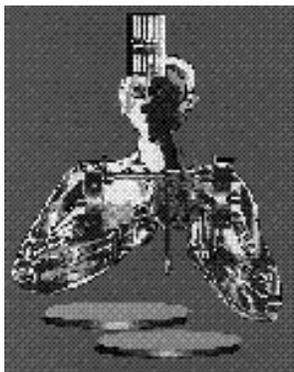




Workshop sobre Engenharia de Reabilitação

Prof. Teodiano Freire Bastos Filho, Ph.D.



Eng. Eletricista, UFES/1987

Dr. Em Ciências Físicas, UCM-Espanha/1995

Pós-Doutorado em Interfaces Cérebro-Computador, UAH/Espanha, 2005

Pós-Doutorado em Próteses de Membro Superior, RMIT University/Austrália, 2012

Laboratório de Automação Inteligente (LAI)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE)

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Vitória-ES



tfbastos@ele.ufes.br

<http://www.ele.ufes.br/~tfbastos>

Definição: Engenharia de Reabilitação

♿ **A Engenharia de Reabilitação é a profissão ou atividade orientada para a aplicação da ciência e da tecnologia na melhoria da qualidade de vida das pessoas com deficiência e idosos, envolvendo a funcionalidade humana, a acessibilidade e a aplicação de qualquer tipo de tecnologia**

♿ **O Engenheiro de Reabilitação é um dos vários profissionais envolvidos no processo de reabilitação de pessoas**

♿ **O Engenheiro de Reabilitação possui determinadas características que o diferenciam de outros profissionais envolvidos no uso de tecnologias assistivas, tais como:**

1. Especialização em Engenharia: envolve treino e/ou experiência no uso de princípios de engenharia apropriados a uma tarefa particular
2. Especialização Técnica: inclui conhecimento e compreensão das tecnologias assistivas disponíveis e dos seus princípios operacionais
3. Especialização em Projeto: envolve a aplicação sistemática dos princípios de engenharia e conhecimentos técnicos para o desenvolvimento de soluções inovadoras para desafio técnicos de reabilitação

♿ **As áreas tecnológicas onde se prevê que os Engenheiros de Reabilitação atuem são:**

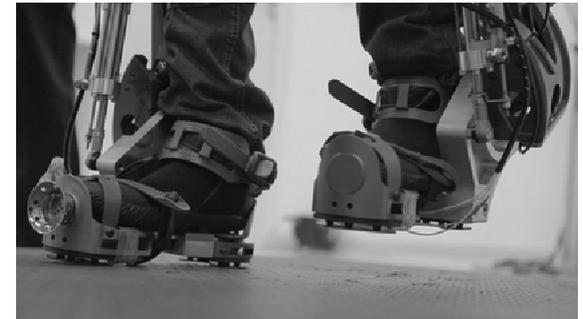
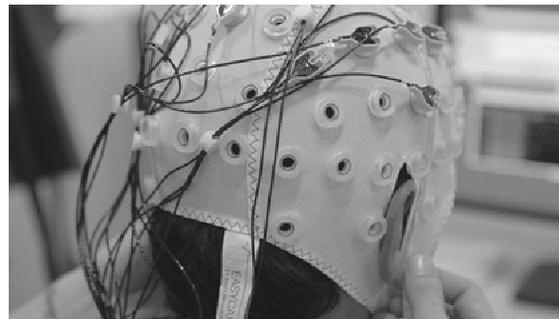
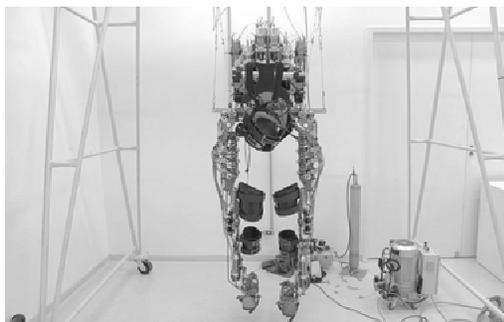
- adaptação de automóveis, recreação adaptada, comunicação alternativa e aumentativa, acesso ao computador, controle ambiental, estimulação elétrica, modificações residenciais, tecnologias para a mobilidade, próteses e órteses, robótica, sistemas de posicionamento, cuidados pessoais, ajudas sensoriais

Definição: Robótica de Reabilitação

- A Robótica de Reabilitação é uma área de pesquisa dedicada a entender e melhorar o processo de reabilitação de pessoas através da aplicação de dispositivos robóticos
- A Robótica de Reabilitação inclui o desenvolvimento de dispositivos robóticos para auxiliar diferentes funções motoras (braços, mãos, pernas, etc), desenvolvimento de diferentes esquemas de terapias de reabilitação, avaliação de desempenho sensorio-motor (capacidade de mover) do paciente
- O Robô ou Plataforma Robótica é utilizado principalmente como ajuda terapêutica em vez de dispositivo assistivo
- É indicado para melhorar o processo de reabilitação de pessoas com deficiência ou que sofreram algum trauma (por exemplo, derrame, danos na coluna espinhal, paralisia cerebral, tremor, etc) e necessitam se reestabelecer e recuperar o funcionamento normal de algum membro

Exoesqueleto Robótico (Miguel Nicolelis)

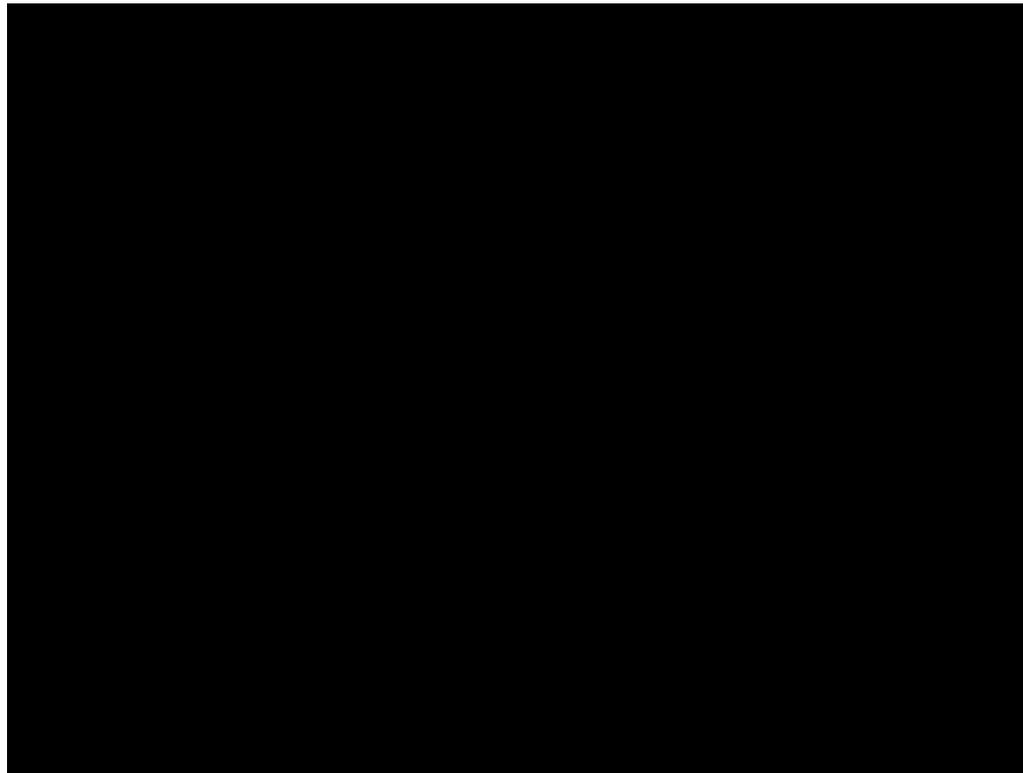
- Exoesqueleto controlado por sinais cerebrais, para permitir a uma pessoa com deficiência motora severa caminhar de forma autônoma
- Um gorro de eletrodos detecta a intenção motora do usuário, e sensores nos pés detectam o contato com o solo
- Após o reconhecimento da intenção motora, o exoesqueleto executa o movimento imaginado pelo usuário



Vídeo

Exoesqueleto Robótico (Miguel Nicolelis)

- Testes realizados com pessoa paraplégica
- Este é o oitavo paciente a utilizar o exoesqueleto. O primeiro voluntário a utilizar o equipamento, chamado de BRA-Santos Dumont 1, deu 18 passos e três chutes
- O grupo de pesquisa envolve mais de 100 cientistas em dois continentes



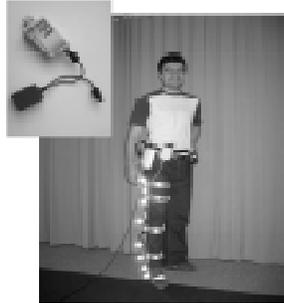
Exoesqueleto Japonês (Cyberdyne Power)

Vídeo

Lokomat (Re-Aprendizagem Motora)

Vídeo

Robôs de Reabilitação (CSIC/Espanha)



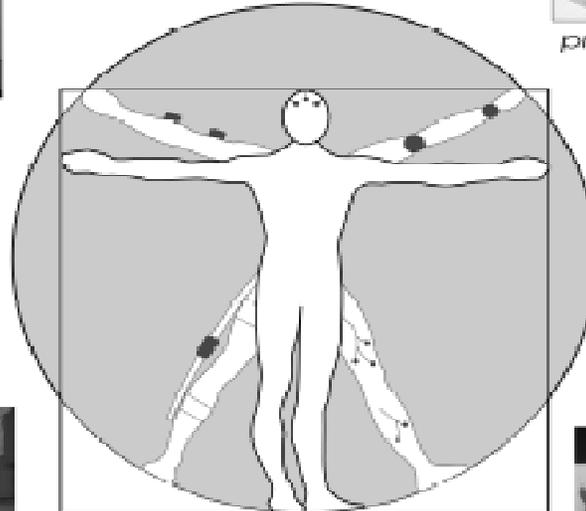
estudio del movimiento



análisis actividad cerebral



prótesis mecánicas



ortesis robóticas



vehículos para discapacidad cognitiva

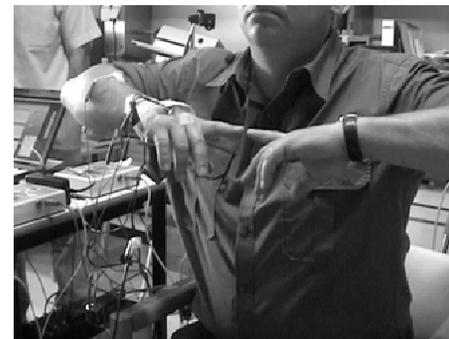
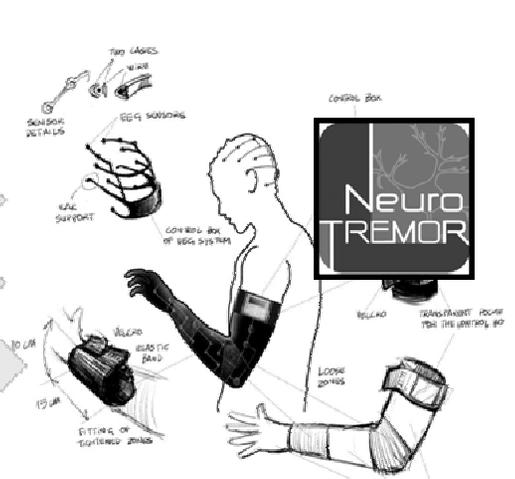
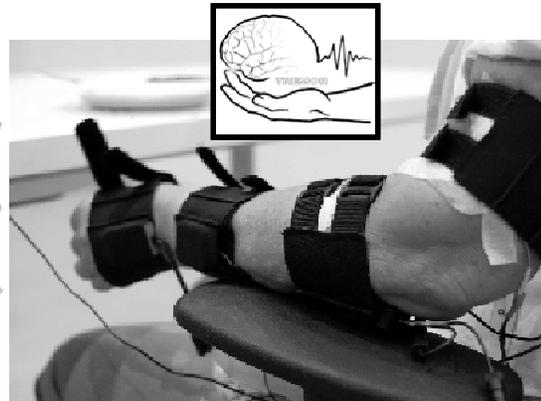


neuroprótesis bioeléctricas

Robôs de Reabilitação (CSIC/Espanha)



Exoesqueleto Robótico para Pessoas com Parkinson



off medication
off stimulation

off medication
on stimulation (130 Hz)



Gait
Smart compensator



Esbirro
Limit cycle walker



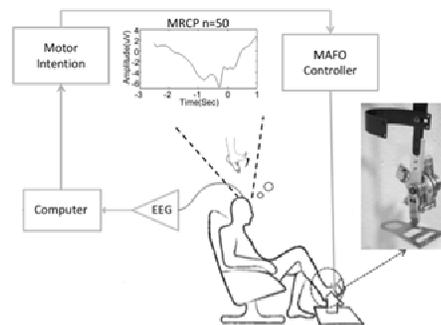
Kinesis
Hybrid gait trainer



Better
EEG/EMG driven exos



H2
6 DoF exo



Exoesqueleto Robótico para Reabilitação



Robótica para Reabilitação de Crianças com Paralisia Cerebral



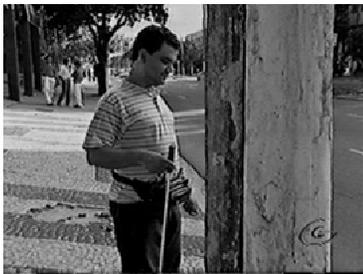
Grupo de Pesquisa da UFES

- Richard Tello, Estudante de Doutorado
- Anibal Cotrina, Estudante de Doutorado
- Denis Deslile, Estudante de Doutorado
- Cecilia Villa, Estudante de Doutorado
- John Mayor, Estudante de Doutorado
- Regina Mamede, Estudante de Doutorado
- Arlindo Neto, Estudante de Doutorado
- Claudinei Chamorro, Estudante de Doutorado
- Carlos Valadão, Estudante de Doutorado
- Carlos Cifuentes, Estudante de Doutorado
- Javier Castillo, Estudante de Mestrado
- Nicolás Valencia, Estudante de Mestrado
- Christiane Goulart, Estudante de Mestrado
- Berthil Longo, Estudante de Mestrado
- Flavia Loureiro, Estudante de Mestrado
- Alexandre Pomer, Estudante de Mestrado

Financiamento

- Prefeitura de Vitória
- Governo do Estado do Espírito Santo
- CAPES
- CNPQ

Grupo de Pesquisa em Tecnologia Assistiva da UFES



**Sensores Ultrassônicos para
Pessoas Cegas**



**Prótese Multisensorial de
Membro Superior**



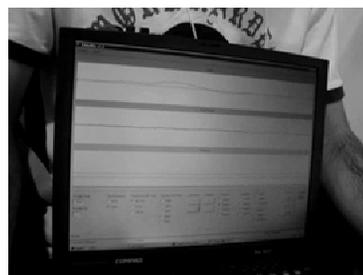
**Robô Móvel para
Interação com Crianças com
Deficiência e Autismo**



**Cadeira de Rodas Robótica
em Modo Autônomo**



**Cadeira de Rodas Robótica
Comandada por Sopro/Sucção**



**Cadeira de Rodas Robótica
Comandada por Piscadas
de Olhos**



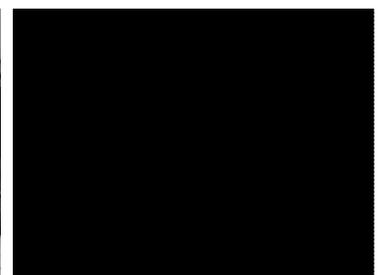
**Cadeira de Rodas Robótica
Comandada por Movimento
do Globo Ocular**



**Cadeira de Rodas Robótica
Comandada por Movimentos
de Cabeça**

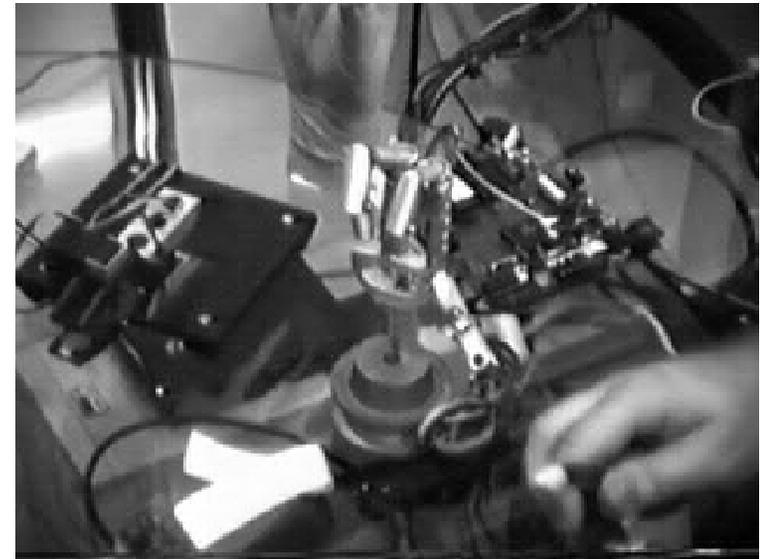
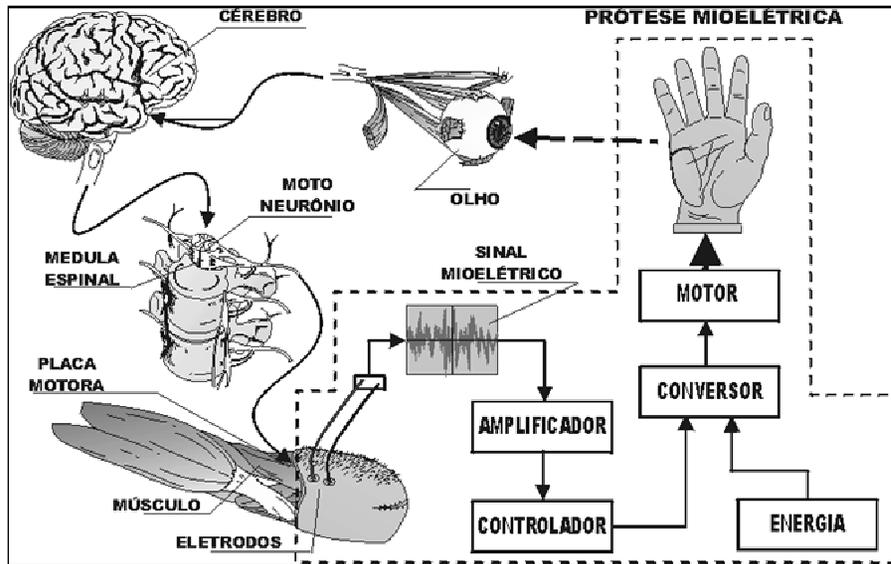


**Cadeira de Rodas Robótica
Comandada por Sinais
Cerebrais**

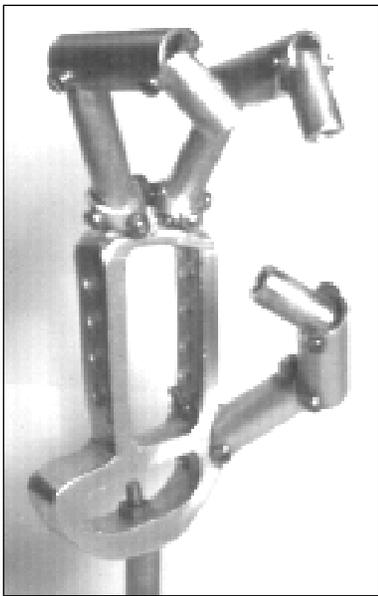


**Andador Robótico de Ajuda
a Pessoas Idosas ou com
Deficiência**

Prótese Robótica de Membro Superior



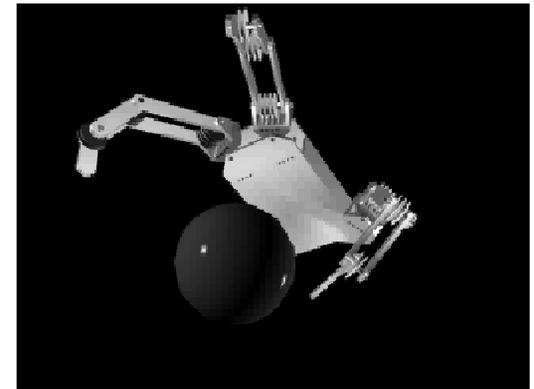
Sistemas Multi-Robôs (Mão Artificial)



