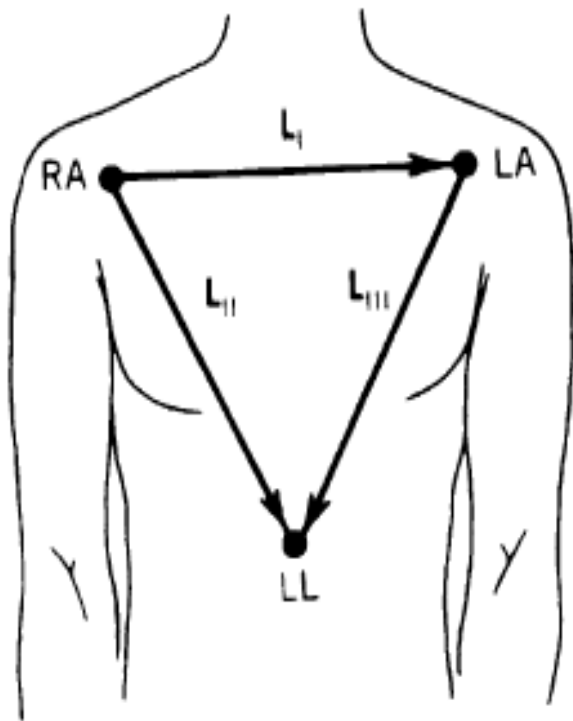




Lato Sensu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Eletrocardiografia – Triângulo de Einthoven



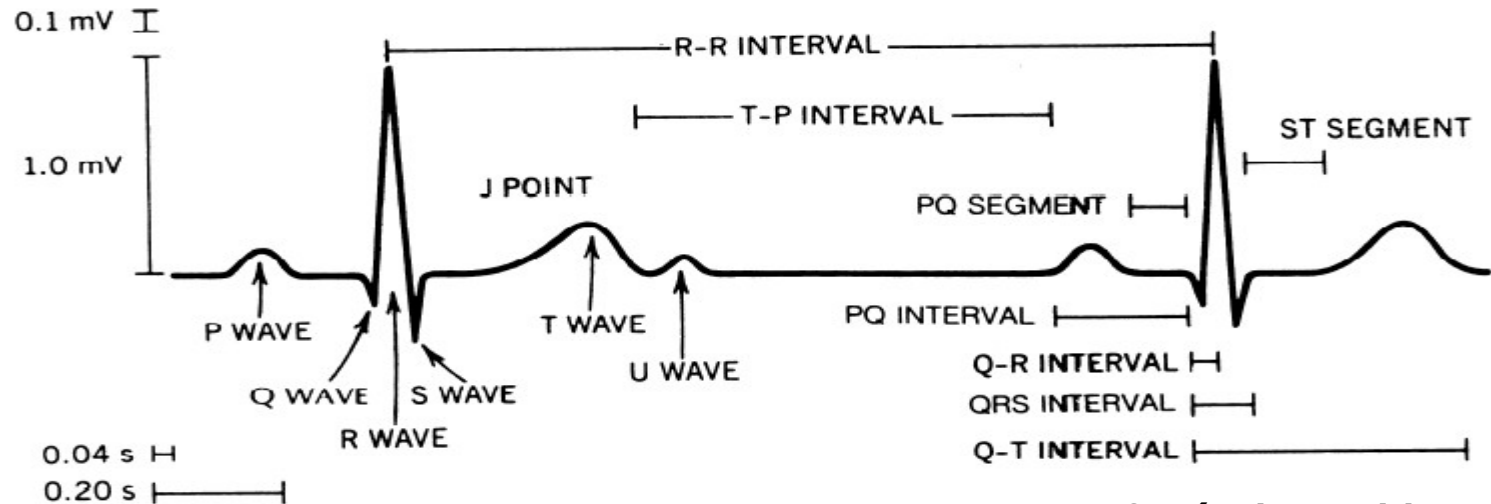
PHOTOGRAPH OF A COMPLETE ELECTROCARDIOGRAPH, SHOWING THE MANNER IN WHICH THE ELECTRODES ARE ATTACHED TO THE PATIENT, IN THIS CASE THE HANDS AND ONE FOOT BEING IMMERSED IN JARS OF SALT SOLUTION



Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## O Sinal Eletrocardiográfico



*Prof. Sérgio Mühlen, Unicamp*

**Onda P:** Despolarização dos Átrios;

**Complexo QRS:** Despolarização Ventricular;

**Onda T:** Repolarização Ventricular;

**Intervalo PR:** Velocidade de Condução entre os Átrios e os Ventrículos;

**Interlagos PP:** Frequência de Despolarização Atrial;

**Intervalo RR :** Frequência de Despolarização Ventricular;

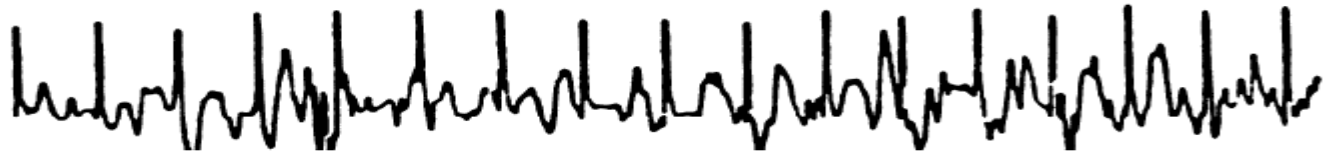


*Lato Sensus*

ENGENHARIA CLÍNICA

## ECG e Algumas Fonte de Interferência!

**Artefatos de movimento**



**Variação da linha de base**



**Ruído muscular**



**Interferência da rede 60 Hz**



*Prof. Sérgio Mühlen, Unicamp*



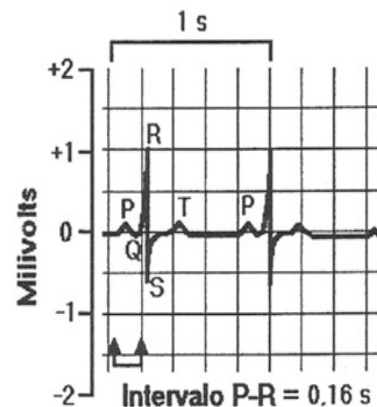
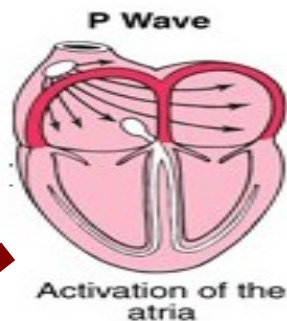
Lato Sensu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Sistema de Aquisição de Sinais



Fenômeno  
Biológico



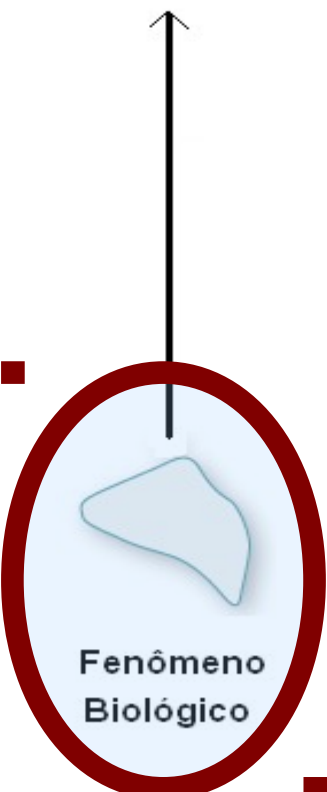
Análise  
de Sinais

## Fenômenos e Sinais!



**Fenômeno** - “É tudo quanto é percebido pelos sentidos ou pela consciência”.Dicionário.

Os sinais que caracterizam um fenômeno, são classificados em: Sinais estocásticos, Sinais determinísticos e Sinais mistos.