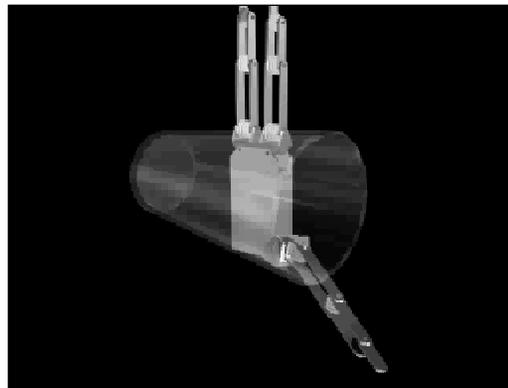
Mão com 13 Graus de Liberdade



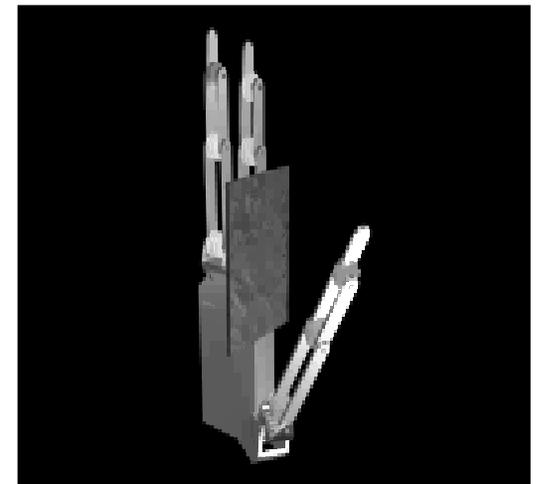
Mão com 12 Graus de Liberdade



Pinça Tridigital



Garra de Força

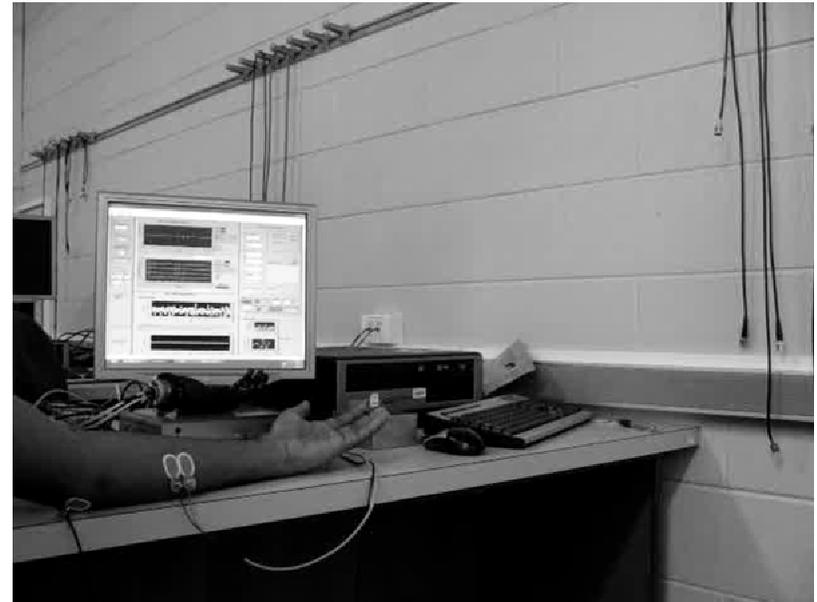


Garra Composta

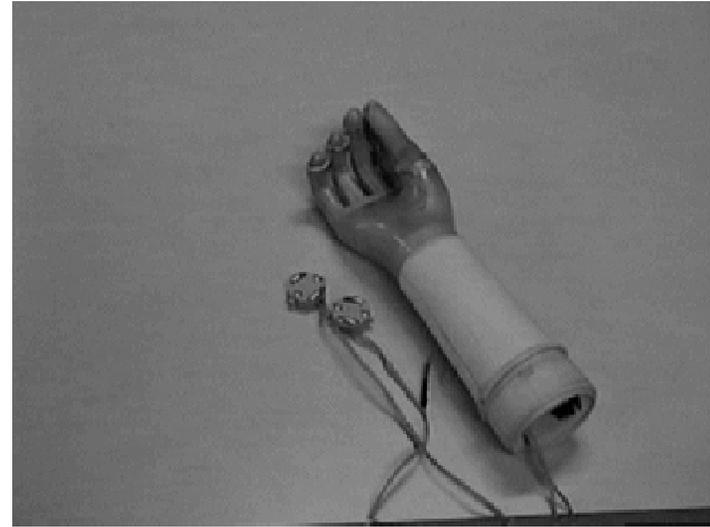
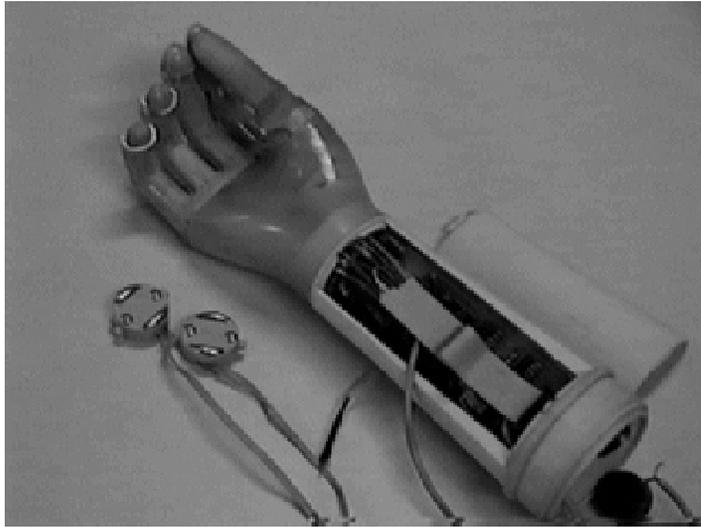
Desenvolvimento de Software de Mão Virtual e Controle de Prótese de Mão



Vídeo



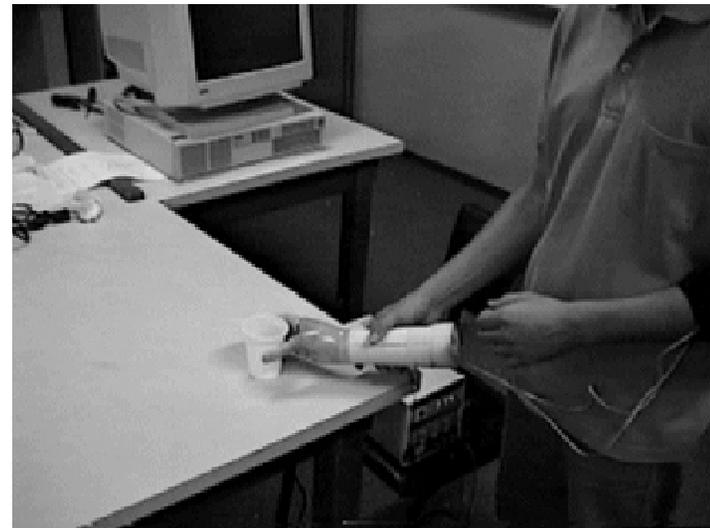
Prótese Mioelétrica



- A prótese de membro superior construída possui um microcontrolador PIC, eletrônica de acionamento da mão artificial, e os seguintes sensores:
- Mioelétrico
- Temperatura (sensores KTY e rede de linearização) $T = 84V - 144$ (°C)
- Força e Deslizamento (sensores FSR) $R = 1.3 \times 10^6 F^{-0.9}$ (Ω)
- Nível de Bateria (rede de resistores)

Prótese Mioelétrica

- Microcontrolador PIC adquire informações dos sensores e controla a mão artificial
- Se a temperatura estiver acima de 45°C , o usuário é alertado (por vibradores). Se a temperatura estiver acima de 60°C , o controlador não permite o fechamento da mão artificial
- Se o objeto começar a deslizar ao ser levantado pela mão artificial, o controlador exerce mais força sobre o objeto até que ele deixe de deslizar



Pochete Ultrassônica



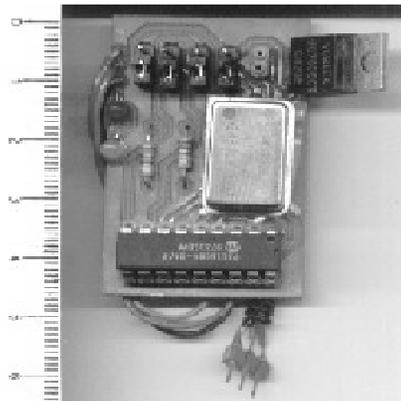
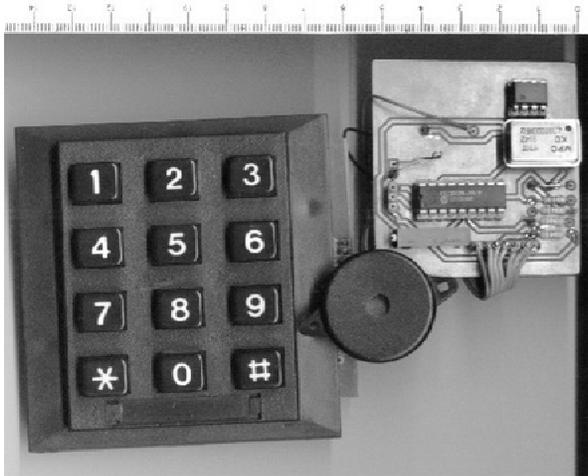
- Pochete para deficientes visuais
- Dotado de sensores de ultra-som
- Permite a detecção de obstáculos, até a altura do tórax
- Ajuda à mobilidade do deficiente visual
- Operado por baterias recarregáveis
- Utiliza dois vibradores para alertar sobre a existência de obstáculos

Colete Ultrassônico



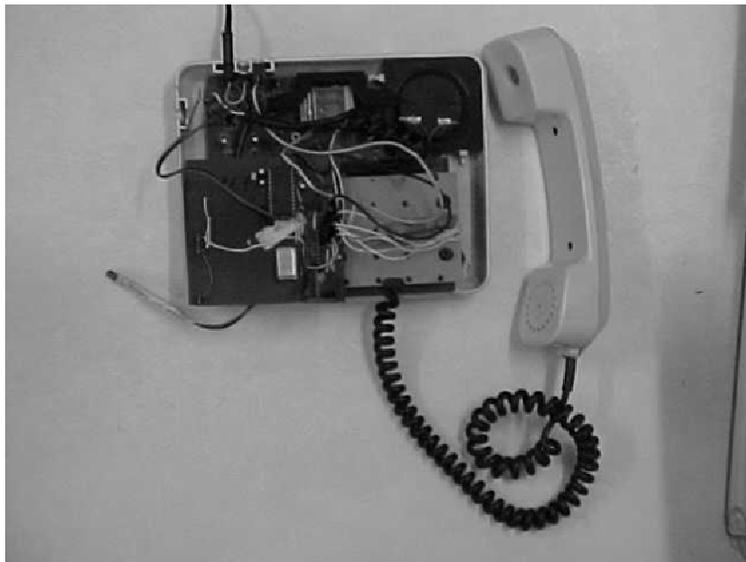
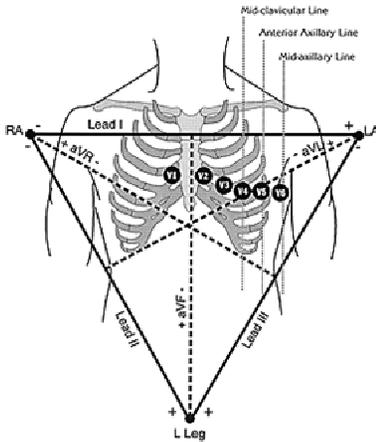
- **Colete para deficientes visuais**
- **Dotado de sensores de ultra-som**
- **Permite a detecção de obstáculos, inclusive suspensos**
- **Ajuda à mobilidade do deficiente visual**
- **Operado por baterias recarregáveis**
- **Utiliza dois vibradores para alertar sobre a existência de obstáculos**

Comunicação Deficiente Visual - Motorista Ônibus



- O deficiente visual, ao chegar no ponto de ônibus, aciona o transmissor de rádio-frequência
- O motorista de ônibus urbano saberá com antecedência (distância < 150 m) a existência de um deficiente visual no próximo ponto de ônibus
- Proporciona independência ao deficiente visual
- Circuito baseado no PIC16C84

Monitoramento de Batimentos Cardíacos



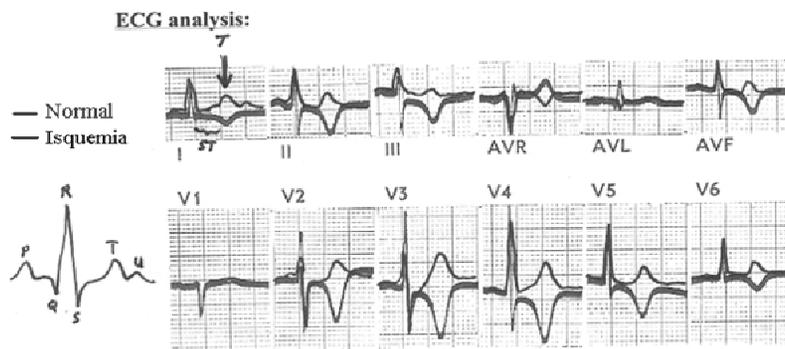
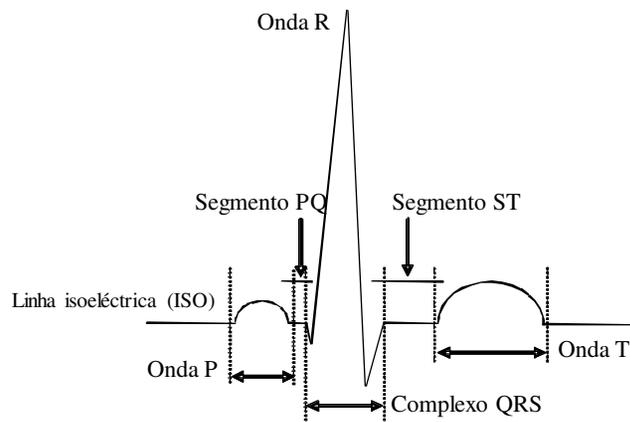
• Sistema Monitor composto de:

- Microcontrolador PIC16F870
- *Link* de RF de até 40 kbps
- Determinação da frequência através da detecção do complexo QRS
- Utiliza a variação do sinal para a localização do complexo QRS, utilizando as derivações V2 e V6

• Sistema Fixo composto de:

- Número de socorro programável pelo usuário
- Aviso sonoro em caso de Sistema Monitor fora de alcance

Sistema de Detecção On-line de Infarto do Miocárdio Usando Modelos Ocultos de Markov (HMM - Hidden Markov Models)



- A detecção de isquemia do miocárdio requer a segmentação prévia dos sinais de ECG para o diagnóstico
- É detectada através do desvio do nível do segmento ST em relação ao nível do segmento PQ
- A vantagem de utilizar Modelos Ocultos de Markov (HMM) se deve a que é mais facilmente adaptável às novas condições do sinal
- Assim, o uso de HMM melhora o desempenho do sistema

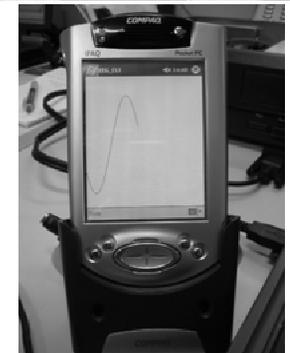
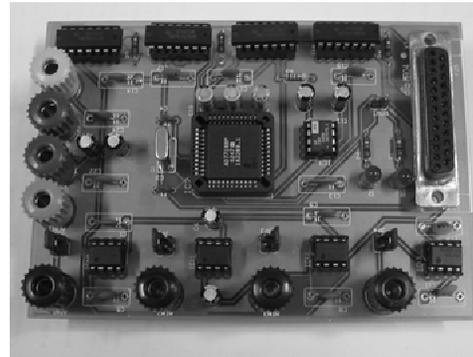
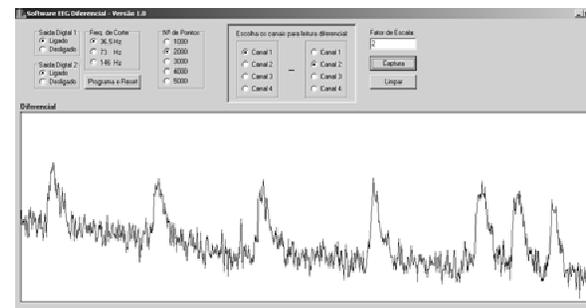
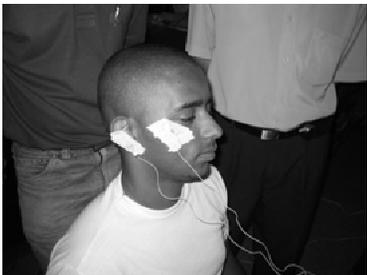
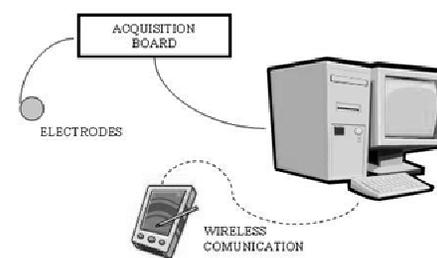
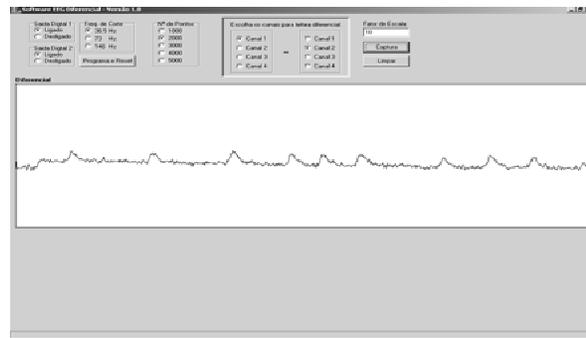
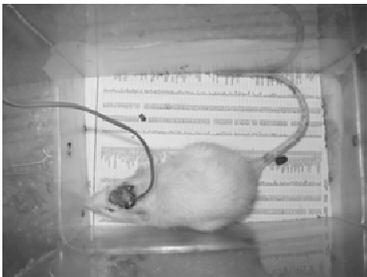
Determinação da Ativação Muscular de Indivíduos com Relato de Lombalgia



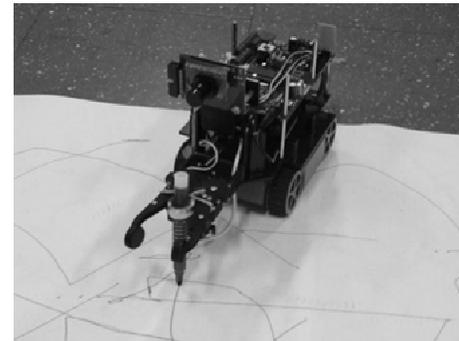
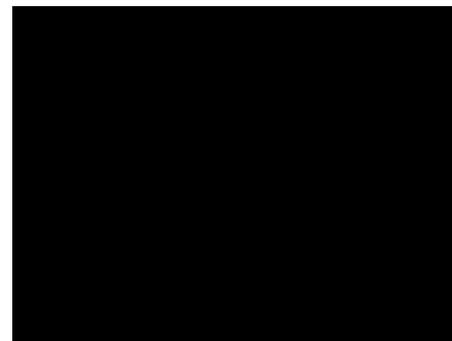
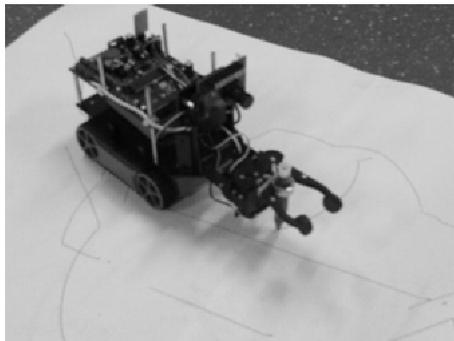
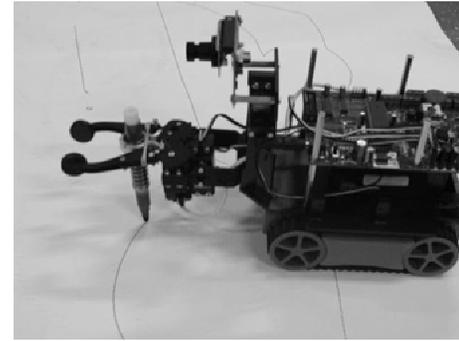
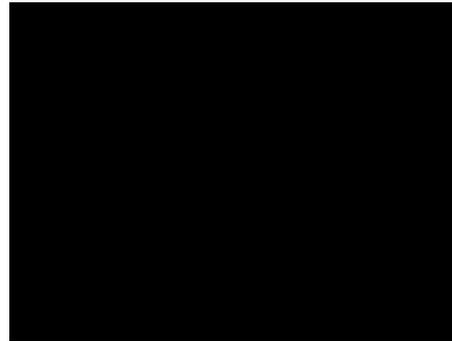
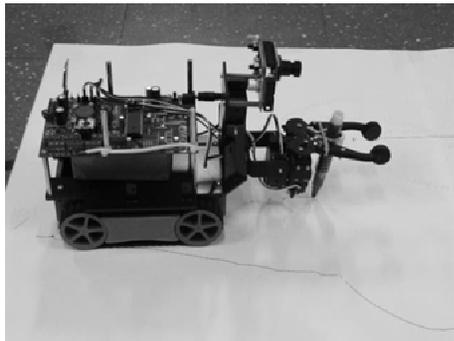
- Pretende-se utilizar o critério funcional de Julie M. Fritz para entender a biomecânica característica das diversas classificações propostas por meio da avaliação do sinal mioelétrico e da imagem ultrassônica dos músculos extensores da coluna lombar por grupo de classificação para avaliação das atividades dos músculos da coluna vertebral