Fenômeno  
Biológico



Análise  
de Sinais



## Fenômenos e Sinais!



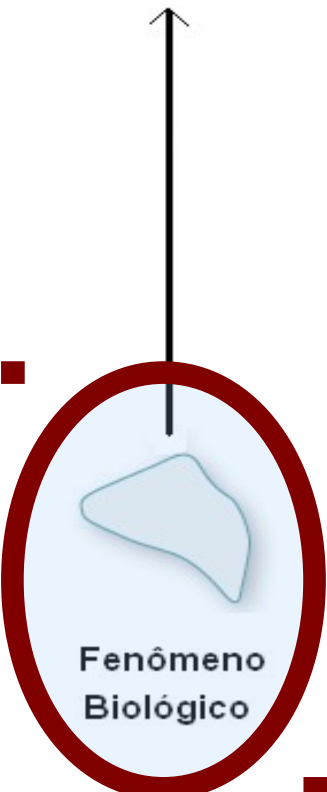
### Sinais Biofísicos:

**Bioelétricos:** ECG, EEG, EMG e EOG;

**Biomagnéticos:** MEG e MCG;

**Biomecânicos:** Pressão arterial e Força;

**Bioquímicos:** Glicemia, Teor alcoólico e pH.



Fenômeno  
Biológico



Análise  
de Sinais

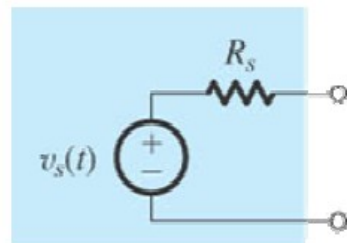
## Fenômenos e Sinais!



### Bioelétricos: ECG, EEG, EMG e EOG;

- Fontes de sinal de tensão:

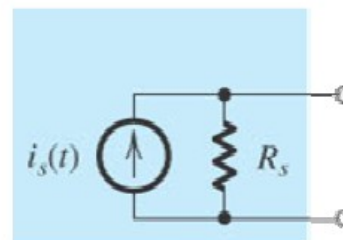
■ Fontes de sinal de corrente:



(a)

Forma de Thevenin  
(preferível quando  $R_s$  for pequeno)

Fonte ideal:  $R_s = 0$



(b)

Forma de Norton  
(preferível quando  $R_s$  for grande)

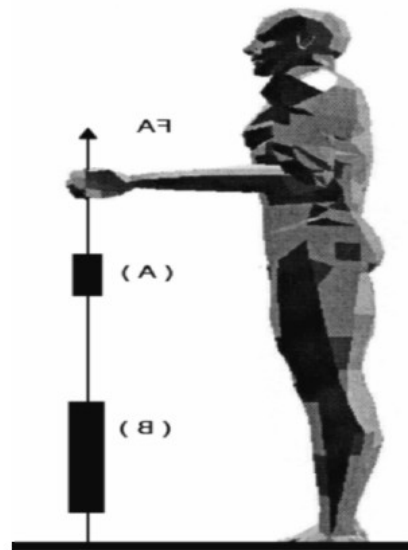
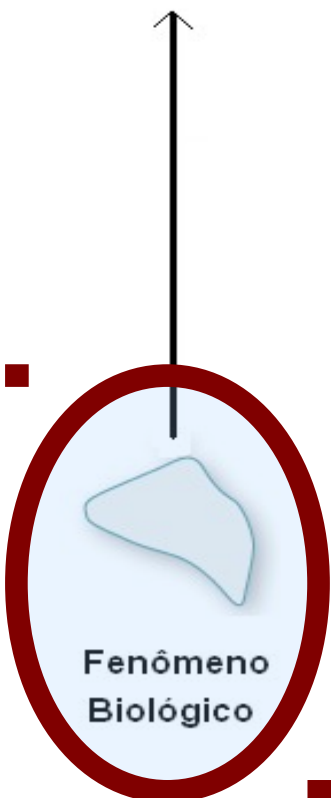
Fonte ideal:  $R_s \rightarrow \infty$



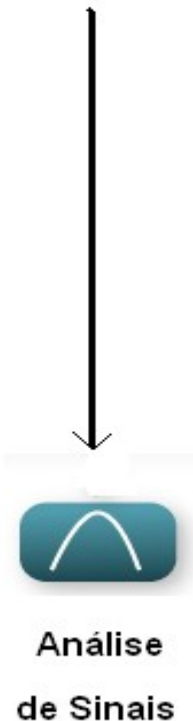
**Análise  
de Sinais**

**Fenômeno  
Biológico**

## Fenômenos e Sinais!



Energia Mecânica

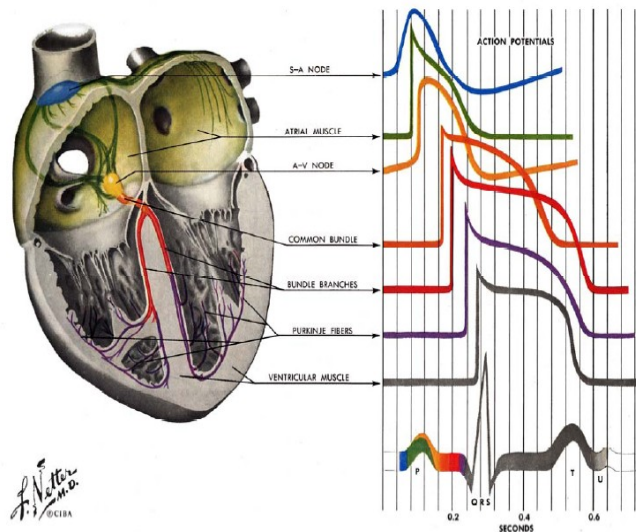




Lato Sensu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Fenômenos e Sinais!



Energia Elétrica



Análise  
de Sinais

Fenômeno  
Biológico



Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## O Sensor!



**Repetindo - Fenômeno** - É tudo quanto é percebido pelos sentidos ou pela consciência.

**Assim - Sensores** - são transdutores cuja ação é dar entradas do mundo externo (fenômenos) para o sistema.



Fenômeno  
Biológico



Análise  
de Sinais

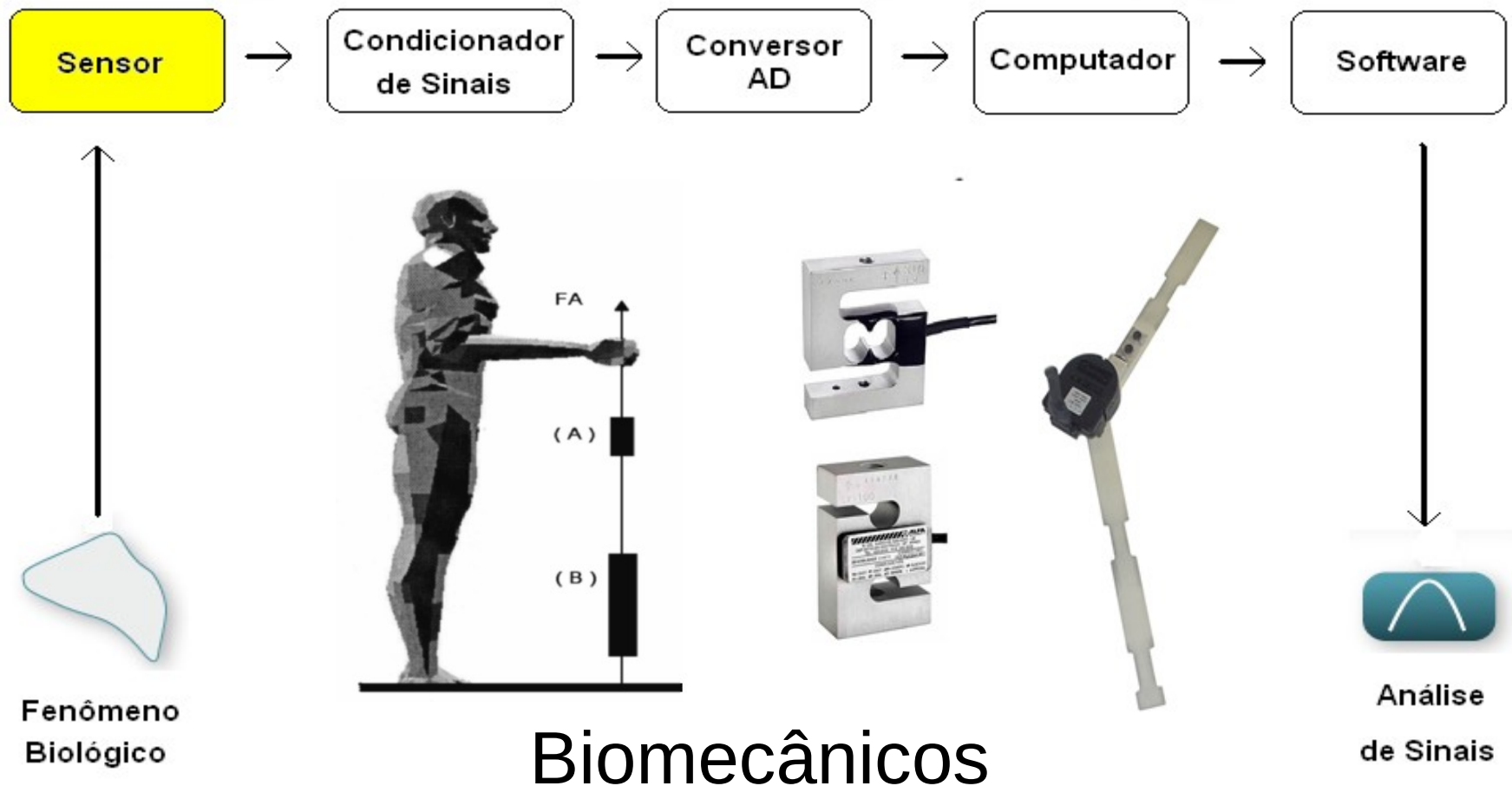




Lato Sensu

ENGENHARIA CLÍNICA

## O Sensor!

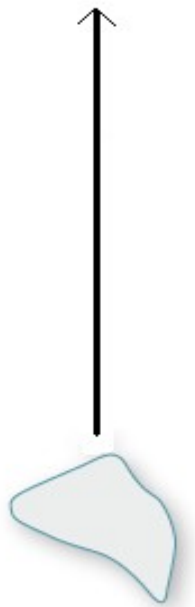




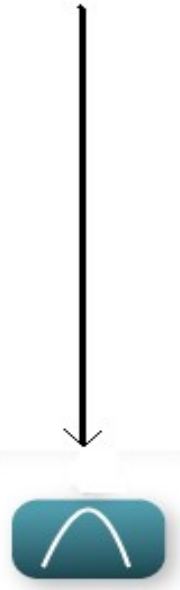
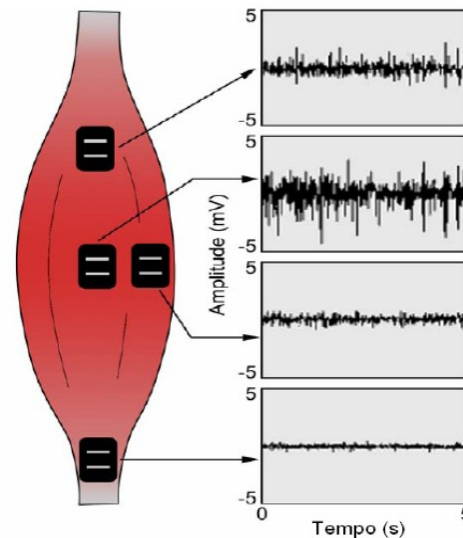
Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## O Sensor!



Fenômeno  
Biológico



Análise  
de Sinais

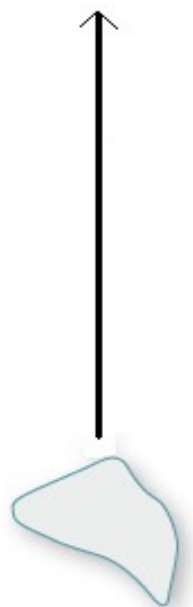
# EMG - Delsys



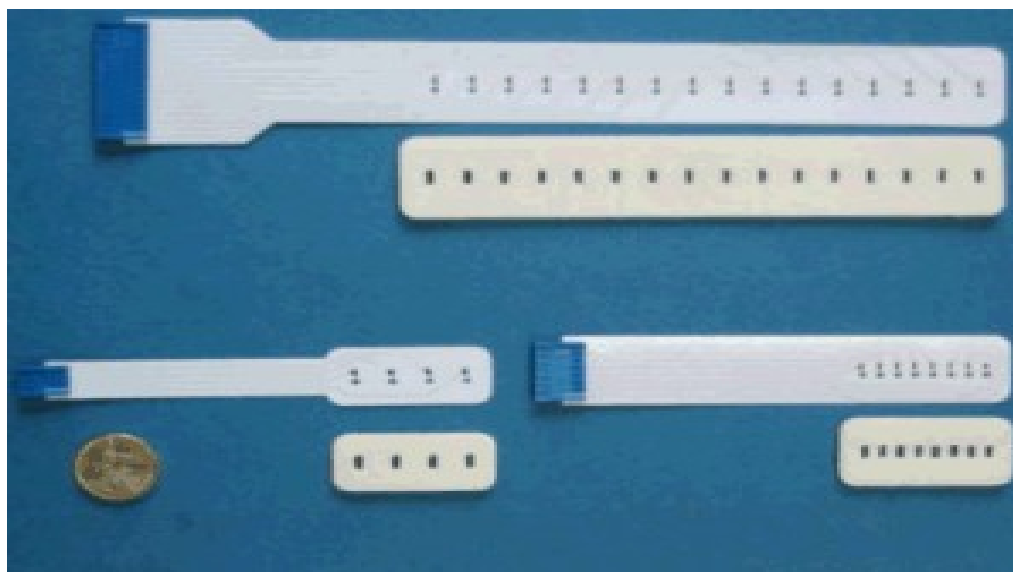
Lato Senu

ENGENHARIA CLÍNICA

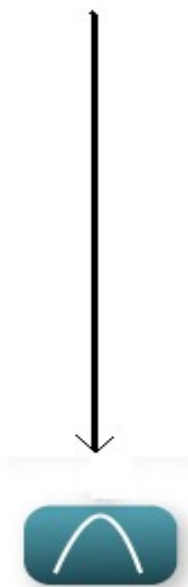
## O Sensor!