Processamento de Sinais Biomédicos - Trabalhos da UFES -

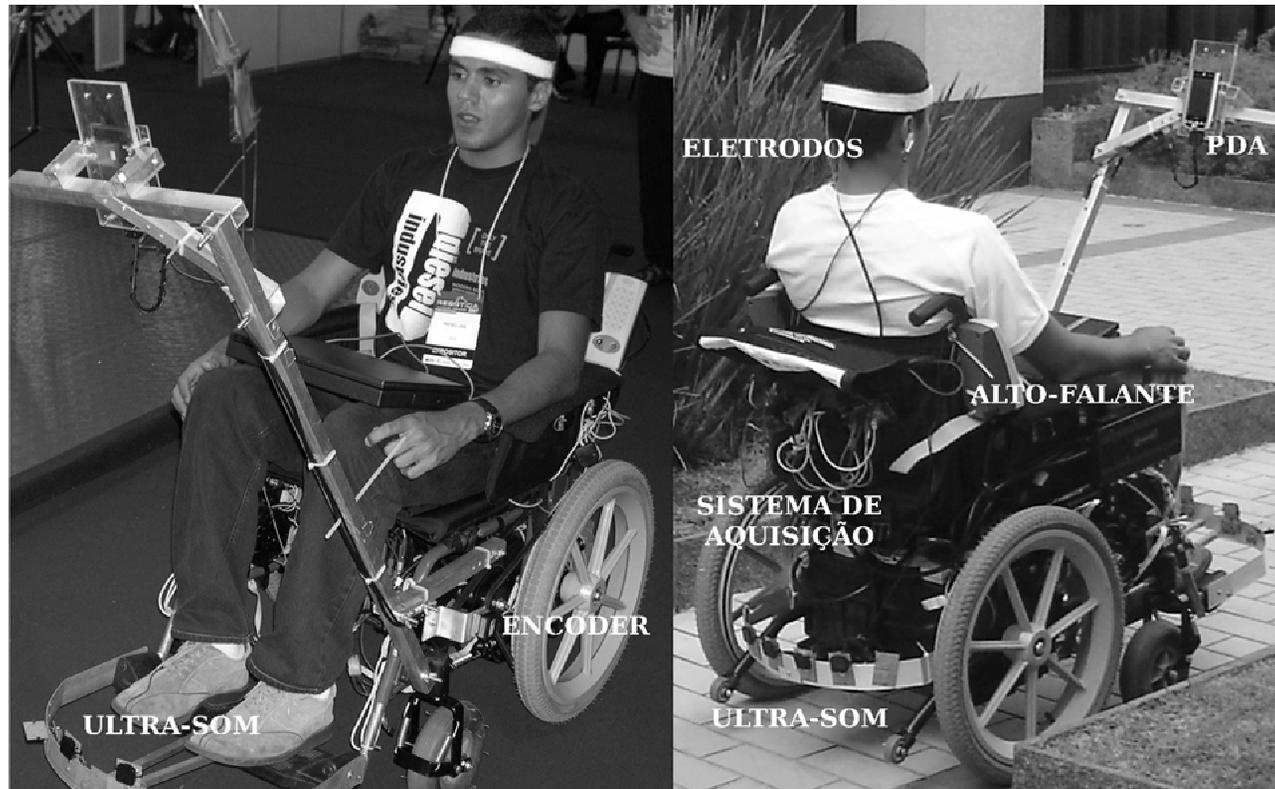
- Construção de uma placa de aquisição de sinais biomédicos, baseada no chip AD7716, da Analog Devices
- Desenvolvimento de um software para aquisição de sinais biomédicos, com representação gráfica, on-line, em PC ou PDA (IPAQ, da HP)
- Realização de experimentos com ratos de laboratório e com voluntários



Robô Comandado por Sinais Biomédicos de Crianças com Deficiência



Cadeira de Rodas Robótica da UFES



PDA da Cadeira de Rodas Robótica

- PDA (Personal Digital Assistant)



Seleção de Destino

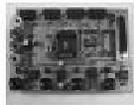


Sensores da Cadeira de Rodas Robótica

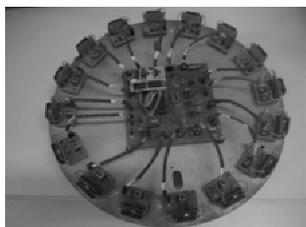
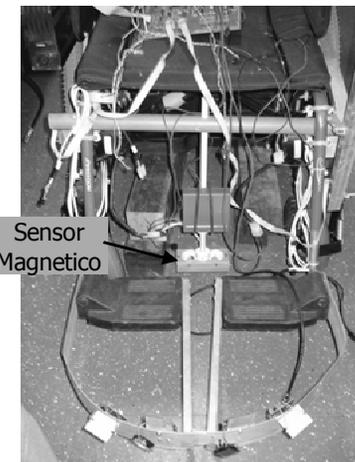
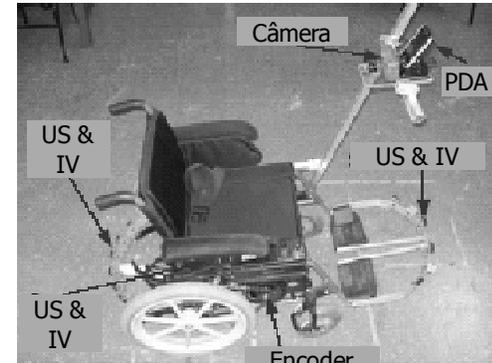
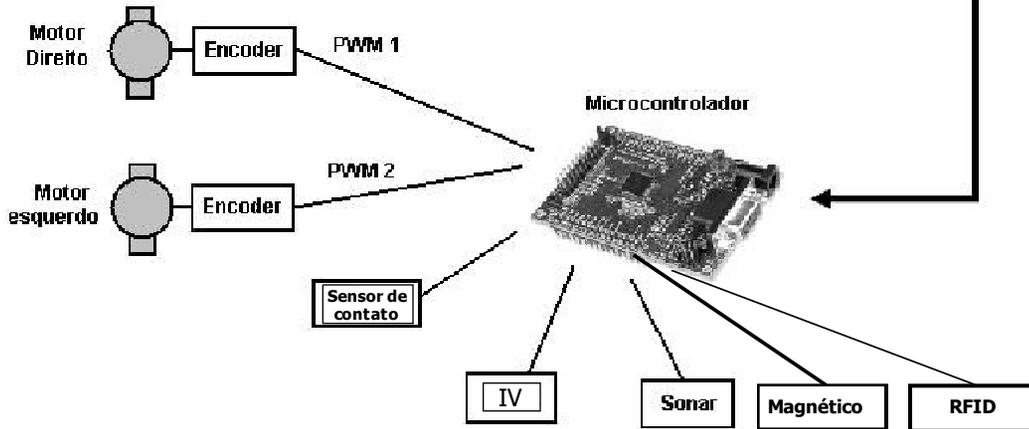
Touca de Eletrodos



Condicionamento do Sinal

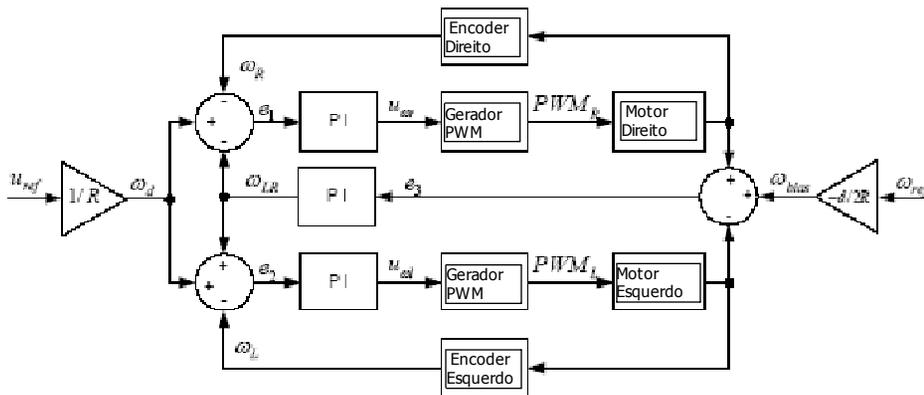


Serial



Controle de Baixo Nível da Cadeira de Rodas

-Implementado no MSP430-

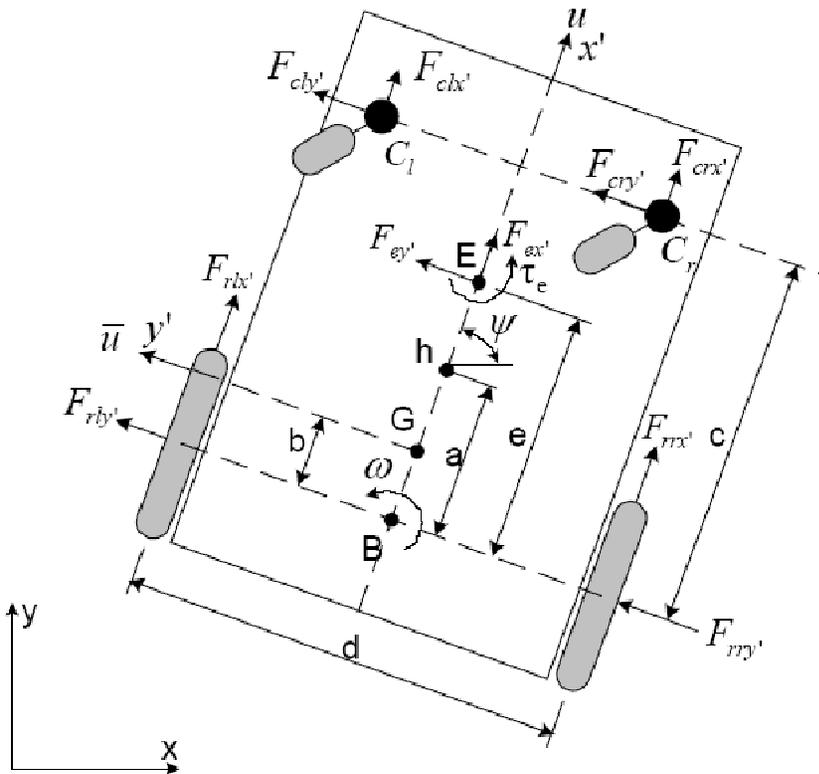


$$\omega_d = \frac{u_{ref}}{R}$$

$$\omega_{bias} = \frac{-(d/2)\omega_{ref}}{R}$$

- ω_{Lref} : Velocidade de referência da roda esquerda
- ω_{Rref} : Velocidade de referência da roda direita
- u_{ref} : Velocidade linear da cadeira de rodas
- ω_{ref} : Velocidade angular da cadeira de rodas
- R : Raio das rodas
- d : Distância entre as rodas
- $u_{\omega L}$: Ações de controle para a roda esquerda
- $u_{\omega R}$: Ações de controle para a roda direita
- ω_L : Velocidade da roda esquerda
- ω_R : Velocidade da roda direita

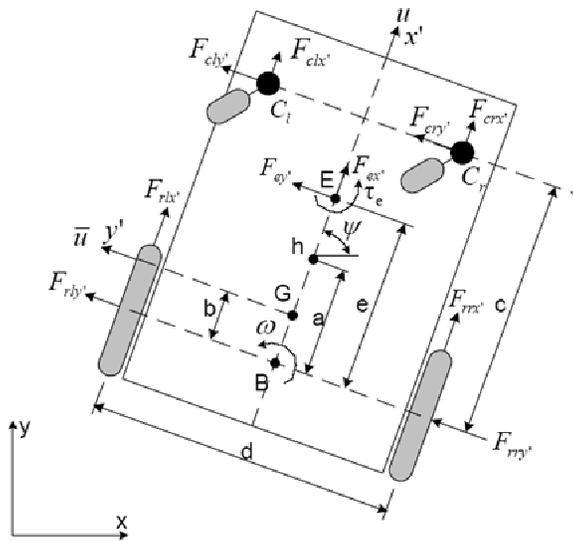
Modelagem da Cadeira de Rodas



- G : centro de massa
- B : centro da linha que une as rodas
- $h=[x \ y]^T$: ponto de referência para o seguimento de caminhos
- u e \bar{u} : velocidades longitudinal e lateral do centro de massa
- ω e ψ : velocidade angular e orientação
- d , b , a , e e c : distâncias
- $F_{rrx'}$ e $F_{rry'}$: forças longitudinal e lateral sobre a roda direita
- $F_{rlx'}$ e $F_{rly'}$: forças longitudinal e lateral sobre a roda esquerda
- $F_{clx'}$ e $F_{cly'}$: forças longitudinal e lateral sobre C_l devido à roda livre esquerda
- $F_{crx'}$ e $F_{cry'}$: forças longitudinal e lateral sobre C_r devido à roda livre direita
- $F_{ex'}$ e $F_{ey'}$: forças longitudinal e lateral sobre E devido ao corpo do usuário sentado na cadeira de rodas
- τ_e : momento devido ao corpo do usuário sentado sobre a cadeira de rodas

Modelagem Dinâmica da Cadeira de Rodas

Modelo Matemático



$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\psi} \\ \dot{u} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \cos \psi - a \omega \sin \psi \\ u \sin \psi + a \omega \cos \psi \\ \omega \\ \frac{\bar{\theta}_3^0}{\bar{\theta}_1^0} \omega^2 - \frac{\bar{\theta}_4^0}{\bar{\theta}_1^0} u \\ -\frac{\bar{\theta}_5^0}{\bar{\theta}_2^0} u \omega - \frac{\bar{\theta}_6^0}{\bar{\theta}_2^0} \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{ref} \\ \omega_{ref} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ 0 \\ \bar{\delta}_u \\ \bar{\delta}_\omega \end{bmatrix}$$

Parâmetros identificados e não-identificados

$$\bar{\theta}^0 = [\bar{\theta}_1^0 \quad \bar{\theta}_2^0 \quad \bar{\theta}_3^0 \quad \bar{\theta}_4^0 \quad \bar{\theta}_5^0 \quad \bar{\theta}_6^0]^T$$

$$\delta = [\delta_x \quad \delta_y \quad 0 \quad \bar{\delta}_u \quad \bar{\delta}_\omega]^T$$

Modelagem Dinâmica da Cadeira de Rodas

Parâmetros podem mudar!

$$\bar{\theta}_1^0 = (\theta_1^0 + 2rk_{DT}) / (2rk_{PT}) \quad \bar{\theta}_2^0 = (\theta_2^0 + 2rdk_{DR}) / (2rdk_{PR})$$

$$\bar{\theta}_3^0 = \theta_3^0 R_T / (2k_{PT}) \quad \bar{\theta}_4^0 = \theta_4^0 / (rk_{PT}) + 1$$

$$\bar{\theta}_5^0 = \theta_3^0 R_T / (dk_{PR}) \quad \bar{\theta}_6^0 = \theta_4^0 d / (2rk_{PR}) + 1$$

$$\theta_1^0 = \frac{R_a}{k_a} (mR_T r + 2I_e), \quad \theta_2^0 = \frac{R_a}{k_a} (I_e d^2 + 2R_T r (I_z + mb^2))$$

$$\theta_3^0 = \frac{R_a}{k_a} mb, \quad \theta_4^0 = \frac{R_a}{k_a} \left(\frac{k_a k_b}{R_a} + B_e \right)$$

- Identificação de parâmetros do modelo dinâmico Video e Video2

Controle de Alto Nível da Cadeira de Rodas

-Controle Dinâmico Adaptativo-

Incerteza nos parâmetros

$$\tilde{\theta}^0 \neq 0 \Rightarrow \theta^0 = \hat{\theta}^0 - \tilde{\theta}^0$$

Lei de controle:

$$\bar{u} = G\hat{\theta}^0 = G\theta^0 + G\tilde{\theta}^0$$

Onde:

$$\bar{u} = \begin{bmatrix} u_{ref} & \omega_{ref} \end{bmatrix}^T \quad G = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & -\omega^2 & u & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 & 0 & u\omega & \omega \end{bmatrix}$$

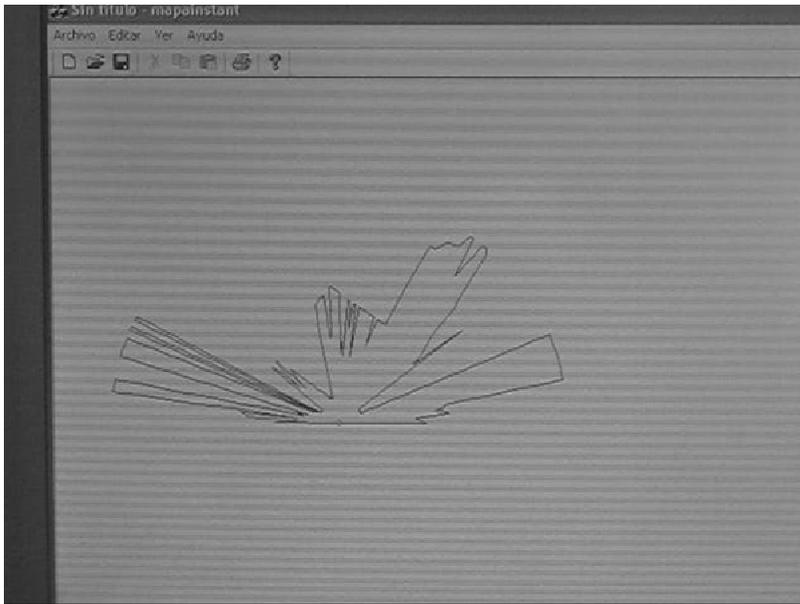
$$\dot{u} = \dot{u}_d + k_u \tilde{u} = \sigma_1, \quad k_u > 0,$$

$$\dot{\omega} = \dot{\omega}_d + k_\omega \tilde{\omega} = \sigma_2, \quad k_\omega > 0,$$

Cadeira de Rodas em Modo Autônomo

- Utilizando Sensores Laser -

Funcionamento da Cadeira de Rodas Robótica em Modo Autônomo com Sensor Laser

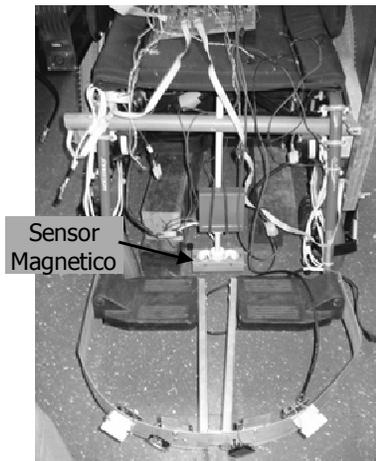


Cadeira de Rodas Auto-Guiada Através de Seguimento de Trilha Metálica

- Utilizando Sensores Magnéticos
e RFID -

Seguimento de Trilhas Metálicas

- A Cadeira de Rodas Robótica da UFES pode seguir trilhas metálicas instaladas no ambiente
- São utilizados sensores magnéticos existentes na cadeira de rodas
- O ambiente possui etiquetas RFID, e a cadeira possui um leitor de RFID que os identifica

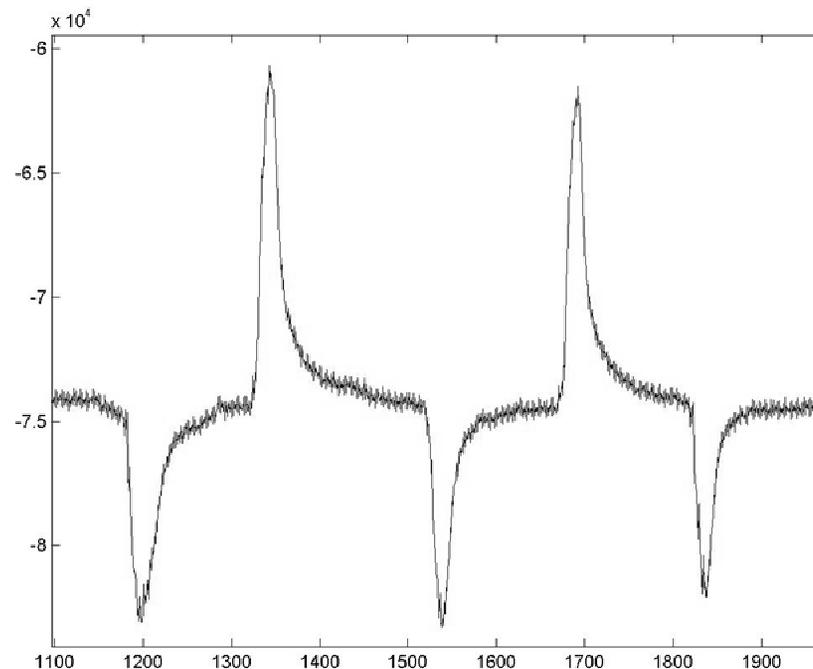


Comando da Cadeira de Rodas Robótica por Piscadas de Olhos

(Sinais Mioelétricos – sEMG)

Comando por Piscadas de Olhos (sEMG)