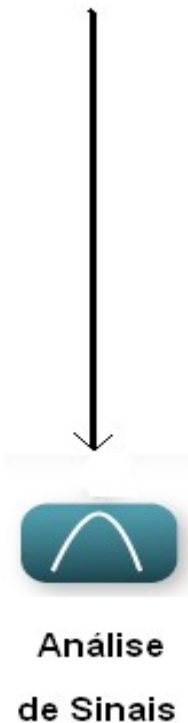
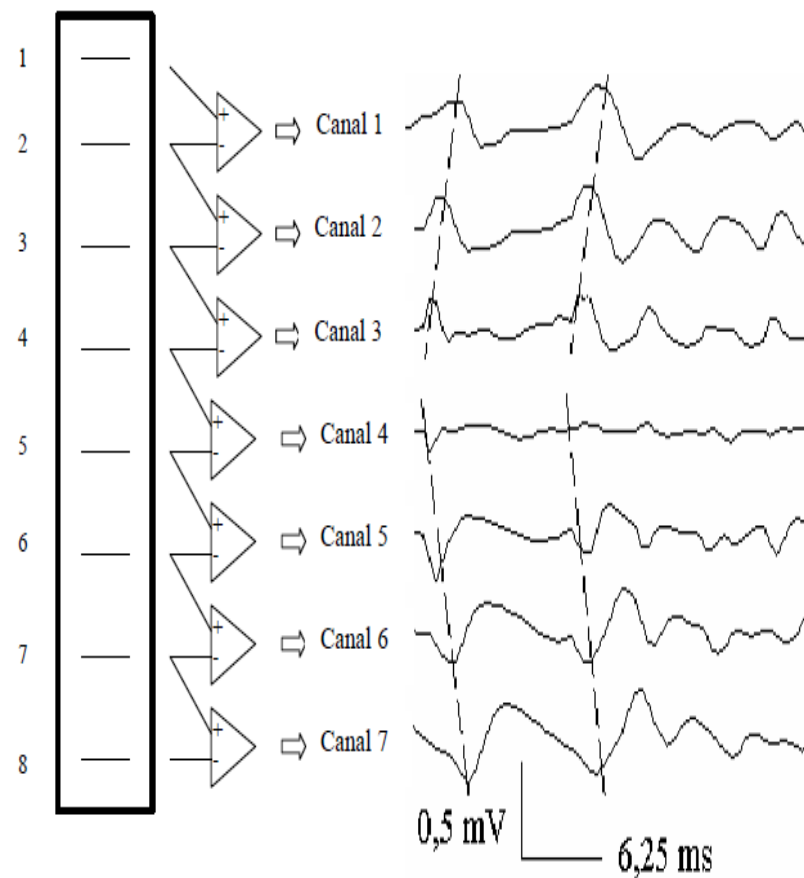
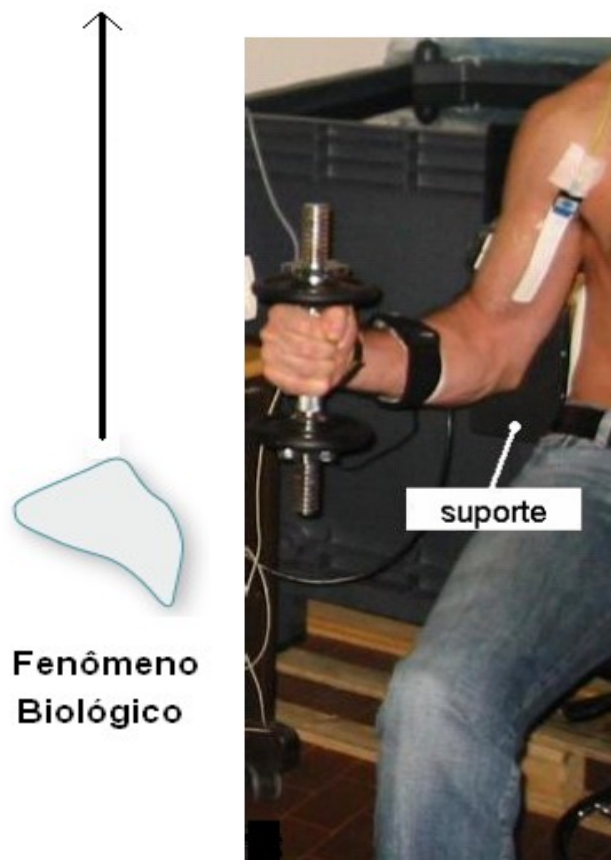
Fenômeno  
Biológico



LISiN



Análise  
de Sinais

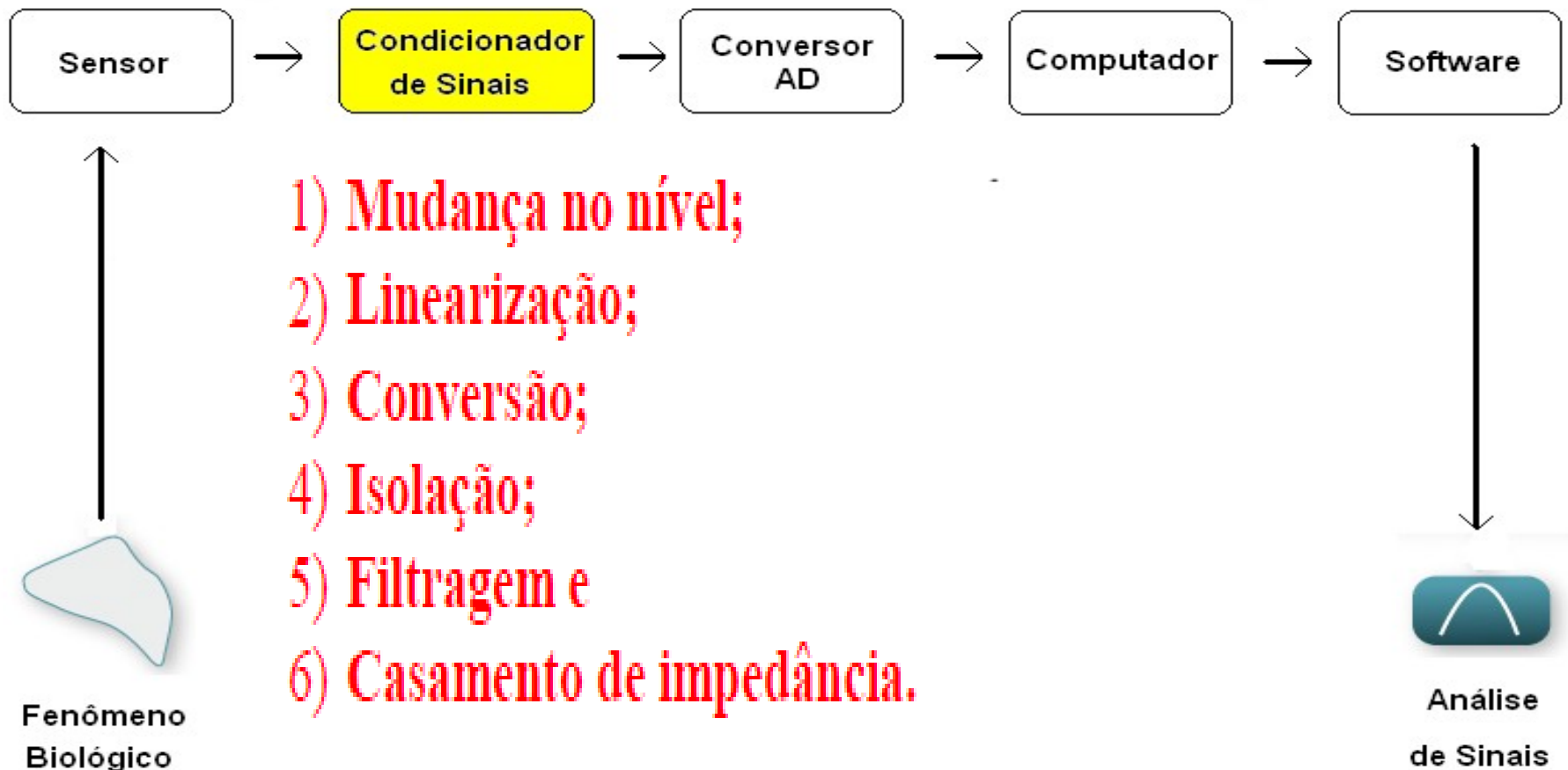




Lato Sensu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Condicionador de Sinais!







Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Condicionador de Sinais!