- Os sinais sEMG (mioelétricos de superfície) são produzidos pela soma do potencial de ação gerado por cada fibra muscular na superfície humana, e estão relacionados às contrações musculares
- Os sinais EMG apresentam curta duração temporal (2 a 10 ms), baixa amplitude (0,1 a 50 mV) e largura de banda de 0 a 35 Hz (energia mais concentrada de 0,15 a 5 Hz)



Processamento do Sinal sEMG

- Pré-processamento

1. Normalização



$$y_0(n) = \frac{y(n)}{\max |y(n)|}$$

2. Derivada de Pan-Tompkins



$$y_1(n) = \frac{1}{8} [2y_0(n) - y_0(n-1) - y_0(n-3) + 2y_0(n-4)]$$

3. Energia da derivada



$$y_2(n) = [y_1(n)]^2$$

4. Janela móvel

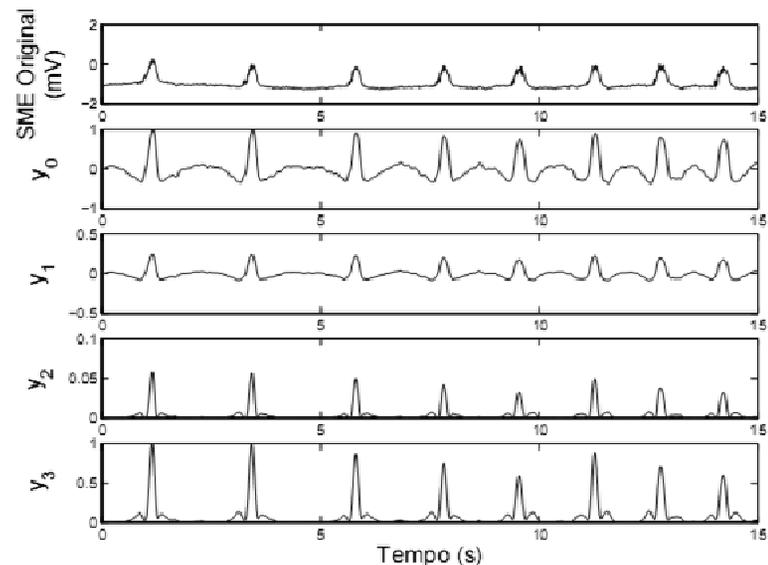


$$y_3(n) = \frac{1}{N} [y_2(n-(N-1)) + y_2(n-(N-2)) + \dots + y_2(n)]$$

- Detecção de Picos

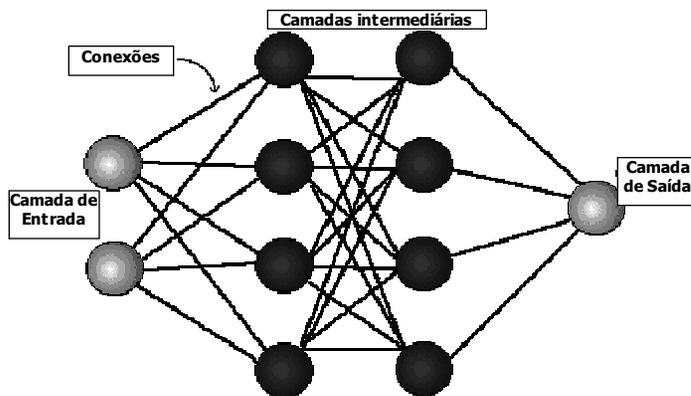
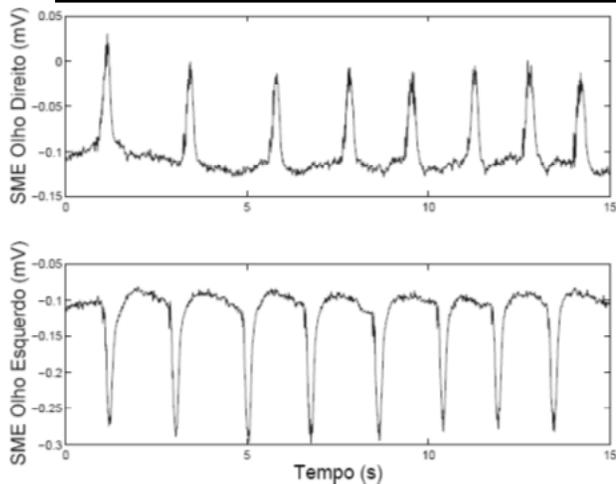
- Detecção de intervalos de duração da piscada

- ✦ Limiar de variância do sinal



Uso de Redes Neurais Artificiais

- Foram utilizadas Redes Neurais de tipo “Feedforward”
 - Treinadas com os algoritmos *Bayesian Regularization (BR)*, *Resilient Backpropagation (RP)* e *Scaled Conjugate Gradient (SCG)*
 - Foram utilizadas 420 amostras de piscadas de olhos (olhos direito e esquerdo)
 - Foram introduzidos 210 ruídos aleatórios nos sinais
 - Foi utilizado um total de 630 amostras para o treinamento e validação da rede neural
- As piscadas foram detectadas corretamente em 99,6% dos casos, utilizando o algoritmo RP (Resilient Backpropagation)

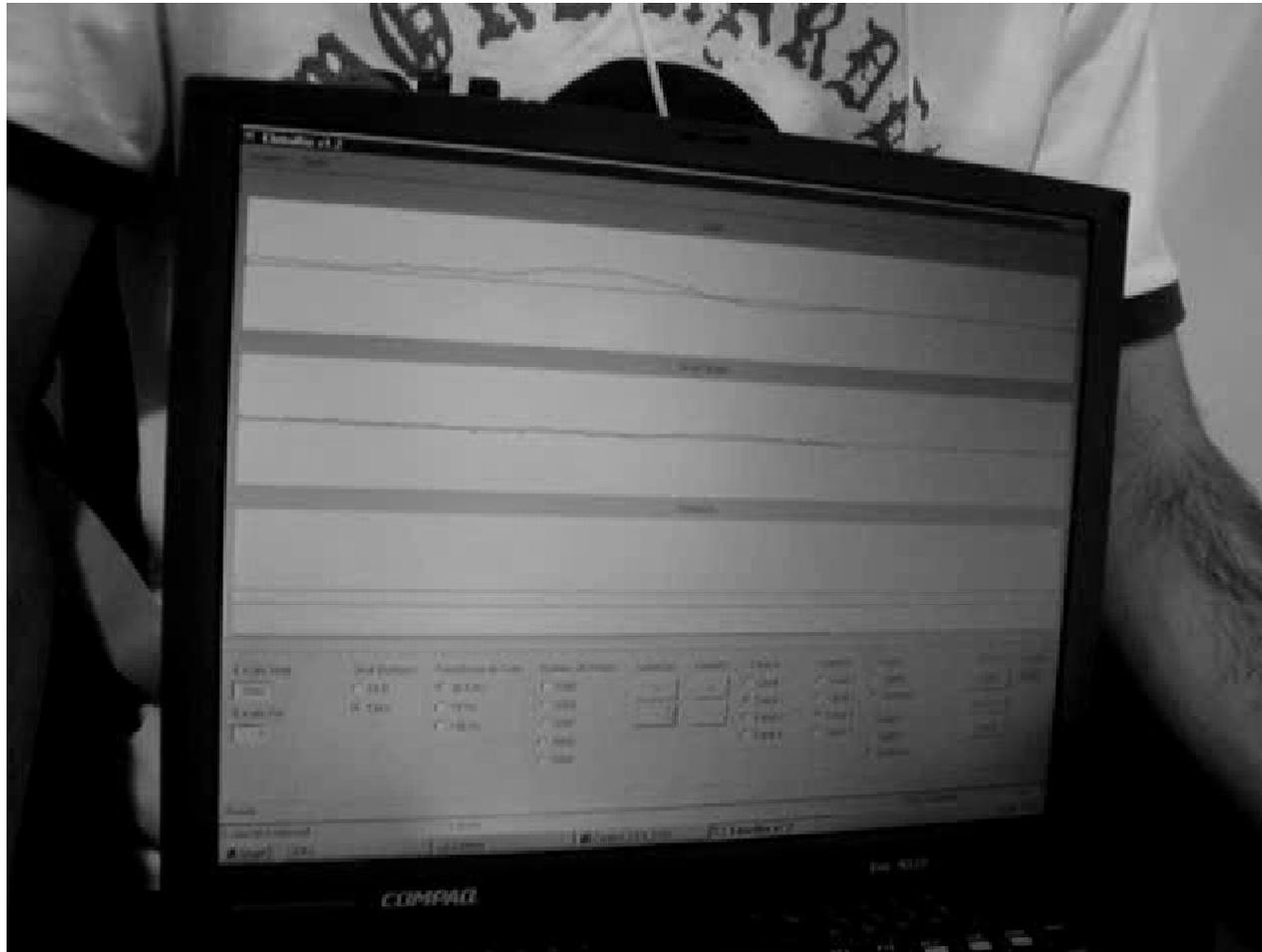


Algoritmo de Treinamento	Camada de Entrada	Camada Oculta	Camada de Saída	Erro Total (%)
BR	20	4	3	0.6349
	20	6	3	0.4762
	20	8	3	0.6349
	20	10	3	0.6349
RP	20	4	3	0.6349
	20	6	3	0.6349
	20	8	3	0.3175
	20	10	3	0.4762
SCG	20	4	3	0.7937
	20	6	3	0.4762
	20	8	3	0.3175
	20	10	3	0.6349

Seleção de Comandos em um PDA por Piscadas de Olhos (sEMG)



Comando da Cadeira de Rodas Robótica por Piscadas de Olhos (sEMG)



Problemas com Comando da Cadeira de Rodas Robótica por Piscadas de Olhos

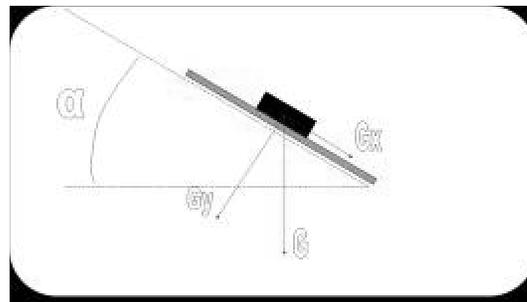
- Dificuldade de ser utilizada por indivíduos que possuem:
 - espasmos musculares
 - perda de atividade muscular em um ou ambos os olhos

Comando da Cadeira de Rodas Robótica por Movimentos de Cabeça

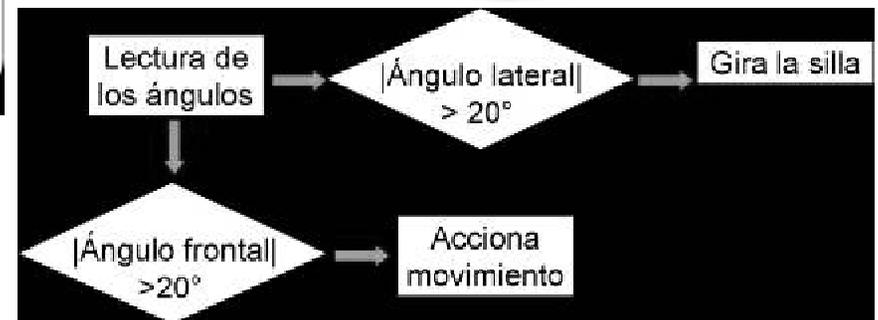
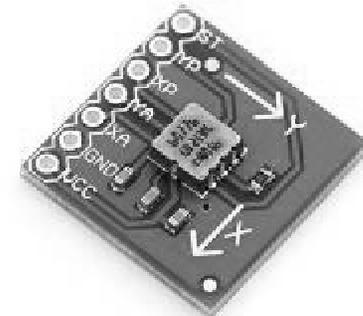
(Utilizando Acelerômetro ou
Câmera de Vídeo)

Comando Utilizando Acelerômetro

- Utiliza-se um acelerômetro modelo ADXL322J, da Analog Devices, que proporciona uma tensão proporcional à inclinação em dois eixos
- O sinal é processado por um microcontrolador PIC16F876A
- Para eliminar o uso de fios, é feita a transmissão sem fios por bluetooth, utilizando um transmissor OEMSPA311i da ConnectBlue
- Uma bateria de NiMH alimenta todo o circuito



$$\alpha = \arccos (G_y/G)$$



- Experimentos realizados com cadeira de rodas comandada por movimentos de cabeça: [Vídeo](#)

Experimentos com Pessoas com Deficiência

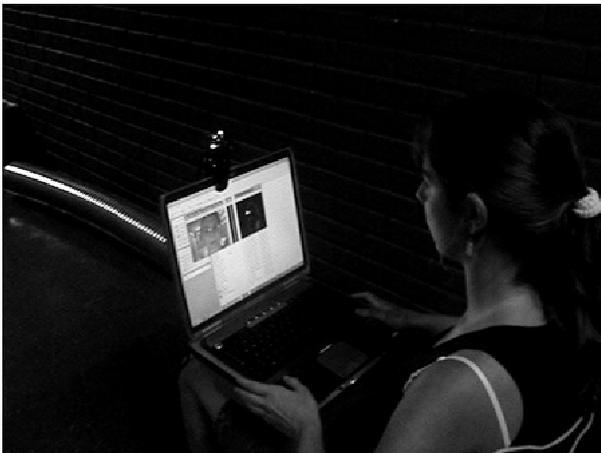
Foram realizados experimentos com uma pessoa Tetraplégica e com uma criança com Distrofia Muscular de Duchenne



Comando por Câmera de Vídeo

- Por Extração de Características -

- Utiliza-se uma webcam para o reconhecimento facial
- São aplicadas técnicas de processamento de imagem para detectar posição dos olhos e da boca
- São utilizadas relações geométricas para obter os ângulos de orientação da cabeça



Comando por Câmera de Vídeo

- Por Fluxo Óptico -

- Utiliza-se uma webcam para obter a imagem da face
- O fluxo óptico é o campo de movimento bidimensional de velocidades aparentes no plano da imagem relacionado às variações de brilho da mesma
- É produzido quando: um objeto se move no espaço 3D à medida que transcorre o tempo; o observador se move com respeito ao objeto; ou ao movimento combinado tanto do objeto como do observador
- Para obter os valores de fluxo óptico, devem-se obter as relações entre as variações na intensidade do brilho e no movimento do campo
- Os ângulos da cabeça são calculados utilizando o método de mínimos quadrados recursivos



- Experimentos com a Cadeira de Rodas Comandada por Movimentos de Cabeça Obtidos por Fluxo Óptico: Vídeo

Problemas com Comando da Cadeira de Rodas Robótica por Movimentos de Cabeça

- Dificuldade de ser utilizado por indivíduos com espamos musculares, e com Esclerose Lateral Amiotrófica (ALS)

Comando da Cadeira de Rodas Robótica por Movimentos do Globo Ocular

(Sinais Eletrooculográficos – EOG)

e

(Videoculográficos – VOG)

Comando por Sopros/Sucção

- Utiliza-se um sensor de pressão, instalado dentro de um canudo
- O usuário move então um cursor na tela do computador para selecionar o ícone relacionado ao movimento a ser executado pela cadeira de rodas



Comando da Cadeira de Rodas Robótica por Movimentos do Globo Ocular

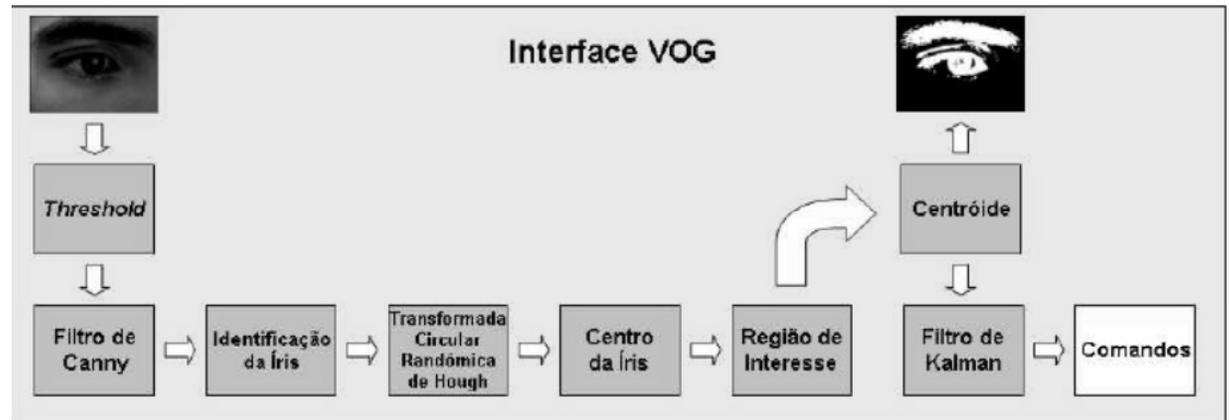
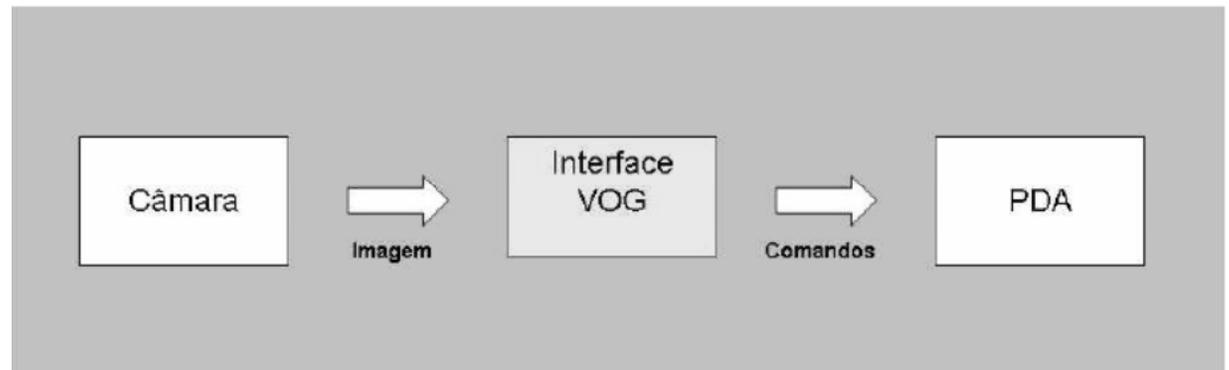
(Sinais Eletrooculográficos – EOG)

e

(Videoculográficos – VOG)

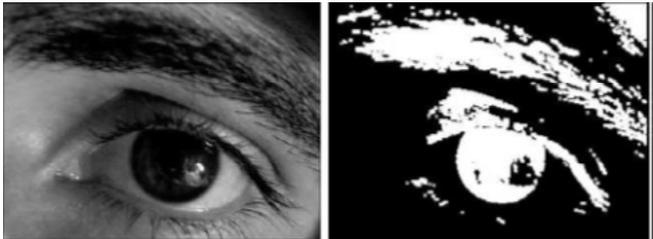
Comando por Videooculograma (VOG)

Utiliza-se uma câmera dotada de sensor de luz para capturar os movimentos dos olhos (eye tracking)

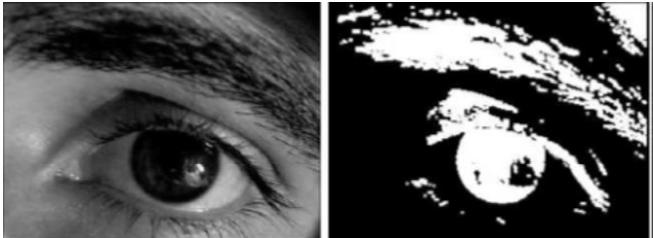


Comando por Videooculograma (VOG)

- Um limiar é utilizado para regiões brancas e pretas da imagem do olho
- Uma ROI baseada no filtro de Canny e transformada de Hough circular é utilizada para analisar a íris (não considerando a sombrancelha)
- Utiliza-se o centro de massa e filtro de Kalman para detectar as coordenadas da pupila
- O software é implementado em C#



Comando por Videooculograma (VOG)



Problemas com Comando da Cadeira de Rodas Robótica por Movimentos do Globo Ocular

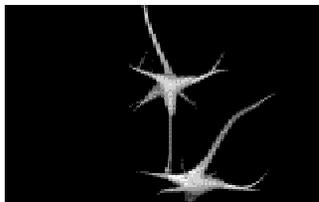
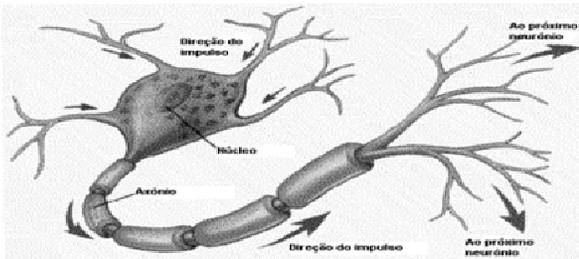
- Dificuldade de ser utilizado por indivíduos no estágio final da Esclerose Lateral Amiotrófica (ALS): situação “locked-in” (encarcerado em si mesmo)
- Entretanto, a maioria das pessoas com ALS continuam possuindo funções cognitivas

Comando da Cadeira de Rodas Robótica por Ondas Cerebrais

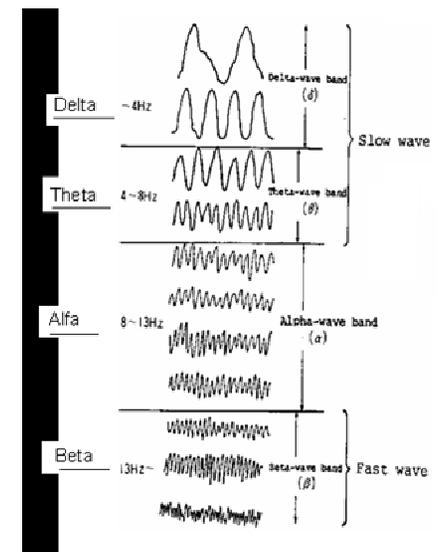
(Sinais Eletroencefalográficos – EEG)

Sinais Cerebrais (EEG)

- O EEG é o registro de mudanças de potenciais sobre o córtex cerebral, produzidos pela atividade elétrica de uma população de neurônios no cérebro
- Os sinais EEG são gerados a partir da superposição de diferentes e simultâneos sistemas dinâmicos de ação
- O cérebro humano apresenta uma camada externa denominada córtex cerebral
- Os neurônios do cérebro se distribuem em seis camadas paralelas à superfície do córtex: células piramidais (Camadas III e V) e não piramidais (I, II, IV e VI)
- As células piramidais da Camada V são as principais responsáveis por gerar sinais EEG

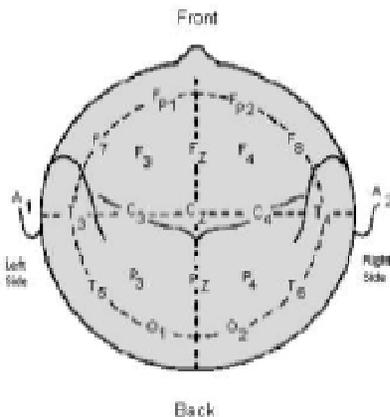


EEG Rhythms	Frequency (Hz)
Alfa (α)	8 - 13
Beta (β)	14 - 30
Delta (δ)	1 - 3
Theta (θ)	4 - 7

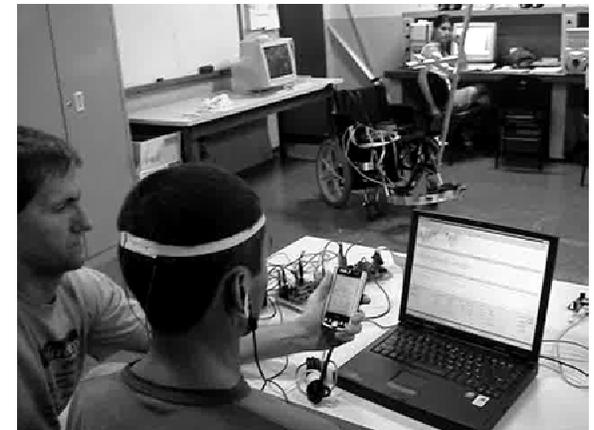
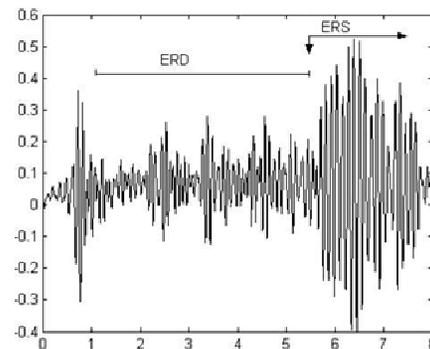


Comando da Cadeira de Rodas Robótica por Sinais Cerebrais (EEG)

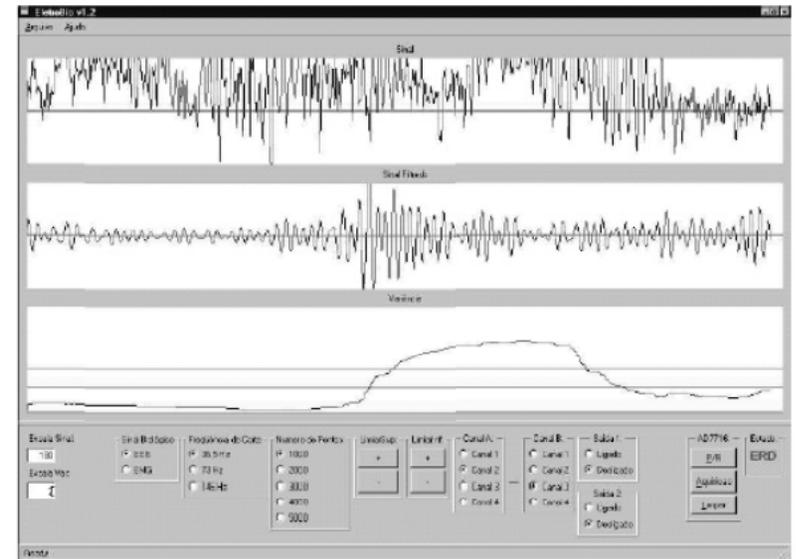
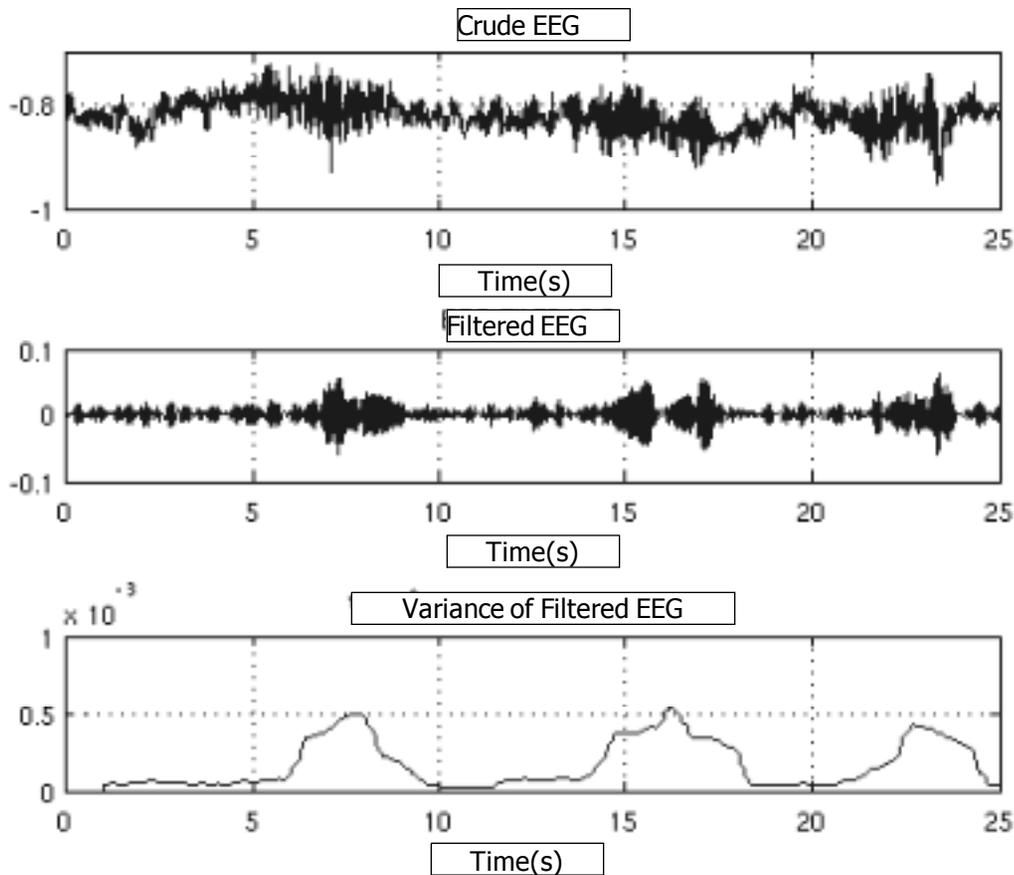
- Uso de Sincronização Relacionada a Eventos (ERD – Event Related Synchronization) e Desincronização Relacionada a Eventos (ERS – Event Related Desynchronization)
- Tais padrões se apresentam na banda alfa (8 a 13 Hz) da região occipital (informação visual: localização O_1 e O_2 do Sistema 10-20)
- O padrão ERD está relacionado à concentração ou existência de estímulo visual
- O padrão ERS está relacionado à relaxação com pouco ou nenhum estímulo visual



Ritmo Alfa: associado a pessoas despertas e relaxadas, mas intenso com olhos fechados.



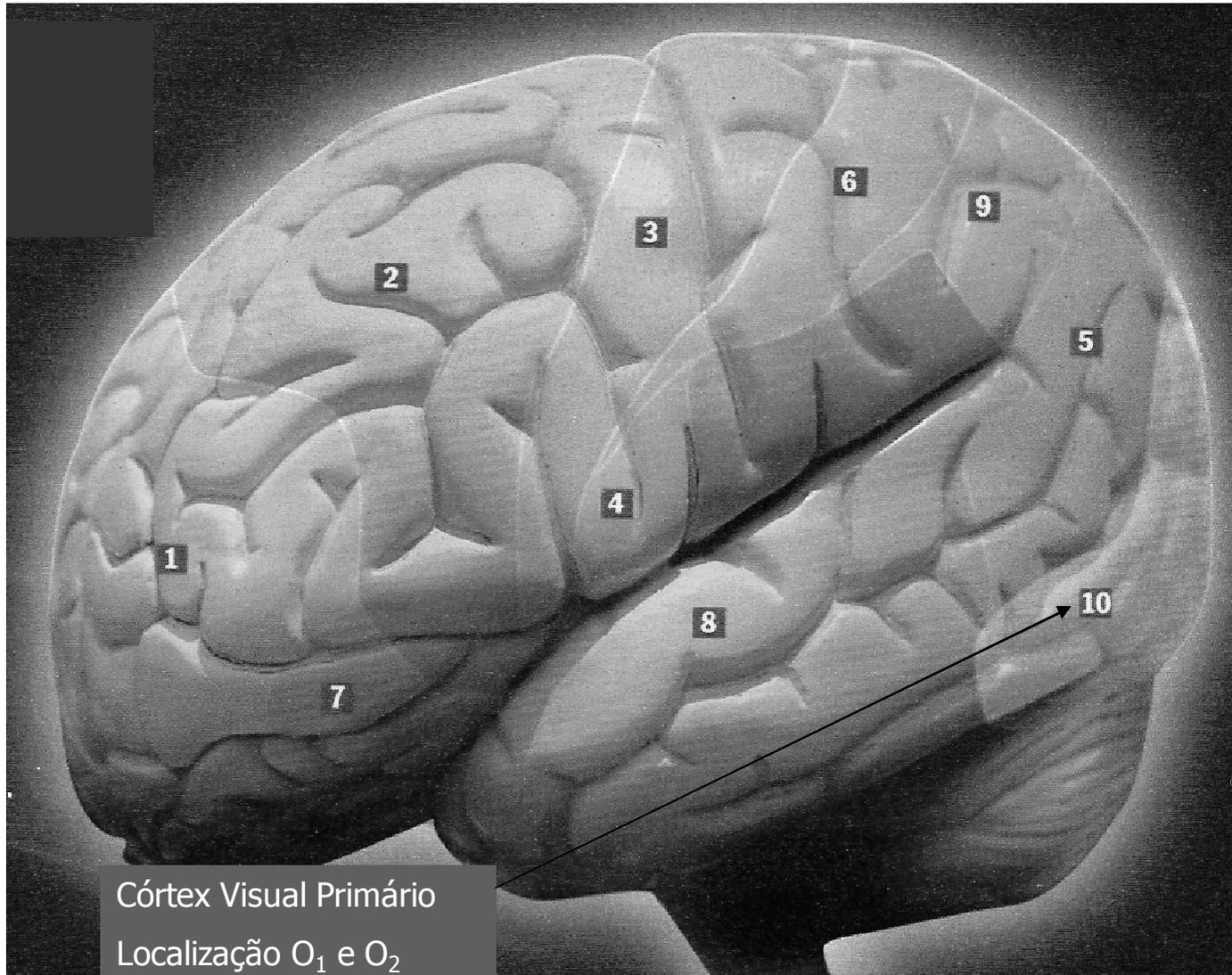
Detecção dos Padrões ERD e ERS



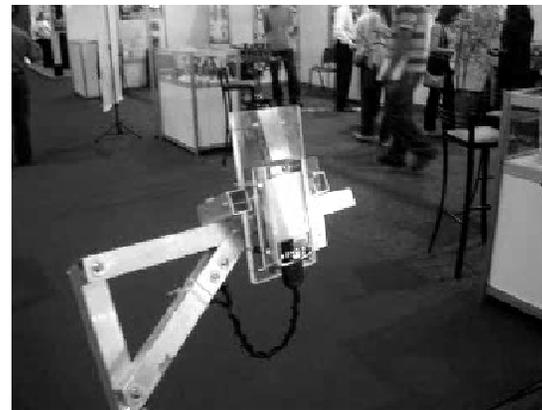
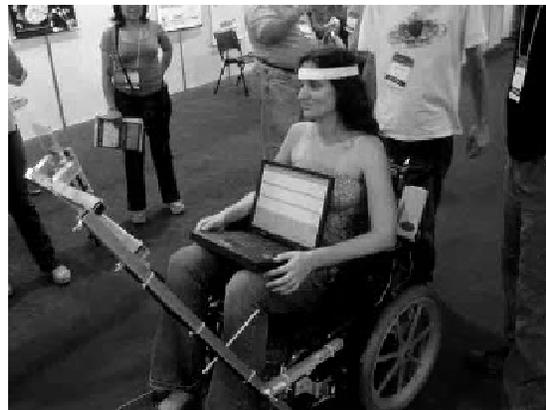
$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \mu)^2$$

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k$$

Localização de Eletrodos nas Posições O_1 e O_2 do Sistema 10-20 para Captura de Sinais EEG



Experimentos Utilizando Sinais EEG para Comandos de Movimento da Cadeira de Rodas Robótica da UFES



Escolhendo o Destino

Uso da Interface para:
Seleção da Célula de Destino (sala, banheiro, cozinha, quarto, área de serviços, varanda, etc) para a cadeira de rodas



♿ Escolhendo Destino 3:
Vídeo

Uso de Potencias Evocados Visuais em Estado Permanente (SSVEP)

-Uso de 12 Eletrodos-

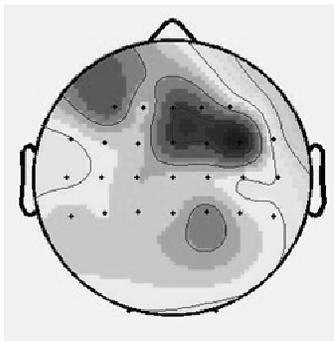
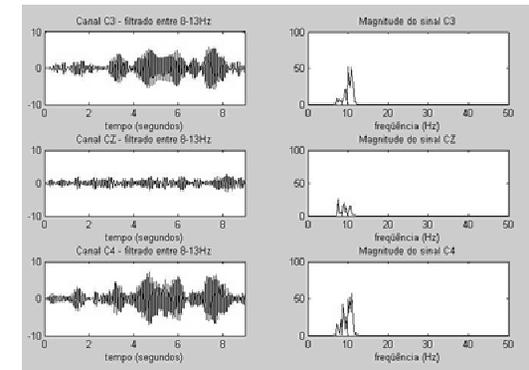
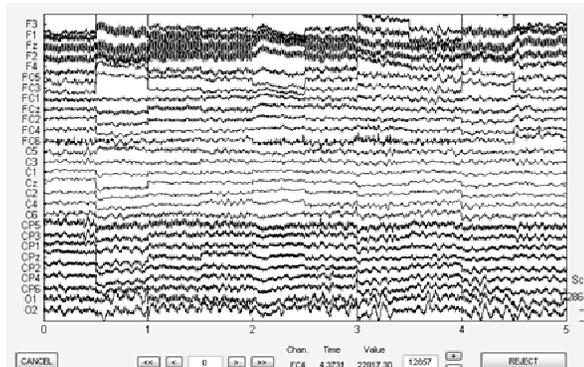
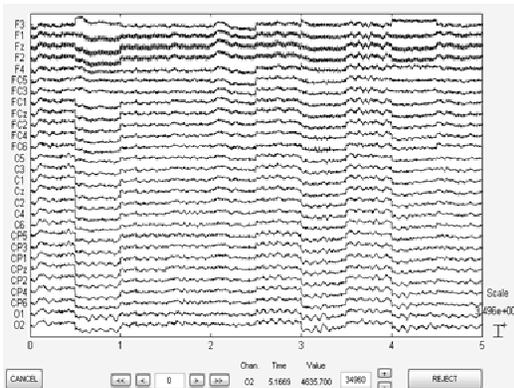


Vídeo1

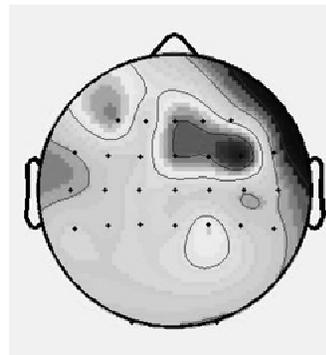
Vídeo2

Trabalhos em Andamento: Uso de Redes Neurais para Identificar Estados Mentais

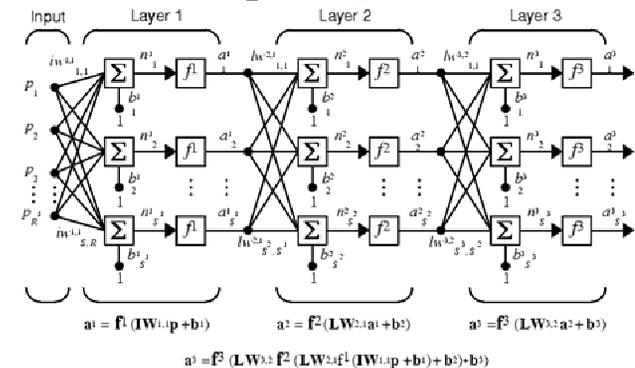
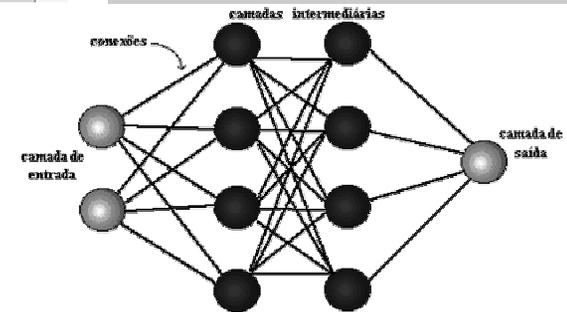
-Localizações dos Eletrodos: C₃, C₄ e C_Z-



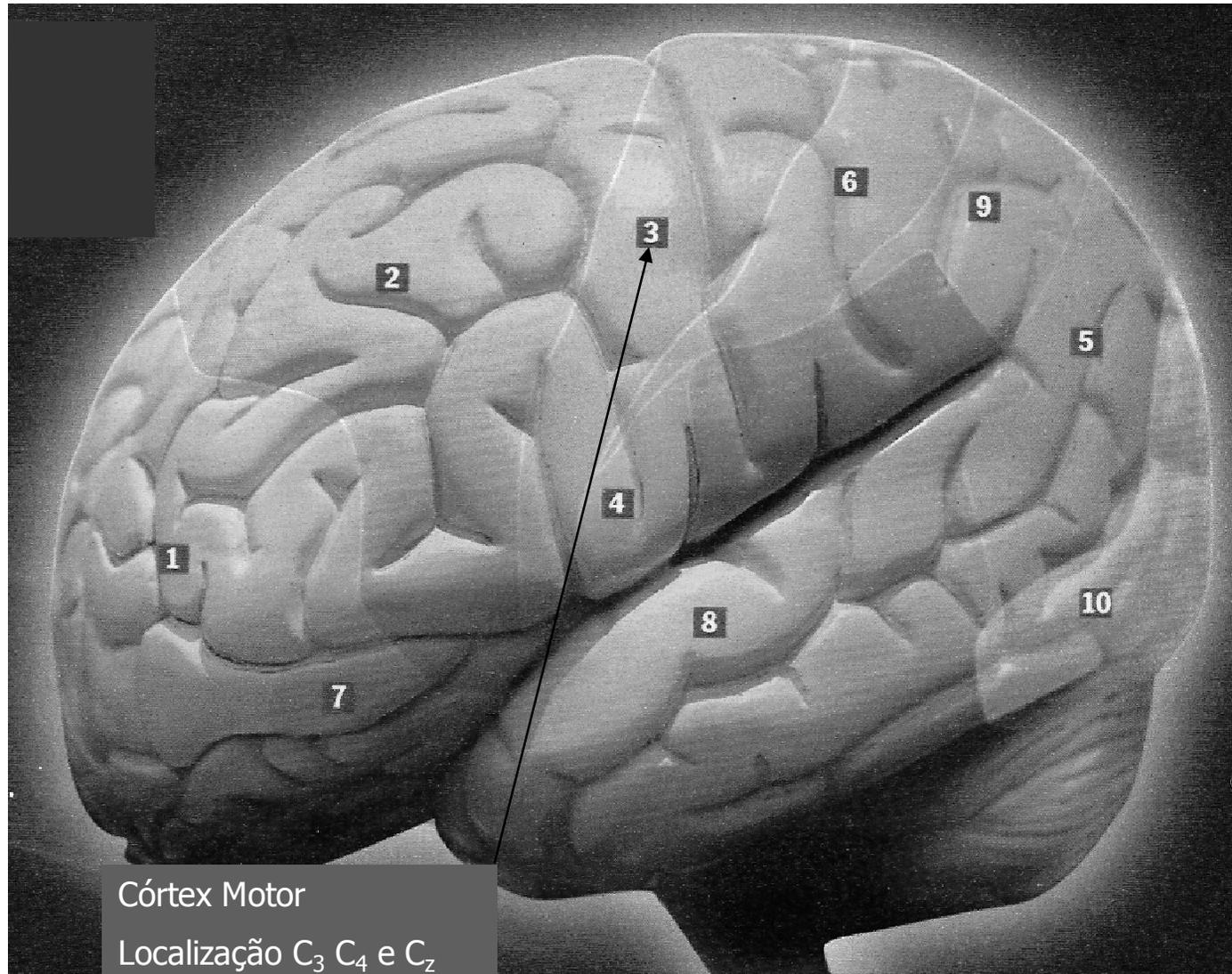
Sinal original



Sinal filtrado



Localização dos Eletrodos nas Posições C_3 , C_4 e C_z do Sistema 10-20 para Captura de Sinais EEG