Mudança no nível

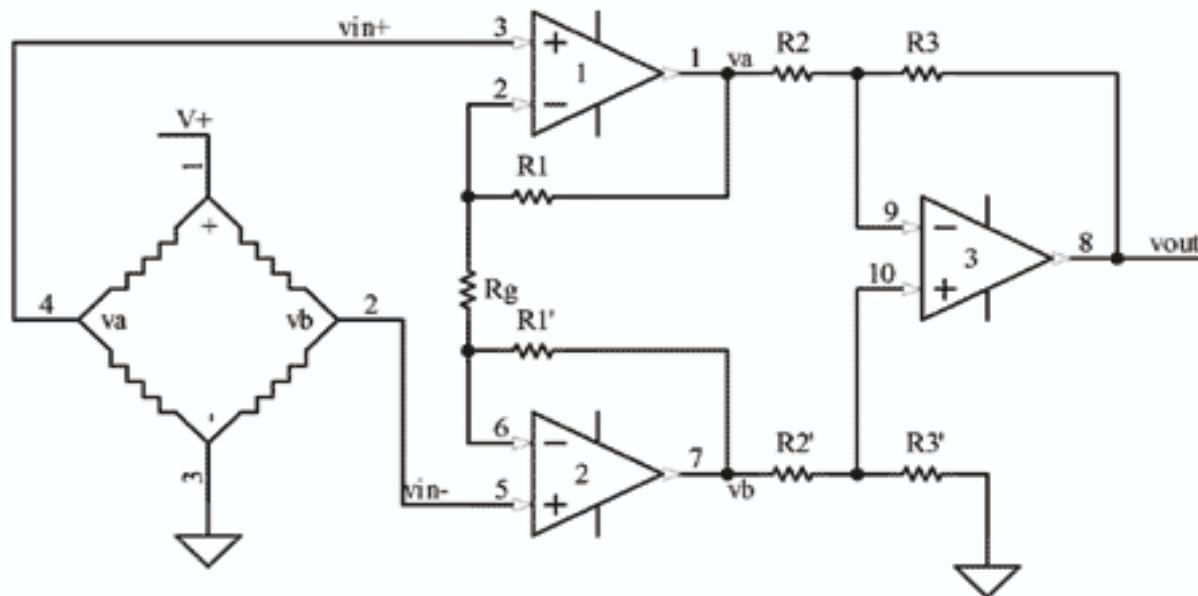


Figure 4. Sensor and Instrumentation Amplifier

Fenômeno  
Biológico



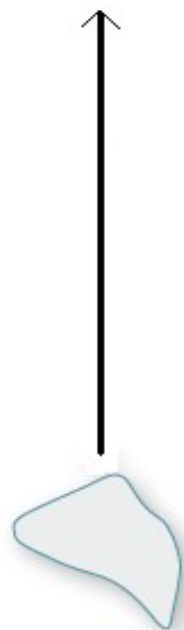
Análise  
de Sinais



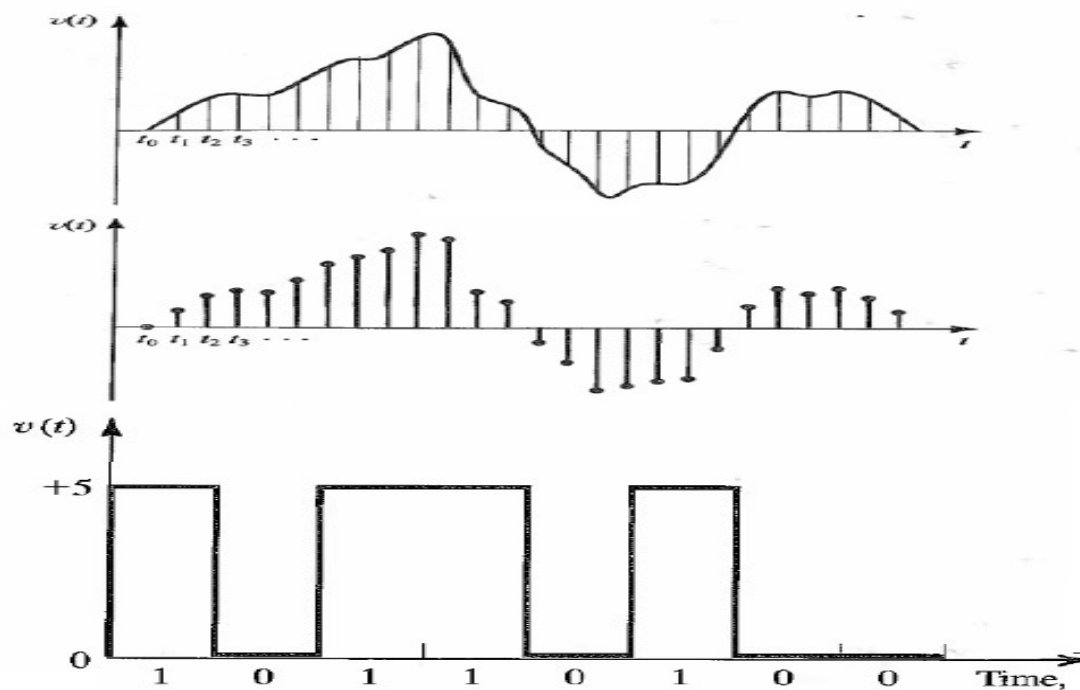
Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Conversor AD!



Fenômeno  
Biológico



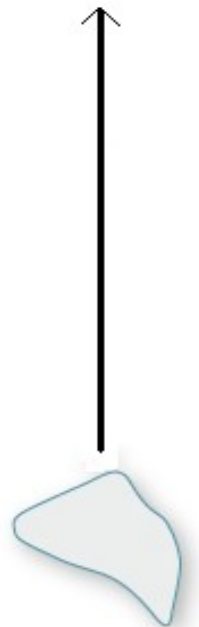
Análise  
de Sinais



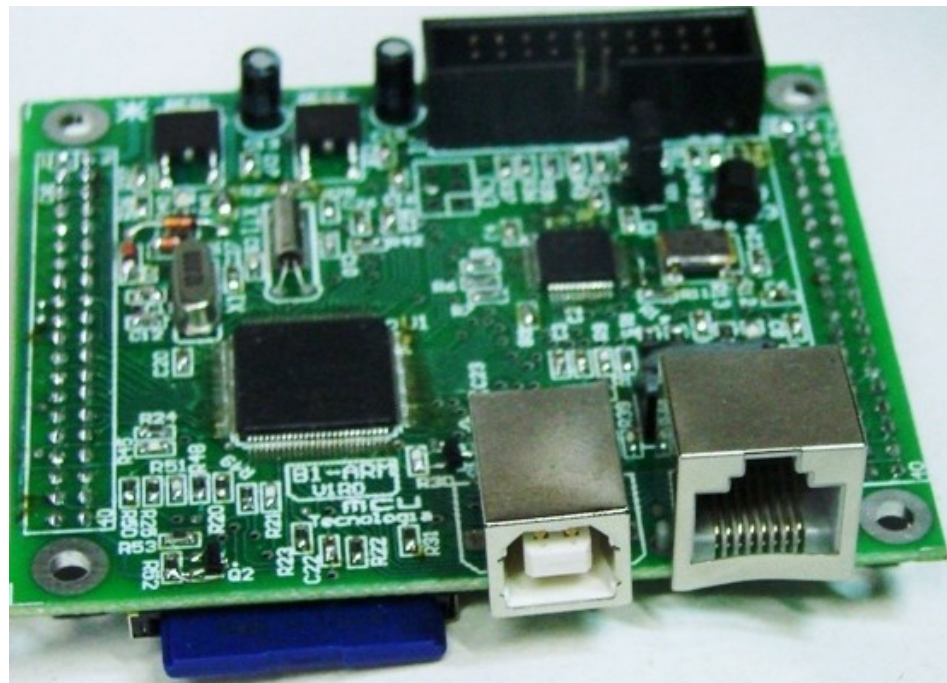
Lato Senu

ENGENHARIA CLÍNICA

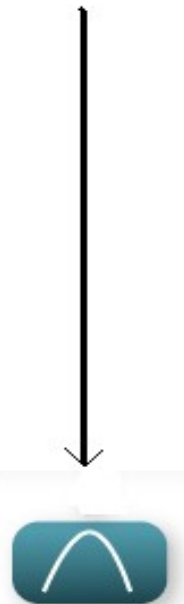
## Conversor AD!