Uso de Redes Neurais para Identificar Estados Mentais

-Intenção de Movimento da Mão-

- São computadas sessenta redes neurais cada vez que a rotina é executada
- São utilizadas quatro famílias wavelet com várias derivações: total de 1680 redes neurais

Famílias:

Daubechies (db1, db2, db3, db4, db5, db6, db7, db8, db9, db10)

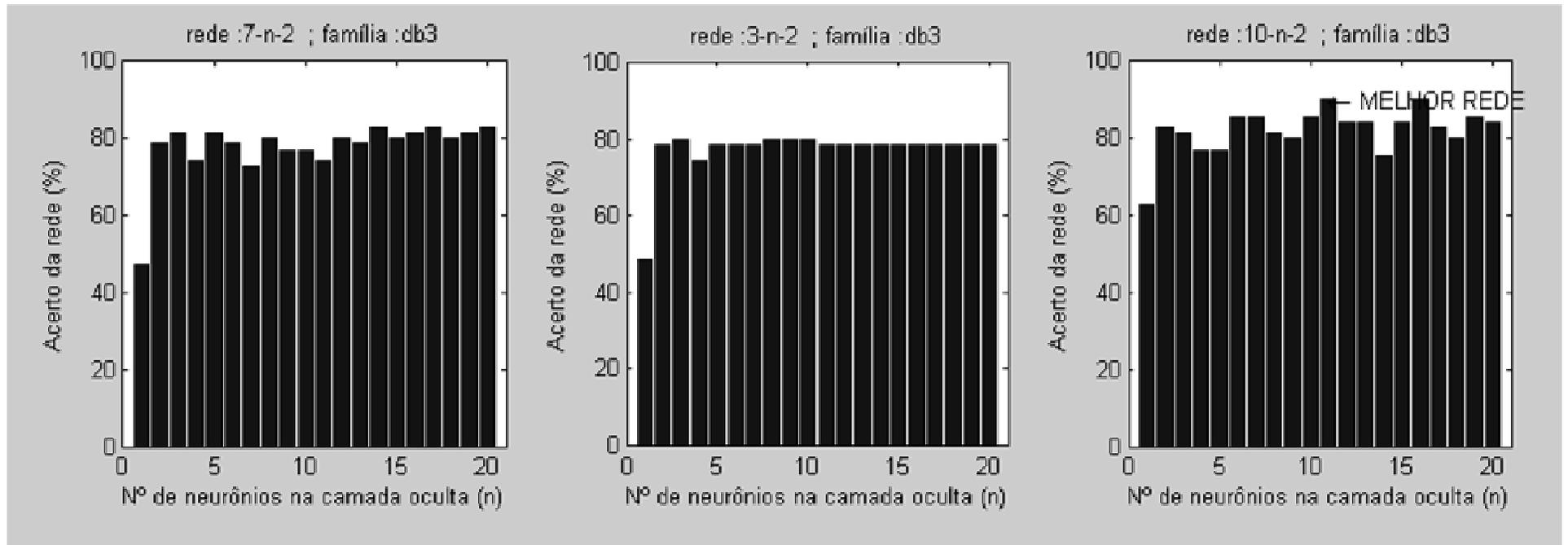
Symlets (sym1, sym2, sym3, sym4, sym5, sym6, sym7, sym8)

Coiflets (coif1, coif2, coif3, coif4, coif5)

Lemarie (lem1, lem2, lem3, lem4, lem5)

Resultados

Sinal Filtrado: 8 a 13 Hz



- Melhor rede neural: 10-11-2 neurônios (net3)
- Identificação correta do estado mental: 90,0%
- Família: db3

Trabalhos Atuais (Canais C3, C4 e Cz):

Uso de STFT (Short Time Fourier Transform)

+ SVM (Support Vector Machine)

- Extração de Características (STFT)
 - Coeficientes de componentes de 10 Hz
 - Janelas de 1 s
 - Vetor de características com 27 coeficientes
- Classificação (SVM)
 - Kernel (RBF)
 - Parâmetros $C=8192.0$ e $\gamma=0.001953125$
 - Taxa de validação cruzada de 77%
- Identificação Correta do Estado Mental: 94.3%
- Melhora em relação a: STFT+PCA+RNA y Wavelets+PCA+RNA

Trabalhos Atuais (Canais C3, Cz e C4):

Uso de STFT (Short Time Fourier Transform)

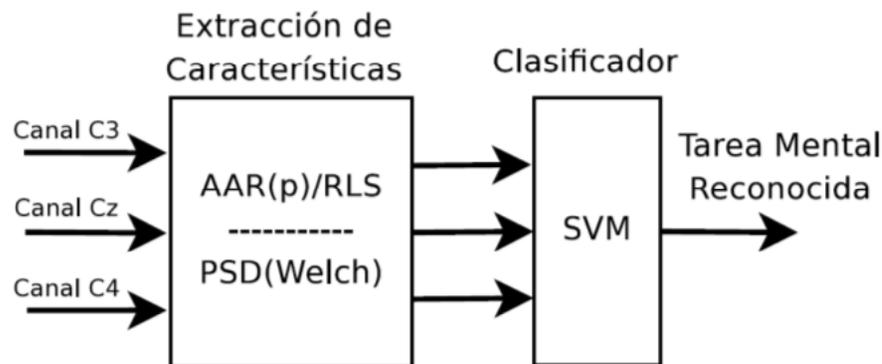
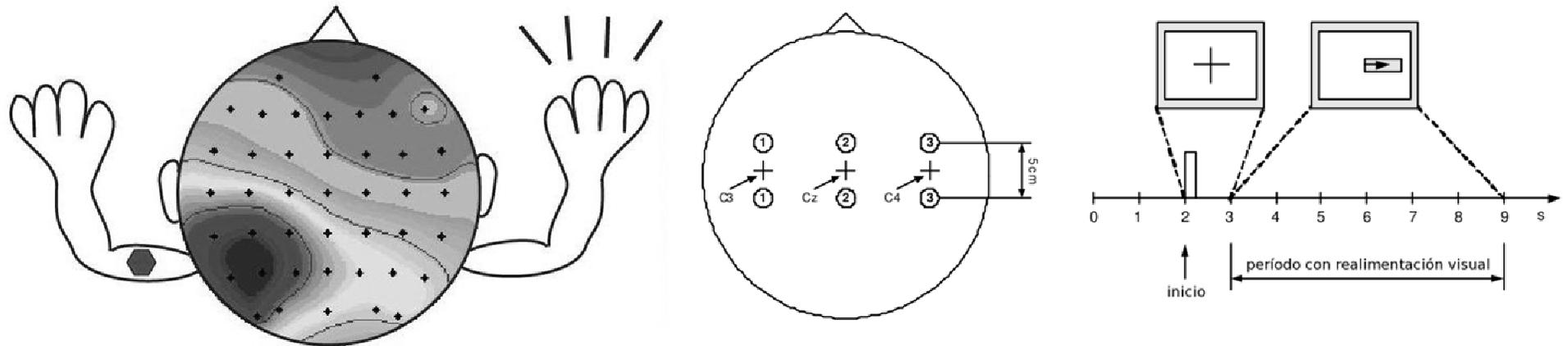
+ SVM (Support Vector Machine)

• Inclusão de Três Estados Mentais:

- movimento da mão direita
- movimento da mão esquerda
- ruído

• Identificação Correta do Estado Mental: 98%

Experimentos com Pessoas com Deficiência (Tetraplégica, Distrofia Muscular, Esclerose Lateral Amiotrófica e Parálise Cerebral)



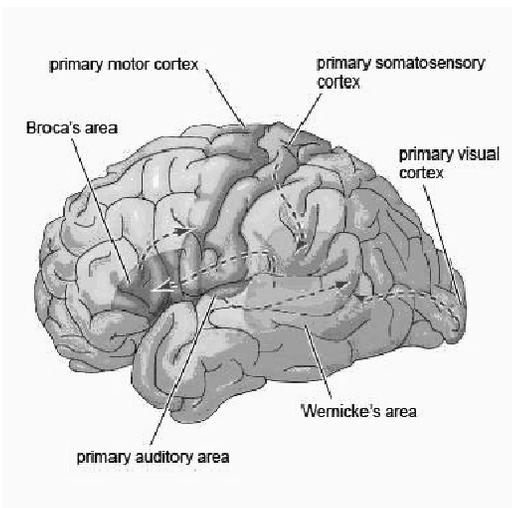
Voluntário	2 classes (esquerda/direita)			3 classes (esquerda/direita/relaxar)		
	ACC	Mão Esquerda	Mão Direita	ACC	Mão Esquerda	Mão Direita
V_{200}	80,0	80,0	80,0	60,0	60,0	73,4
V_{201}	90,0	80,0	100,0	73,4	60,0	80,0
V_{202}	90,0	80,0	100,0	73,4	60,0	60,0
V_{203}	90,0	100,0	80,0	66,7	60,0	80,0

Trabalhos Atuais: Uso de QDA, ANN e LSS para Identificar Estados Mentais Baseado em Padrões ERD e ERS do Ritmo Mu

-Intenção de Movimento das Mãos e Geração de Palavras-

- **Imaginação do Movimento da mão esquerda**
- **Imaginação do Movimento da mão direita**
- **Geração de palavras começando com a mesma letra**

- As tarefas mentais são processadas no córtex motor primário e na área de Broca
- Durante a tarefa de Imaginação de Movimento da mão direita, é gerado no córtex sensoriomotor do hemisfério esquerdo um ERD, o qual é medido com o eletrodo localizado na posição C₃
- Durante a tarefa de Imaginação de Movimento da mão esquerda, é gerado no córtex sensoriomotor do hemisfério direito um ERD, o qual é medido com o eletrodo localizado na posição C₄
- Durante a tarefa de geração de palavras, é gerado na área de Broca um ERD, o qual é medido com o eletrodo localizado na posição F₇



- QDA (Quadratic Discriminant Analysis): Taxa de acerto de 40,74%
- ANN (Artificial Neural Network): Taxa de acerto de 40,59%
- LSS (Linear Source Separation): Taxa de acerto de 54,27%

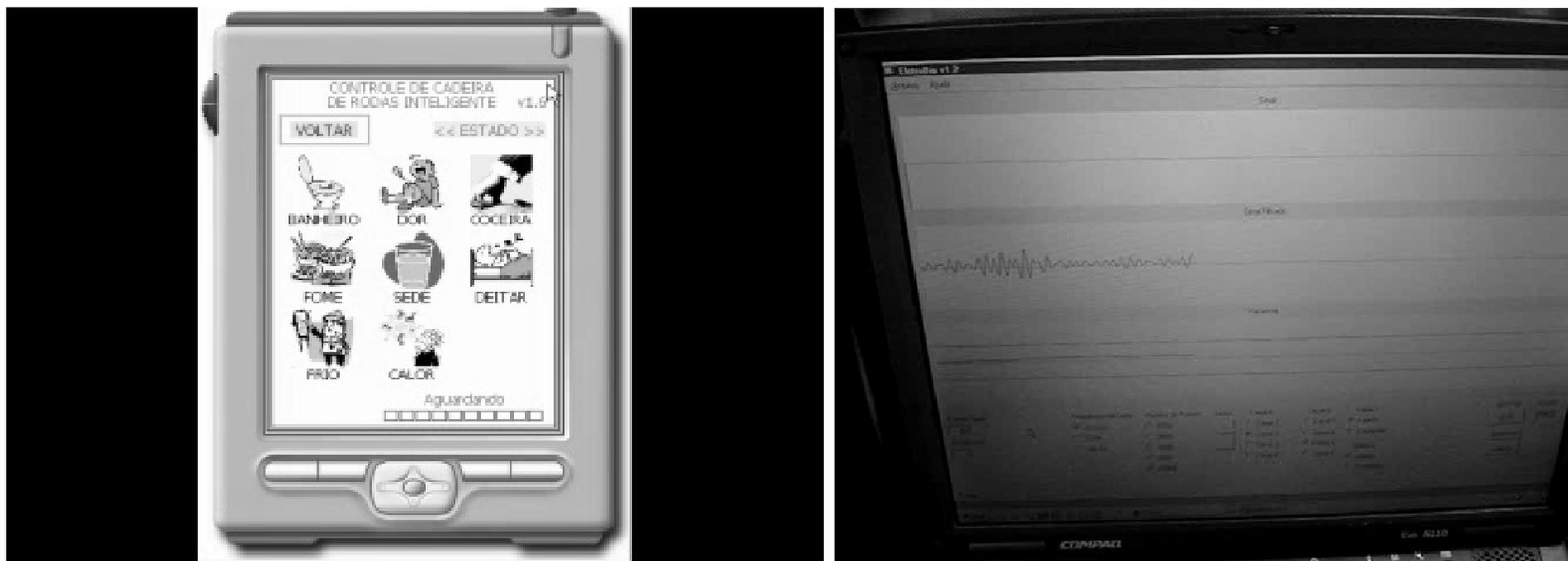
Opções de Comunicação na Cadeira de Rodas Robótica da UFES

Processador de Texto (com saída acústica)



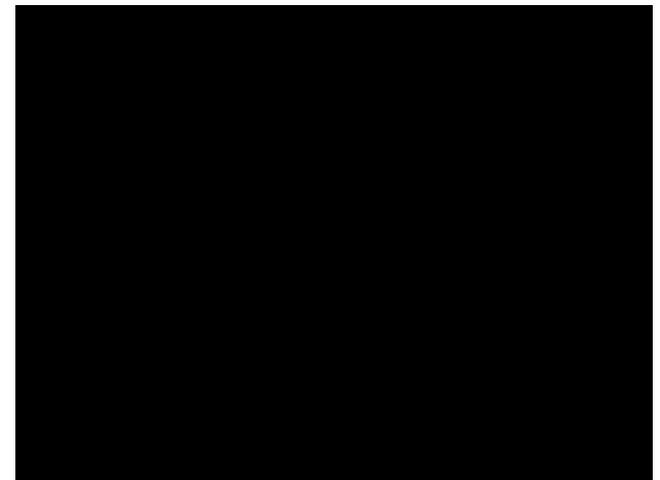
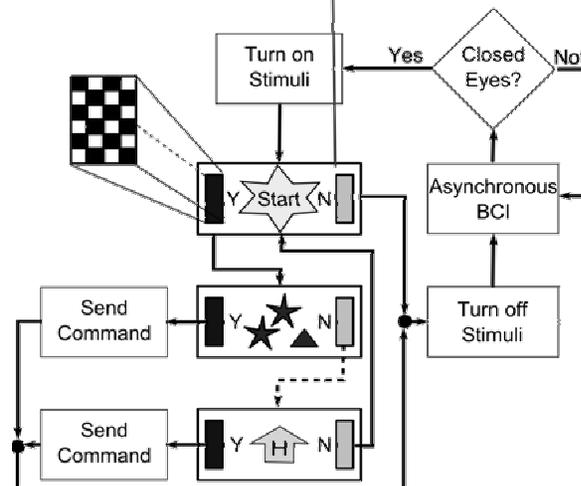
Opções de Comunicação na Cadeira de Rodas Robótica da UFES

Alerta para Situação de Necessidade ou Sentimento: dor, fome, sede, sono, coceira, vontade de ir ao banheiro, frio, calor (com saída acústica)



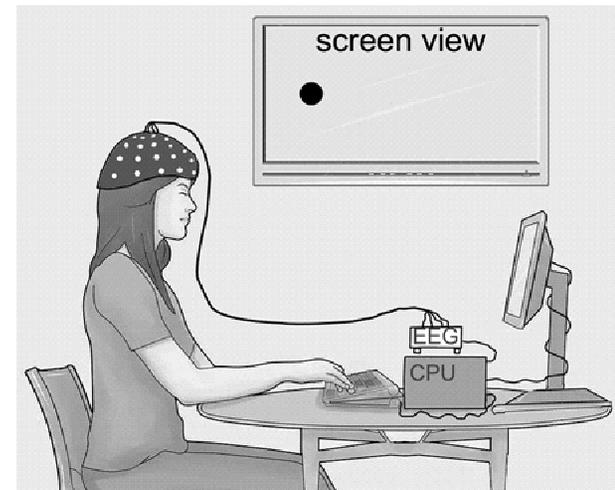
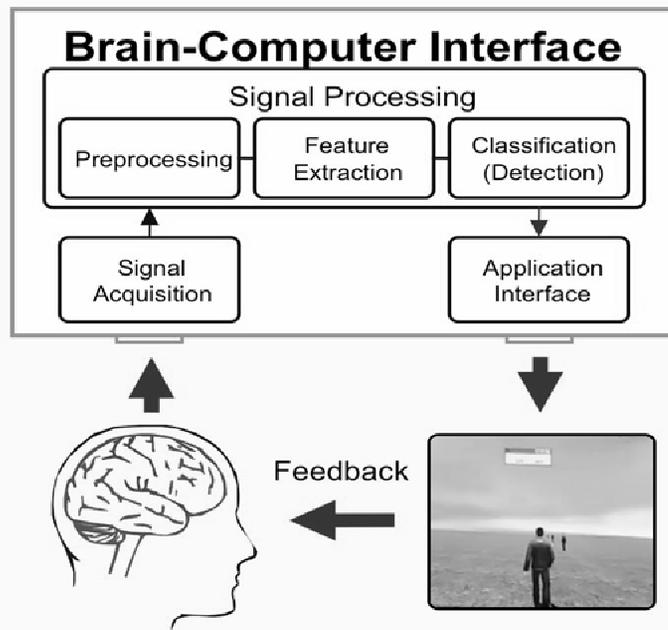
Trabalhos Atuais: Comando de un Veículo Autônomo por Sinais Cerebrais

- Trata-se de comandar, por EEG um carro (Ford), modelo Escape Hybrid, equipado com sistemas de controle de acelerador, freio, marcha, luzes, buzina, e sensores de odometria, posição do volante e rotação do motor
- Possui também um sistema de lasers LIDAR (Light Detection And Ranging), câmeras de vídeo de alta velocidade de transmissão de dados (firewire), GPS e sensor inercial 6D (IMU – Inertial Measurement Unit), os quais são utilizados para SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)



Trabalhos Atuais: Neuro-Reabilitação

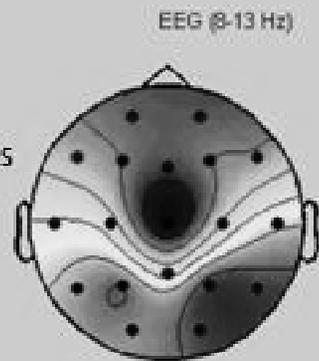
- Trata-se de utilizar uma interface cérebro-computador (ICC/BCI) para controlar um avatar em um ambiente de realidade virtual



Trabalhos Atuais: Neuro-Reabilitação

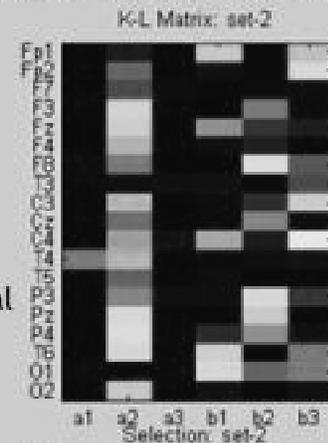
- BCI display:

EEG topography
Dark blue - small amplitude values
Dark red - large amplitude

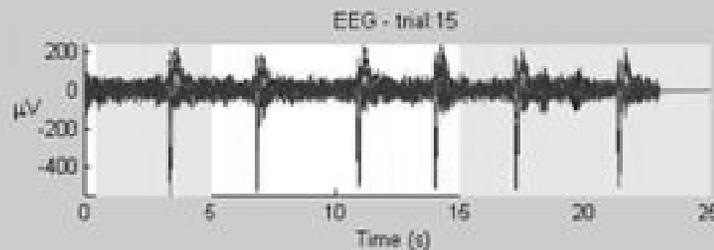


feature selection by divergence - Kullback-Leibler

perform mental task



EEG signal of the 19 channels



- target - dashed gray line
- classifications - solid black line



shows in red the selected features

Trabalhos Atuais: Neuro-Reabilitação



Trabalhos Atuais: Robótica Móvel como Ajuda a Crianças com Autismo



Vídeo Modo Cachorro

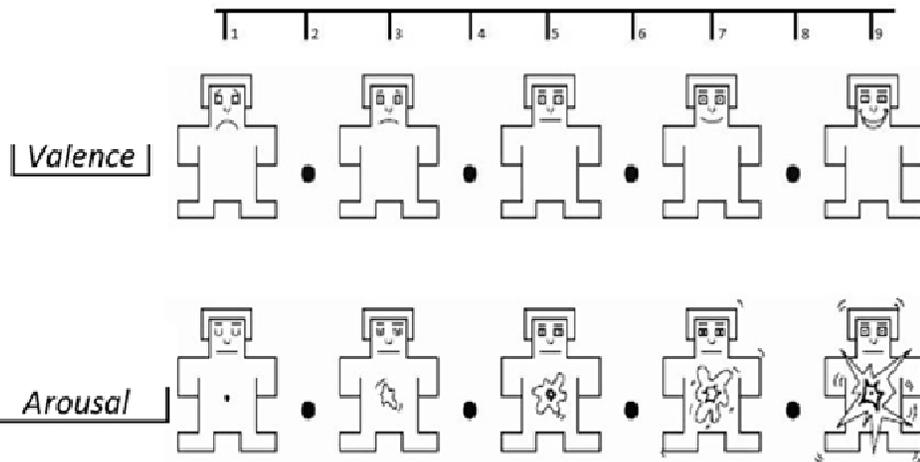


Vídeo Modo Seguidor

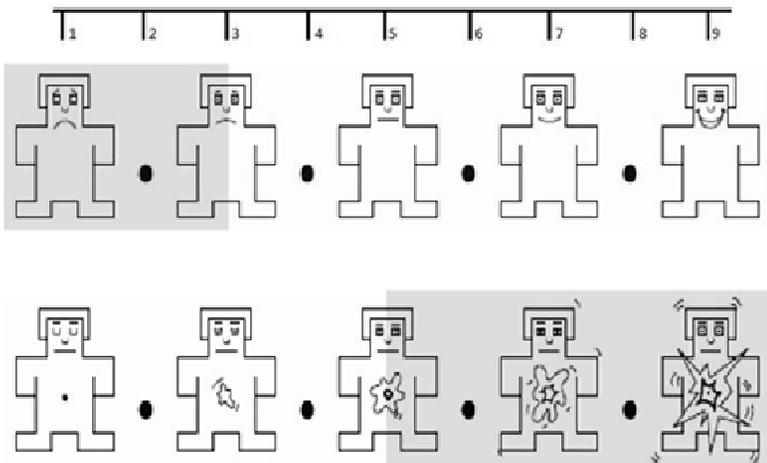
Trabalhos Atuais: Robótica Móvel como Ajuda a Crianças com Autismo



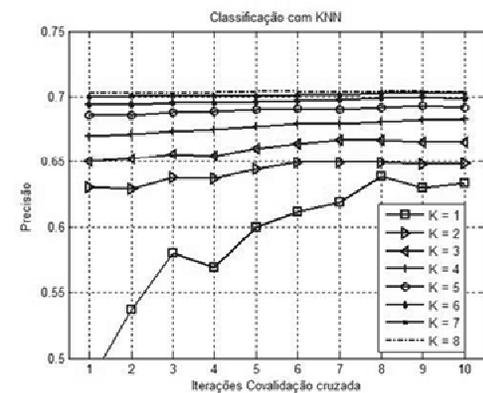
Trabalhos Atuais: Reconhecimento do Estado Emocional Baseado em EEG



Stress

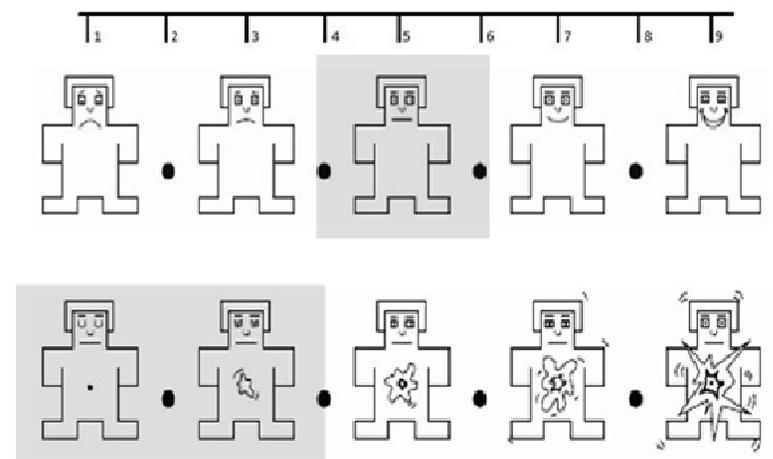


Results: PSD features

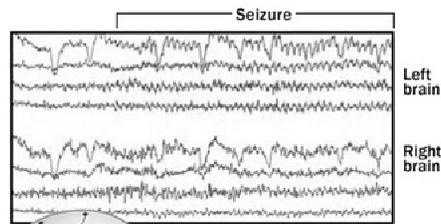


Precision Rate:
70.10 ± 0.45%

Calmness



Trabalhos Atuais: Análise do Nível de Estresse Baseado nos Padrões de Assimetria de Ritmos Alfa em Sinais de EEG



An electroencephalogram (EEG)

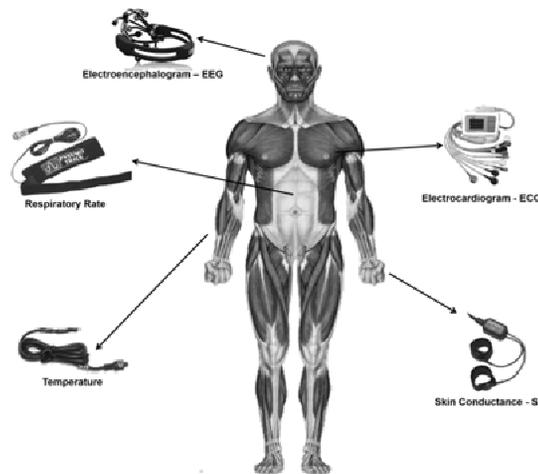
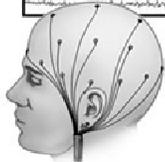
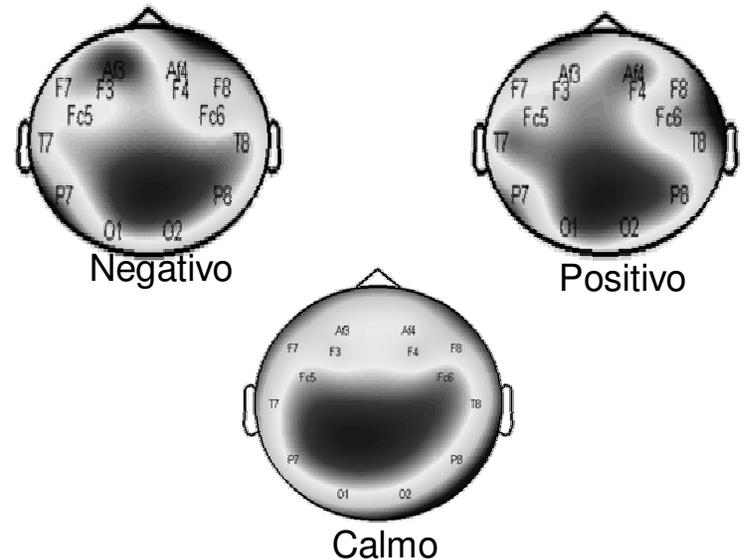


Fig. 1. Equipment and sensors for stress estimation: brain waves (EEG), heart rate (ECG), respiratory rate, temperature peripheral and skin conductance.

$$\ln(\text{power } \alpha \text{ right}) - \ln(\text{power } \alpha \text{ left}) \quad (1)$$



$$\text{Asymmetry} = \frac{(\text{power } \alpha \text{ E}) - (\text{power } \alpha \text{ D})}{(\text{power } \alpha \text{ E}) + (\text{power } \alpha \text{ D})} \cdot 100 \quad (2)$$

Negative Excitation = $\text{valence} < 3; \text{arousal} > 5$

Calm/Neutral = $4 < \text{valence} < 6; \text{arousal} < 4$

Positive Excitation = $\text{valence} > 6; \text{arousal} > 5$



Testes com Bombeiros

Trabalhos Atuais: Avaliação da Marcha Humana com Andador

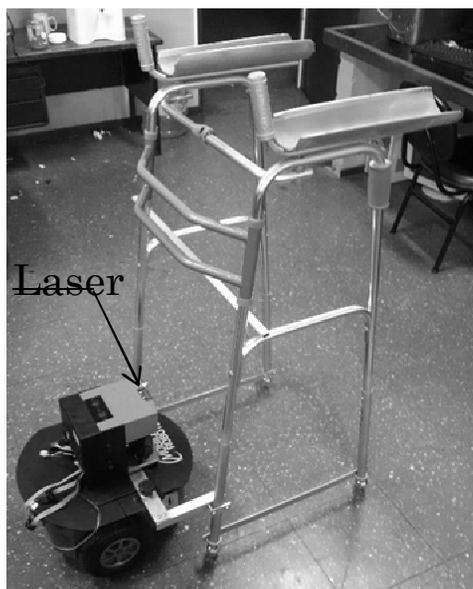
- Foram realizados testes prévios com um andador tradicional para avaliar a marcha humana, com base na medida de sinais mioelétricos
- É utilizado um equipamento de aquisição de sinais (EMG Systems do Brasil)
- Os sinais são processados *off-line*



Vídeo

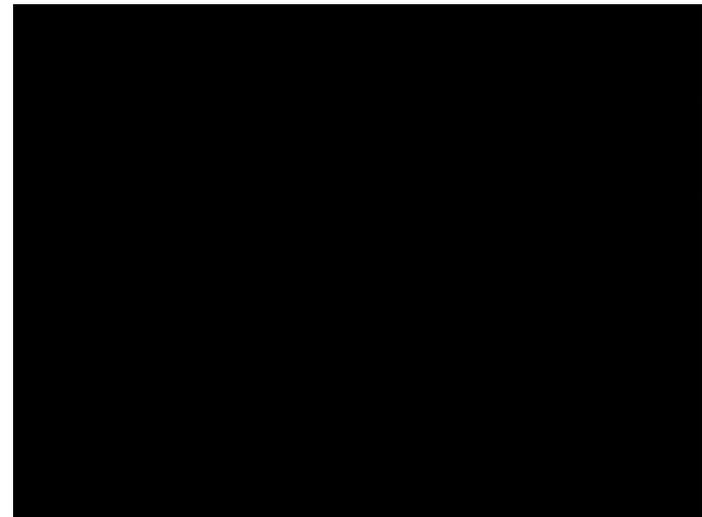
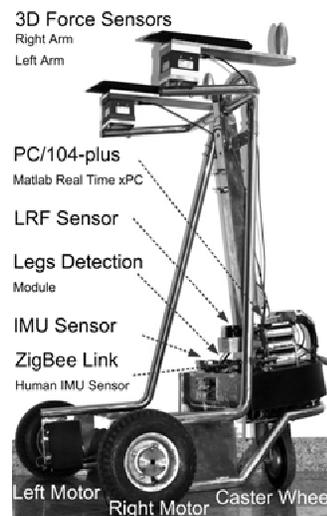
Trabalhos Atuais: Desenvolvimento de Andador Robótico (Smart Walker)

- O andador tradicional é acoplado a um robô móvel a rodas para permitir que uma pessoa com deficiência possa se locomover-se pelo ambiente, sem a necessidade de que a pessoa tenha que estar sentada em uma cadeira de rodas
- Um sensor laser instalado no robô móvel mede a distância às pernas do usuário (inferindo sua velocidade), e ajustando assim a velocidade linear e angular do robô



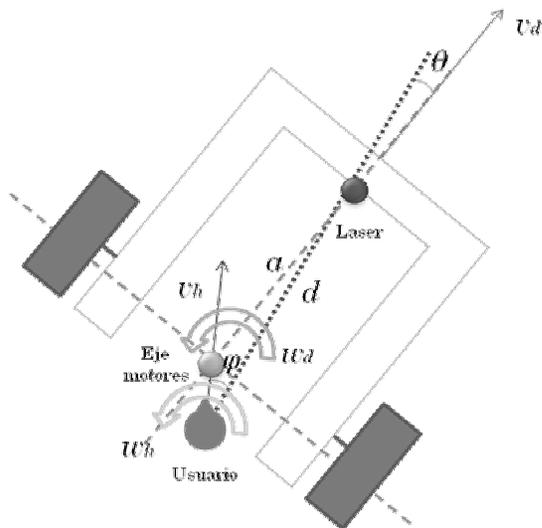
Trabalhos Atuais: Desenvolvimento de Andador Robótico (Smart Walker)

- Com base nos resultados das pesquisas anteriores, foi desenvolvido um andador robótico para auxiliar a pessoa com deficiência a locomover-se pelo ambiente
- O andador robótico possui sensores de força que podem inferir a direção do movimento desejada pelo usuário, e sensor laser que medem a distância às pernas do usuário, para comandar os motores do andador robótico, de acordo com a velocidade de sua marcha



Controle do Andador Robótico

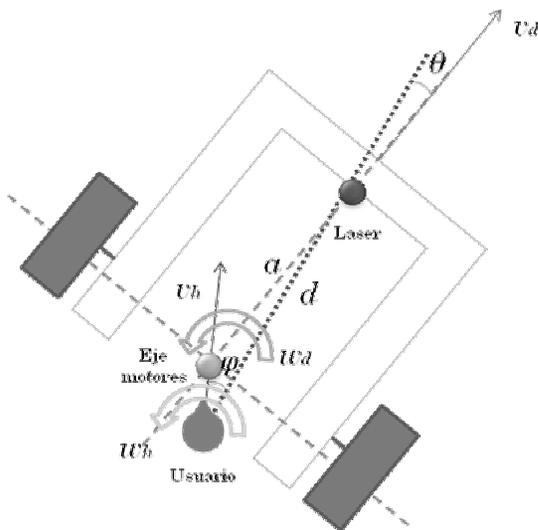
- O controlador do andador robótico utiliza o paradigma da cinemática inversa



$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} \text{Andador} \\ \hline \begin{bmatrix} \dot{d} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin(\theta) \\ -\frac{\sin \theta}{d} & \frac{a \cos(\theta)}{d} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} v_d \\ \omega_d \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} -v_h \cos(\varphi) \\ \omega_h + v_h \frac{\sin(\varphi)}{d} \end{bmatrix} \\
 \text{Interação} \quad \uparrow \text{Sinais de Controle} \quad \text{Humano} \\
 \hline
 \text{Modelo cinemático absoluto}
 \end{array}
 \end{array}$$

Controle do Andador Robótico

- Um modelo cinemático direto é utilizado para calcular o sistema inverso e linearizar o sistema completo quando o laço de controle é fechado



$$v_d = \cos(\theta) \left[-k_d \tilde{d} + v_h \cos(\varphi) \right] - d \cdot \sin(\theta) \left[-k_\varphi \varphi - \omega_h - \frac{v_h}{d} \sin(\varphi) \right]$$

$$\omega_d = -\frac{\sin(\theta)}{a} \left[-k_d \tilde{d} + v_h \cos(\varphi) \right] - \frac{d}{a} \cdot \cos(\theta) \left[-k_\varphi \varphi - \omega_h - \frac{v_h}{d} \sin(\varphi) \right]$$

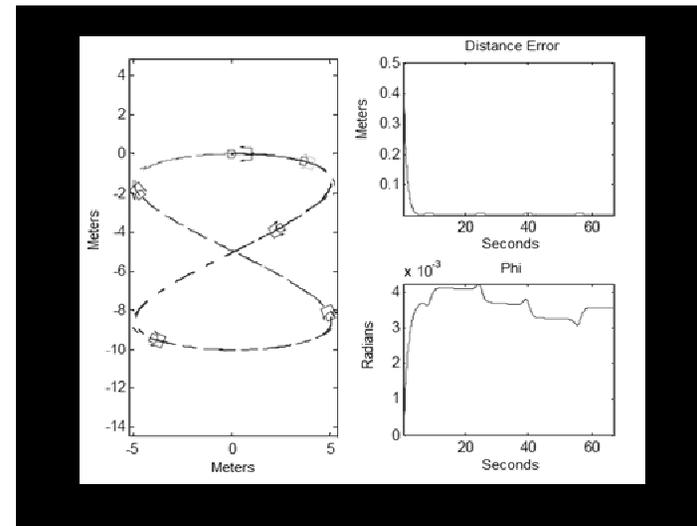
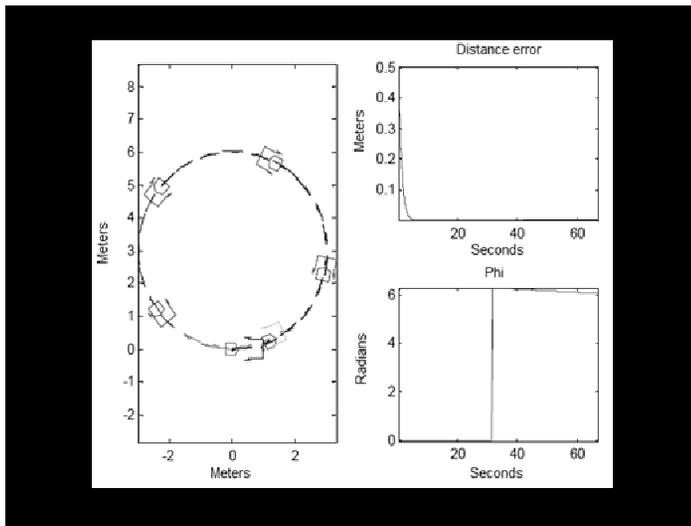
$$\tilde{d} = d(0) e^{-k_d t}$$

$$\tilde{\varphi} = \varphi(0) e^{-k_\varphi t}$$

- Portanto, os erros de controle, considerando os ganhos de controle positivos, sempre convergirão para zero

Simulação do Andador Robótico

- Foi feita uma simulação em Simulink dos movimentos do andador, seguindo dois caminhos: um caminho circular e uma curva Lemniscate (caminho em forma de oito)



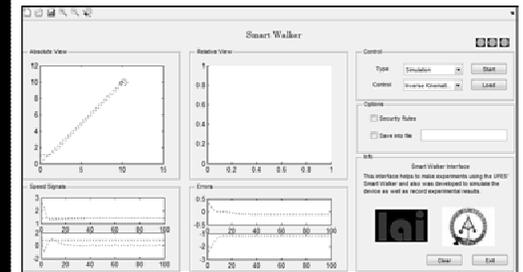
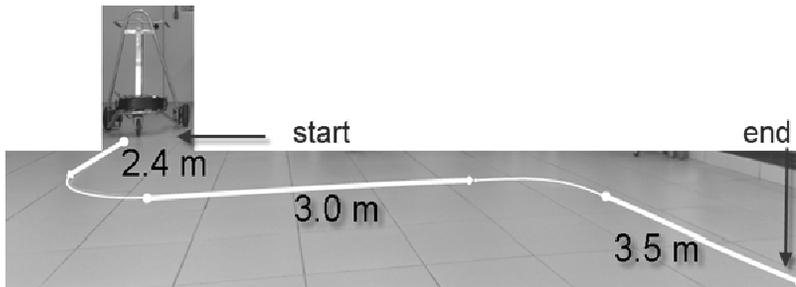
Regras de Segurança do Andador Robótico

- Um conjunto de regras de segurança foram criadas para evitar situações de risco para o usuário do andador robótico

#	Sensor	Ocorrência	Ação
1	Laser	Nenhuma detecção de pernas por um longo tempo	Parar imediatamente
2	Laser	Pernas demasiado longe	Diminuir a velocidade até parar
3	Laser	Pernas demasiado próximas	Aumentar suavemente a velocidade
4	Laser	Pernas paradas	Diminuir a velocidade e parar
5	Força	Força aplicada em somente um lado	Parar imediatamente
6	Força	Pequena força aplicada	Parar imediatamente
7	Força	Grande força aplicada	Parar imediatamente
8	Ambos	Sensor laser detecta força em um lado, e sensor de força em outro	Seguir movendo para o sentido prévio, diminuir a velocidade e parar

Validação do Andador Robótico

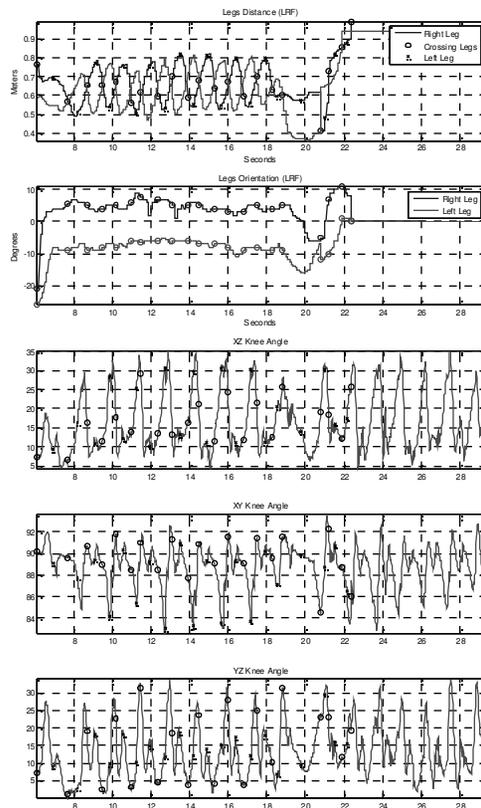
- Um grupo de 40 voluntários foi avaliado no Centro de Reabilitação Física do Estado do Espírito Santo (CREFES)
- A validação consistiu na realização dos caminhos mostrados
- Durante os experimentos, foram gravados os parâmetros temporais e distância percorrida pelo usuário, tais como: velocidade, comprimento do passo, distância entre usuário e andador, ângulo entre as pernas do usuário e o andador
- Todos estes parâmetros podem ser utilizados para avaliar a forma de caminhar do usuário, diferenciando entre pessoas saudáveis e pessoas artrose



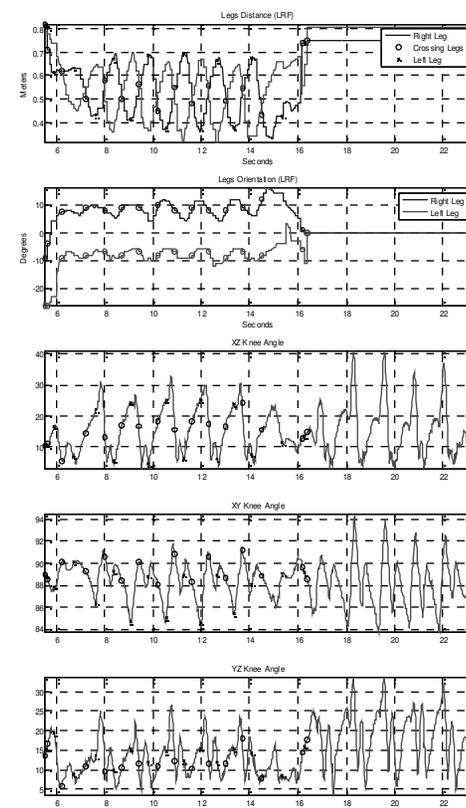
Resultados da Validação do Andador Robótico

- Os gráficos abaixo mostram algumas das medidas obtidas dos voluntários:

a) com artrose; b) saudável



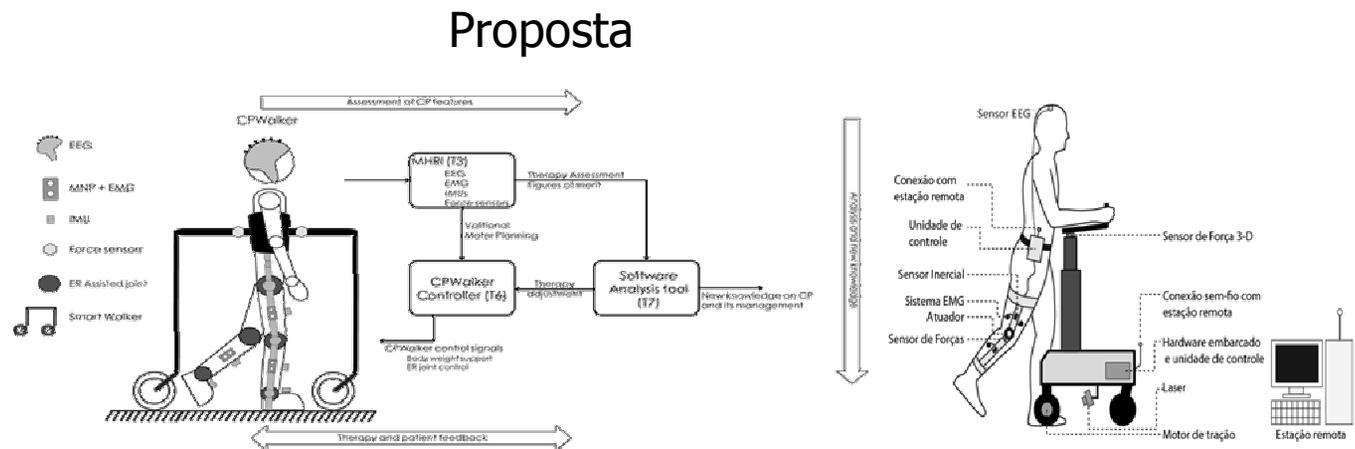
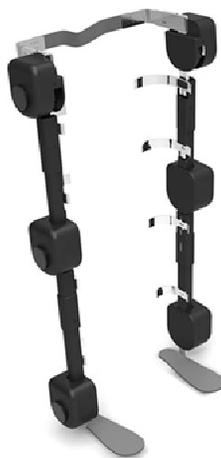
(a)



(b)

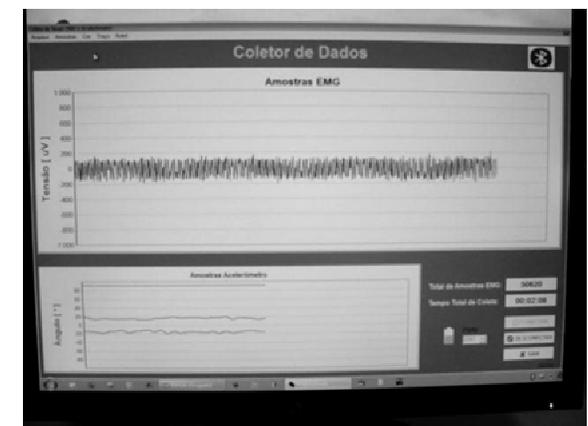
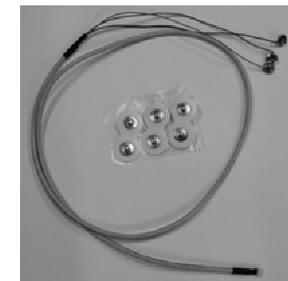
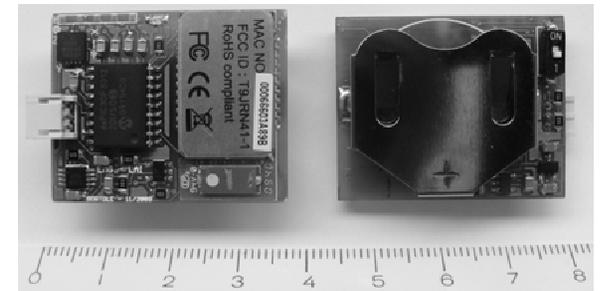
Trabalhos Atuais: Desenvolvimento de Exoesqueleto Híbrido (Andador Robótico + Órtese)

- Atualmente está sendo desenvolvido um novo sistema, que é um exoesqueleto híbrido, o qual se compõe do andador robótico em conjunto com uma órtese de membro inferior
- O exoesqueleto é comandado por sinais cerebrais (EEG), através de eletrodos localizados na região motora, e sinais mioelétricos (sEMG), através de eletrodos localizados no membro inferior do usuário. São também utilizados sensores inerciais instalados na órtese



Trabalhos Atuais: Dispositivo para Avaliação Biomotora e Biomecânica

- Foi desenvolvido um sensor híbrido (baseado em acelerômetro e em sensores mioelétricos) que permite capturar a inclinação do segmento do corpo e o esforço muscular produzido
- O sensor desenvolvido é de interesse para as áreas de Robótica, Fisioterapia e Esportes:
 - Em Robótica, o sensor é utilizado para:
 - comandar a cadeira de rodas robótica, utilizando qualquer movimento voluntário do usuário
 - comandar um robô móvel a rodas, dotado de garra, por crianças com deficiência motora severa
 - medir os movimentos de pessoas com deficiência
 - Em Fisioterapia para:
 - medir os ângulos de movimento dos exercícios fisioterápicos
 - Em Esportes para:
 - Avaliar os ângulos de movimentos dos esportistas

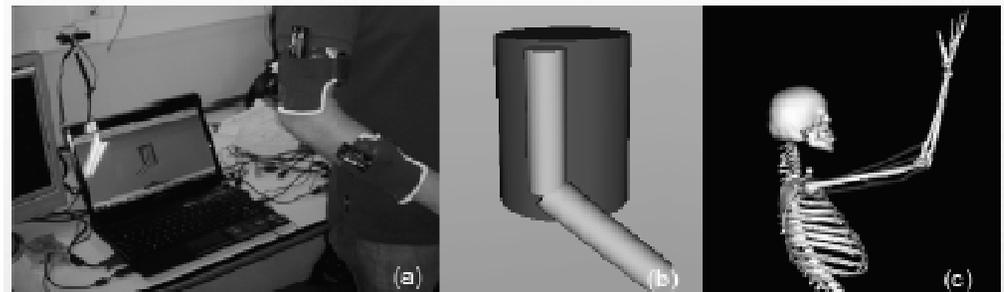


Trabalhos Atuais: Dispositivo para Avaliação Biomotora e Biomecânica



Avaliação de Inclinação de Braços e Pernas

- Avaliação biomotora e bioelétrica dos movimentos humanos
- Um eletrogoniômetro valida as medidas realizadas com o sensor híbrido acelerômetro
- Um sistema de realidade virtual interativo é utilizado para otimizar as sessões de terapia de reabilitação

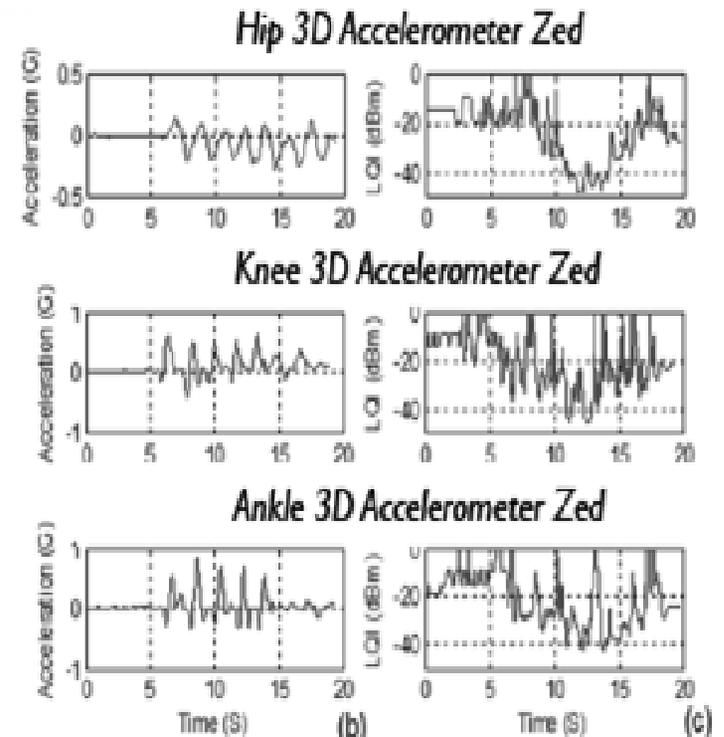


Vídeo



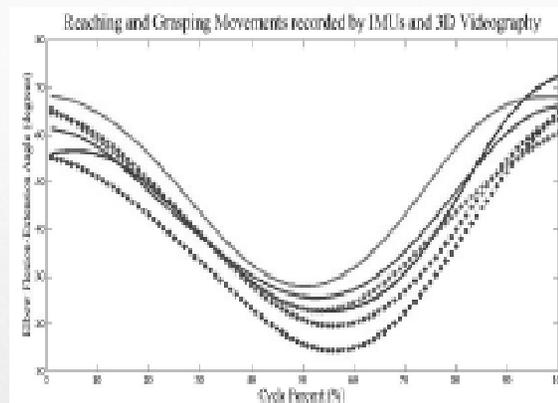
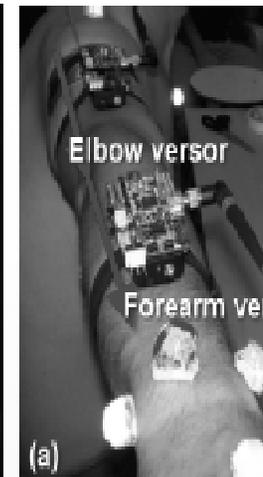
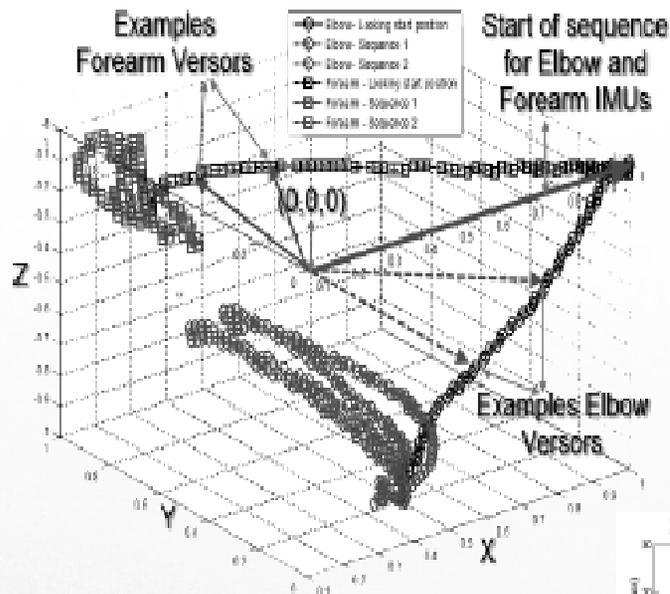
Uso de Acelerômetro para Identificação da Fase da Marcha

- O reconhecimento da fase da marcha permite o uso de sistemas de assistência de controle externo
- As fases da marcha são detectadas através das medidas do acelerômetro



Uso de Sensores Inerciais para Tarefas de Alcançar e Agarrar um Objeto

- Comparação com Fotogrametria -

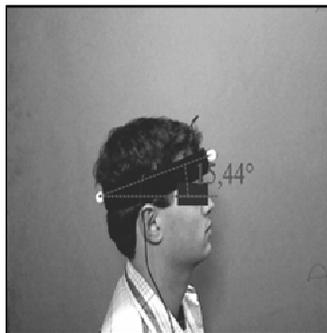


Each color represents the same movement recorded by the wearable system in solid lines and 3D videography in dashes.

Avaliação de Desempenho do Sensor Através do Uso de Kinect

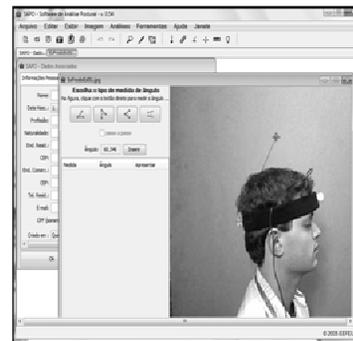
Configuração do Experimento

- Situação do sujeito e localização do sensor: Sentado, com joelhos em 90° e flexão da cadeira
- O sensor inercial é posicionado na testa do sujeito e estabilizado com uma banda elástica
- Marcadores redondos (15 mm de diâmetro) são colocados na parte anterior e posterior da banda elástica
- O dispositivo Microsoft Kinect é posicionado na mesma altura da cabeça do sujeito



Processamento de Imagem

- Um conjunto de 16 imagens digitais é processado para cada sujeito
- É utilizado o Software (SAPO) version 0.54 para análise postural
- Os ângulos de inclinação da cabeça são verificados por Fisioterapeuta treinado
- O ângulo sagital é medido na interseção de uma linha entre ambos os marcadores e a linha horizontal



Microsoft Kinect (Microsoft Inc.)

- Dispositivo comercial para Xbox 360
- Características: câmera RGB (640 x 480 pixels), sensor de profundidade 3D, microfone multi-array, inclinação motorizada do dispositivo
- Neste estudo, somente a câmera foi utilizada para adquirir imagens digitais

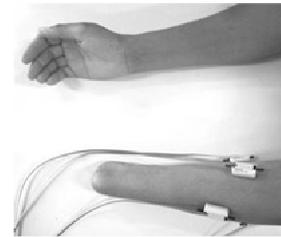
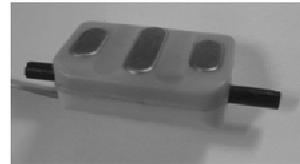
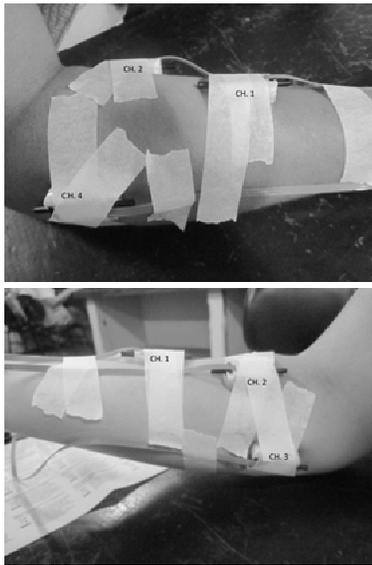


Resultados

Uma análise estatística mostrou que não houve diferenças significativas entre as medidas obtidas para cada método ($\pm 5^\circ$)

Error Parameter	Test Movement	p-value
AEImu x AEphoto	Flexion	0,687
CEImu x CEphoto	Flexion	0,694
VEImu x VEphoto	Flexion	0,363
AEImu x AEphoto	Extension	0,948*
CEImu x CEphoto	Extension	0,779
VEImu x CEphoto	Extension	0,722*

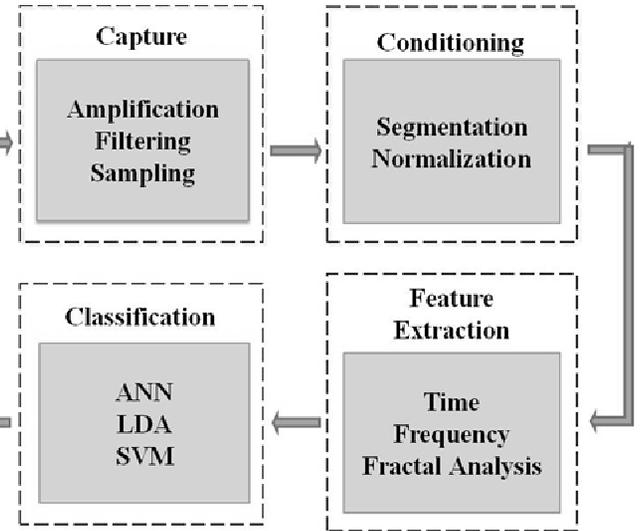
Trabalhos Atuais: Controle Independente de Mão e Dedos de uma Prótese de Membro Superior



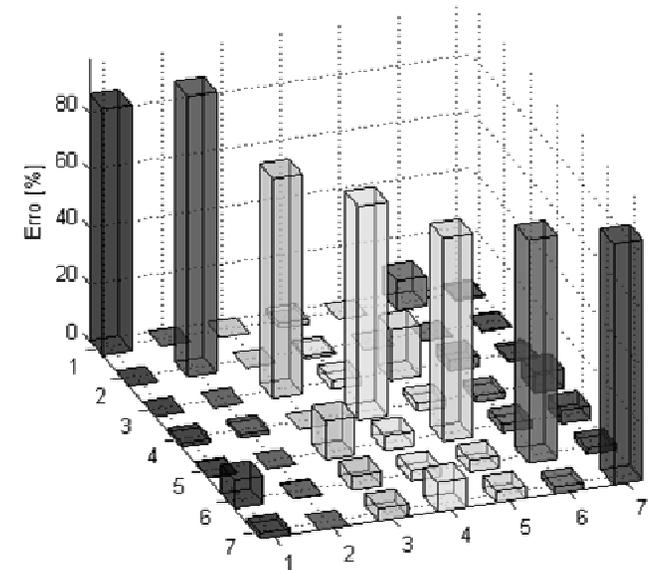
Surface electrodes



Output



Matriz de Confusão – 5 Amputados							
	1	2	3	4	5	6	7
1	86,3	0,0	0,0	1,4	0,3	9,9	2,0
2	0,0	98,4	0,0	1,3	0,0	0,3	0,0
3	0,0	0,0	77,1	0,0	13,6	5,0	4,3
4	1,7	1,0	3,1	75,0	5,1	3,8	10,3
5	0,0	0,0	17,7	2,6	71,3	4,2	4,2
6	10,4	0,0	4,0	2,0	3,0	78,3	2,3
7	0,7	0,3	1,0	7,0	4,6	2,0	84,4



Conclusões

- Foi apresentado o “estado da arte” na Engenharia de Reabilitação, com ênfase na Robótica de Reabilitação
- Foram apresentados os projetos de pesquisa da UFES relacionados com Robótica de Reabilitação
- Foram também apresentados os novos projetos de pesquisa relacionados com Tecnologias Assistivas e Robótica de Reabilitação, com vista à melhoria da qualidade de vida de pessoas com deficiência