Fenômeno  
Biológico



Módulo B1-ARM LPC2368



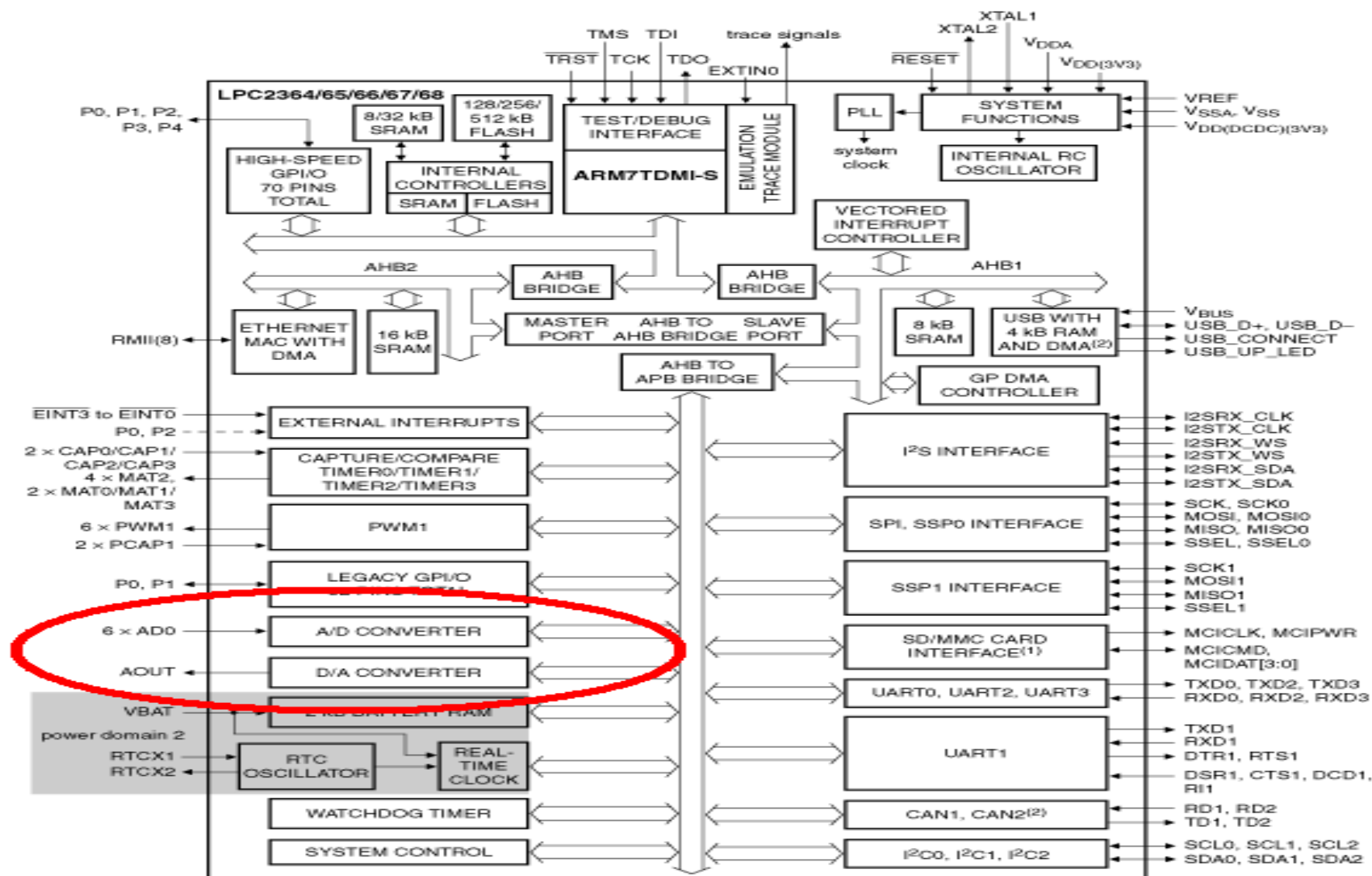
Análise  
de Sinais



Lato Sensus

# ENGENHARIA CLÍNICA

## Módulo B1-ARM LPC2368





Lato Senu

ENGENHARIA CLÍNICA

## Teorema de Nyquist



“Se um sinal for amostrado com, no mínimo, o dobro da máxima frequência nele contida, ele poderá ser recuperado integralmente.”

*(Teorema da Amostragem ou Teorema de Nyquist)*

Exemplo:

Um sinal de voz com frequência máxima de 4 KHz deve ser amostrado a uma taxa de (no mínimo) 8000 amostragens/segundo.



Fenômeno  
Biológico



Análise  
de Sinais





Lato Sensus

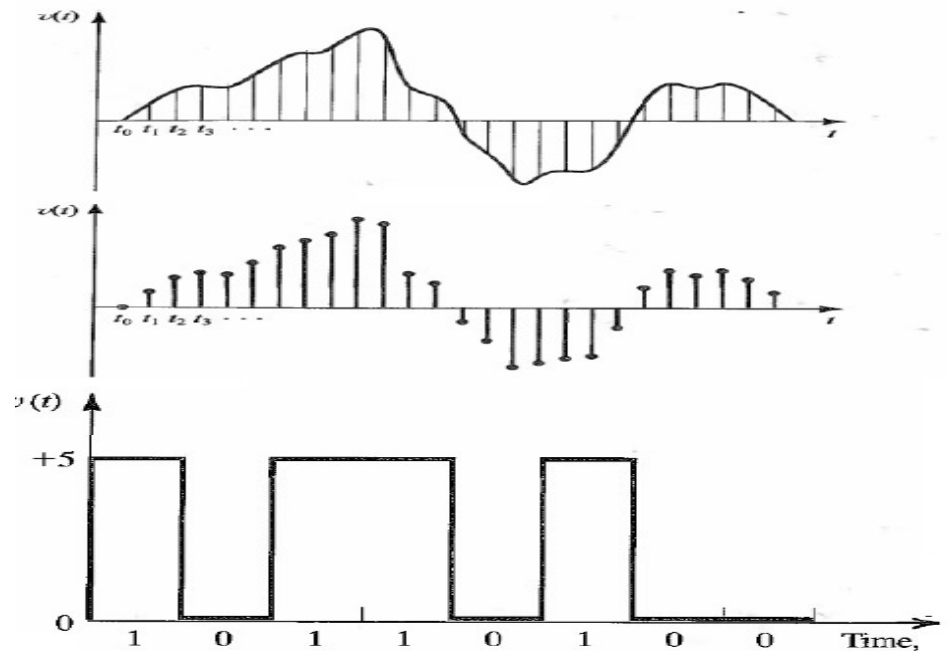
ENGENHARIA CLÍNICA

## Teorema de Nyquist e Digitalização PCM

1- Amostragem

2- Quantização

3- Codificação



Exemplo:

Um sinal de voz com frequência máxima de 4 KHz deve ser amostrado a uma taxa de (no mínimo) 8000 amostragens/segundo.



Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Teorema de Nyquist, Novamente!!!

---



“Se um sinal for amostrado com, no mínimo, o dobro da máxima frequência nele contida, ele poderá ser recuperado integralmente.”

*(Teorema da Amostragem ou Teorema de Nyquist)*



Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Série de Fourier, harmônicas e Nyquist

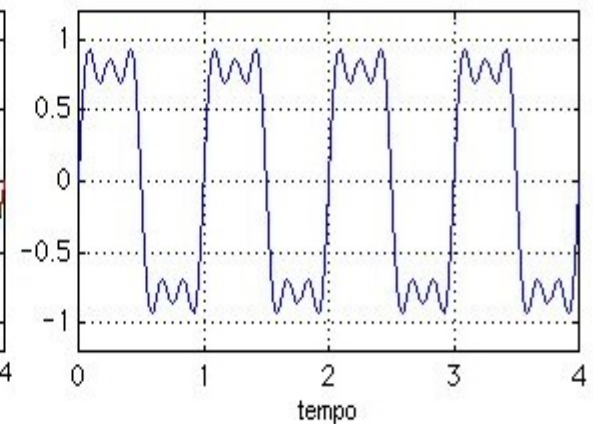
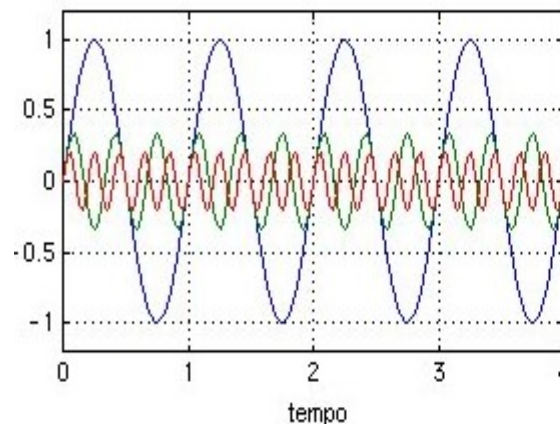
A Série de Fourier:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_n \cdot \cos\left(\frac{n\pi t}{L}\right) + b_n \cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{L}\right) \right]$$

Coeficientes:  $a_0 = \frac{1}{L} \int_c^{c+2L} f(t) dt$     $a_n = \frac{1}{L} \int_c^{c+2L} f(t) \cos\left(\frac{n\pi t}{L}\right) dt$     $b_n = \frac{1}{L} \int_c^{c+2L} f(t) \sin\left(\frac{n\pi t}{L}\right) dt$

### Onda Quadrada

$$x_{\text{quadrado}}(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin((2k-1)t)}{(2k-1)}$$





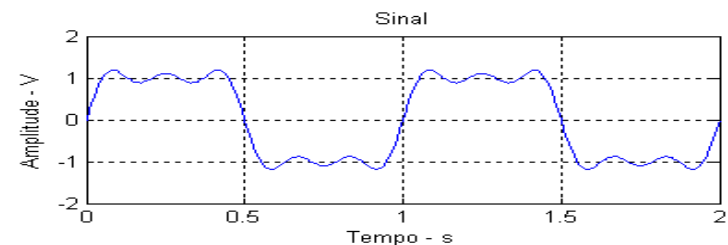
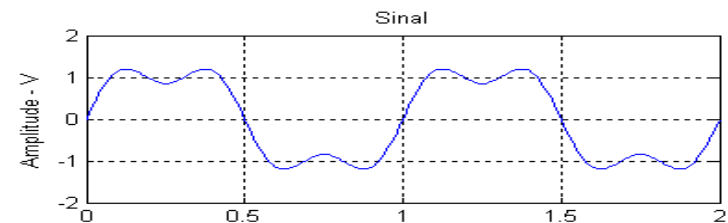
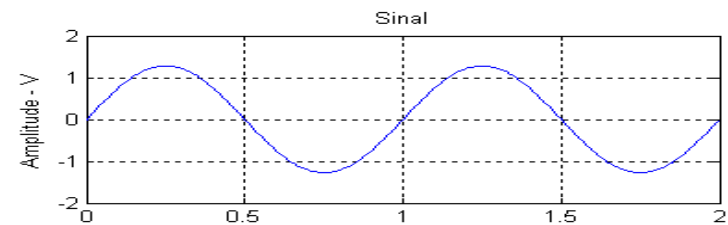
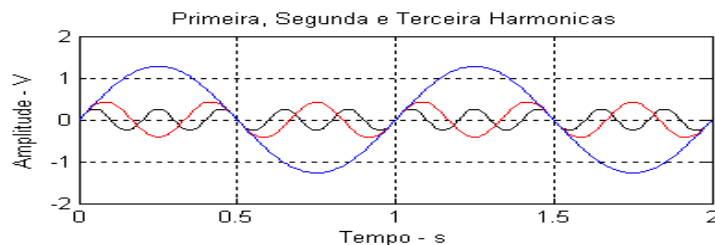
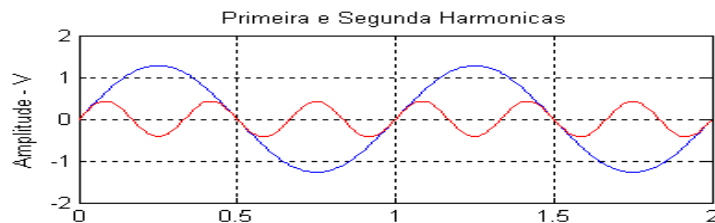
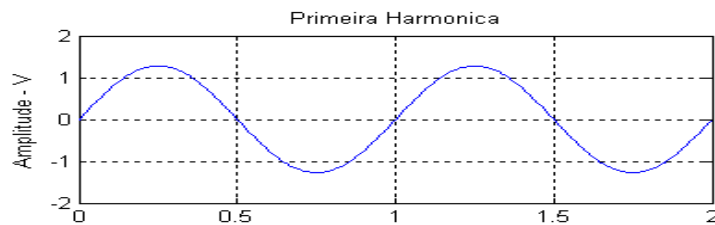
Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

# Série de Fourier, Onda Quadrada e Nyquist

$$x_{\text{quadrado}}(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin((2k-1)t)}{(2k-1)}$$

```
>> t=0:1/100:2;  
>> x=4/pi*(sin(2*pi*1*t)/1+sin(3*2*pi*1*t)/3+sin(5*2*pi*1*t)/5);  
>> plot(t,x)
```





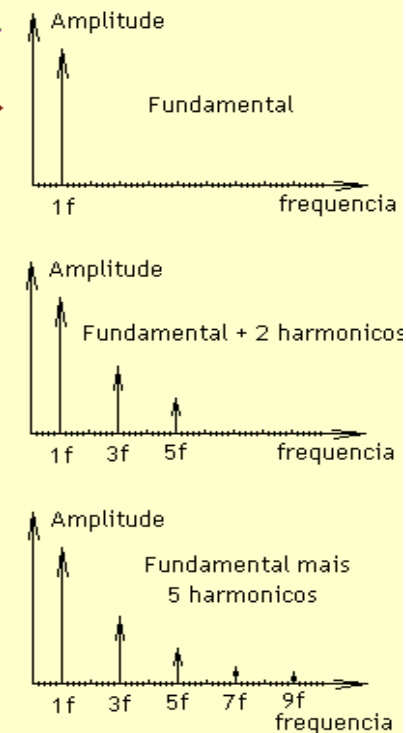
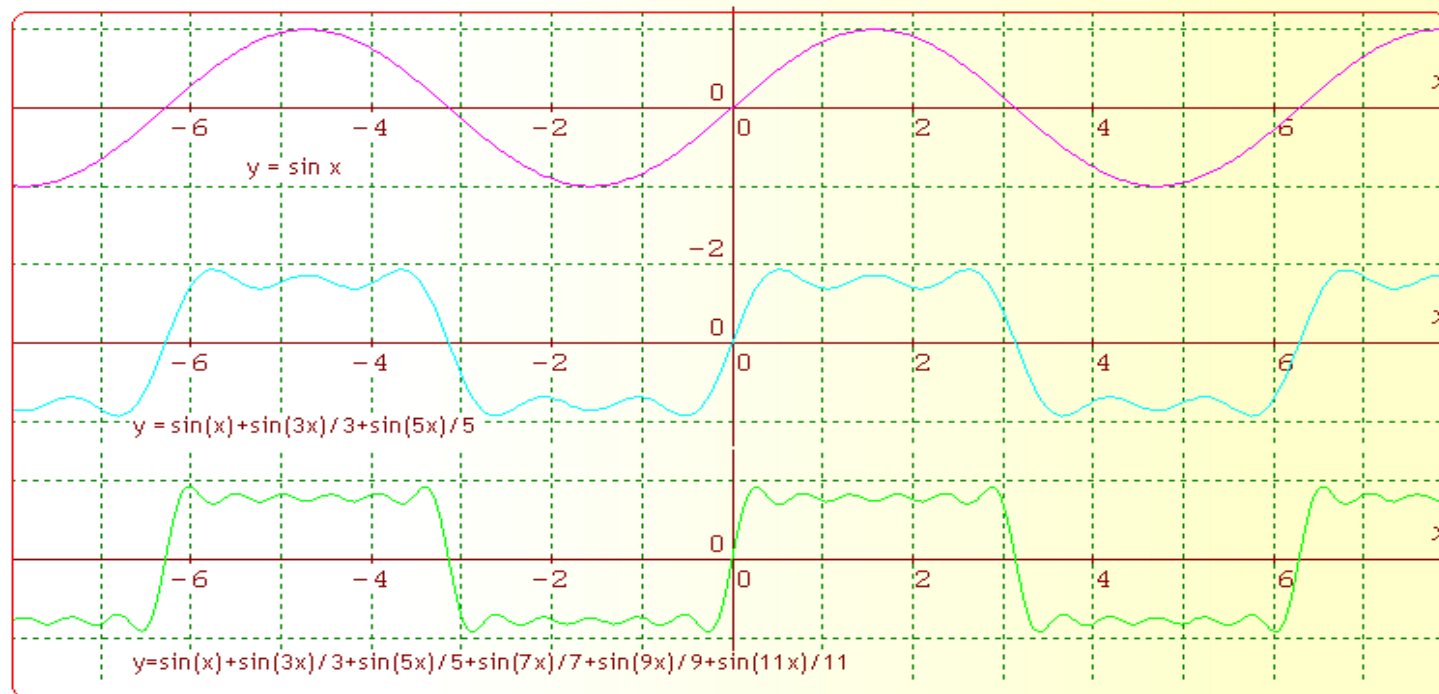
Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

# Série de Fourier, Onda Quadrada e Nyquist

$$x_{\text{quadrado}}(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin((2k-1)t)}{(2k-1)}$$

```
>> t=0:1/100:2;  
>> x=4/pi*(sin(2*pi*1*t)/1+sin(3*2*pi*1*t)/3+sin(5*2*pi*1*t)/5);  
>> plot(t,x)
```







Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

# Transformada de Fourier e Nyquist

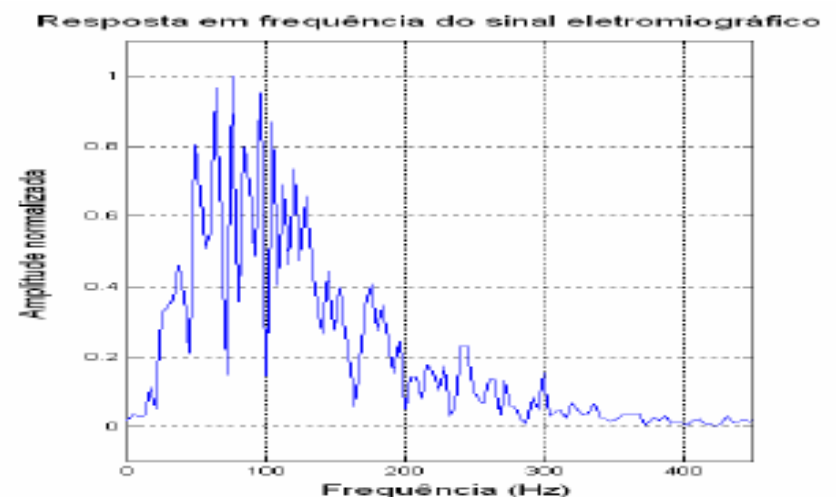
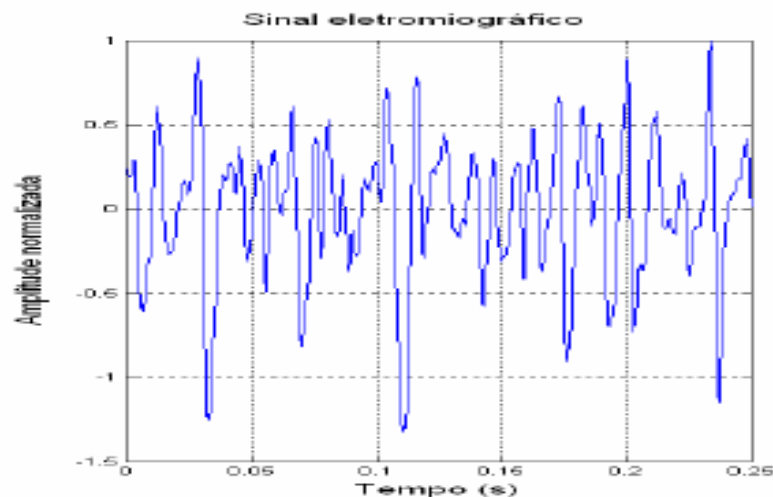
## Transformada contínua de Fourier

$$f(t) = \mathcal{F}^{-1}(F(\omega)) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega.$$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

## Transformada discreta de Fourier

$$x_k = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} f_j e^{\frac{2\pi i}{n} jk} \quad k = 0, \dots, n-1 \quad f_j = \sum_{k=0}^{n-1} x_k e^{-\frac{2\pi i}{n} jk} \quad j = 0, \dots, n-1$$



Sinal no tempo e na frequência para o músculo bíceps braquial, com contração isométrica e utilizando o eletromiógrafo Bagnoli - 2 da Delsys.

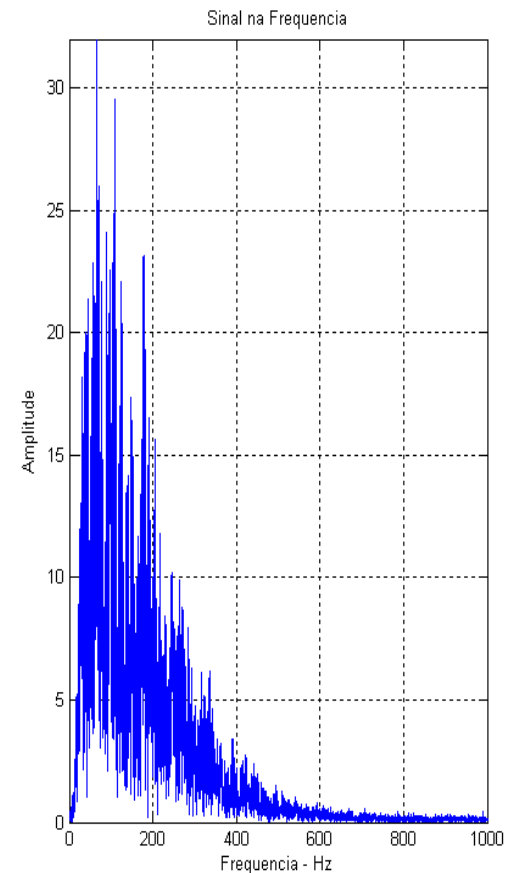
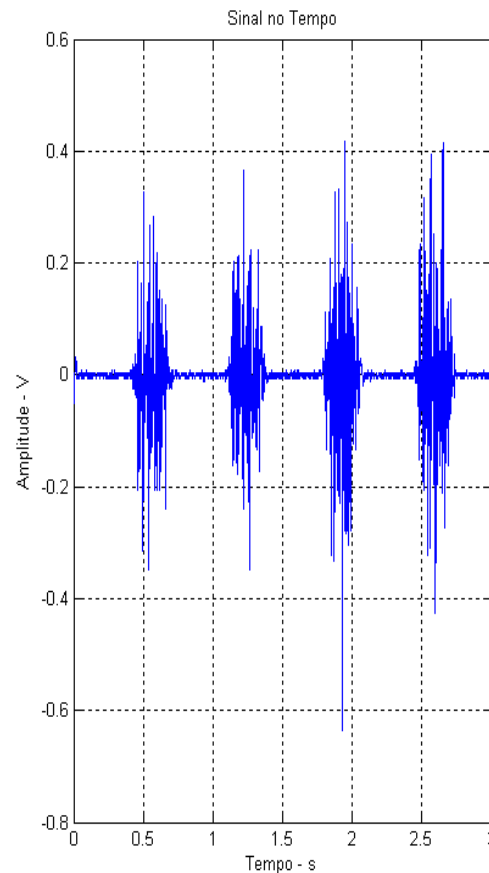


Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

# Transformada de Fourier e Nyquist

```
>> fs=2000;  
>> t=0:1/fs:(length(emg)-1)/fs;  
>> subplot(1,2,1)  
>> plot(t,emg)  
>> grid  
>> title('Sinal no Tempo')  
>> xlabel('Tempo - s')  
>> ylabel('Amplitude - V')  
>> subplot(1,2,2)  
>> f=(0:length(emg)-1)*fs/length(emg);  
>> EMG=abs(fft(emg));  
>> plot(f,EMG)  
>> grid  
>> title('Sinal na Frequencia')  
>> xlabel('Frequencia - Hz')  
>> ylabel('Amplitude')  
>> axis([0 fs/2 0 max(EMG)])
```





Lato Sensus

ENGENHARIA CLÍNICA

## Teorema de Nyquist, Novamente!!!

---



“Se um sinal for amostrado com, no mínimo, o dobro da máxima frequência nele contida, ele poderá ser recuperado integralmente.”

*(Teorema da Amostragem ou Teorema de Nyquist)*



*Lato Sensus*

ENGENHARIA CLÍNICA

Obrigado pela Atenção

Prof. Marcelino Andrade  
Universidade de Brasília - UnB  
andrade@unb.br

