

---

# CONTROLE DE UM BRAÇO ROBÓTICO POR SINAL ELETROMIOGRÁFICO

Flávia Lefort Lamanna, Vanessa Pereira Gomes, Marcelo Lemos Nunes Franco, Mirian Cruz,  
Carlos Augusto Bissochi Junior, Aniel Silva de Morais  
Laboratório de Automação, Servomecanismos e Controle (LASEC)  
Núcleo de Controle e Automação (NCA)  
Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT)  
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)  
Av. João Naves de Ávila, 2160 - Bloco 3N - Campus Santa Mônica CEP: 38400-902  
Uberlândia, MG, Brasil  
e-mail: [flavialefort@gmail.com](mailto:flavialefort@gmail.com)

**Resumo** - Sinais bioelétricos estão cada vez mais estudados e utilizados em aplicações que podem facilitar alguma atividade específica. O sinal de EMG é o sinal relacionado à atividade muscular. Este sinal, quando condicionado, pode ser usado para controlar uma prótese mecânica. Próteses estão se tornando mais acessível às pessoas que perderam algum movimento do corpo.

Entretanto, o treinamento é necessário antes de instalar a prótese. Neste contexto, este trabalho visa desenvolver um sistema de formação para acionar um braço mecânico.

**Palavras-chave:** braço mecânico, controle eletrodo de superfície, eletromiografia, instrumentação biomédica, sinal bioelétrico.

## CONTROL A ROBOTIC ARM BY THE ELECTROMYOGRAPHIC SIGNAL

**Abstract** - Bioelectric signals are increasingly studied and used in applications that can ease some specific activity. The EMG signal is the signal related to muscle activity. This sign, when conditioned, can be used to trigger a mechanical prosthesis. Prostheses are becoming more accessible to people who lost some body movement.

However, training is required before installing the prosthesis. In this context this work aims to develop a training system to trigger a mechanical arm.

**Keywords** - bioelectric signal, biomedical instrumentation, control, electromyography, mechanical arm, surface electrode

## I. INTRODUÇÃO

Existe, hoje, uma grande quantidade de doenças neurodegenerativas que afetam o funcionamento de alguns músculos fazendo até com que esses cessem suas atividades. Além disso, vítimas de acidente que tem a coluna cervical afetada têm o movimento dos músculos comprometido igualmente.

Diante desse cenário, há de se atentar para o fato de que essas pessoas têm suas atividades diárias dificultadas. Por isso surge a necessidade de novas interfaces que fazem com que o indivíduo interaja com o mundo.

O sinal eletromiográfico captado dos músculos que ainda tem alguma atividade controlável é uma alternativa para essas pessoas.

A proposta é criar uma interface para que o usuário acione um braço mecânico por meio de um sinal eletromiográfico de algum músculo, podendo ser até da face.

O sistema mecânico usado será feito a partir de peças de alumínio e 2 servo motores. Ele possui duas articulações, com um servomotor, em cada articulação que fará o movimento de flexão.

O desenvolvimento da interface visa melhorar a interação homem-máquina para as pessoas citadas anteriormente, fazendo com que a tarefa desejada seja alcançada de uma maneira eficaz, assim como todas as instruções para a realização desta.

### A. Eletromiografia

A Eletromiografia é uma técnica de monitoramento da atividade elétrica das membranas excitáveis, representando a medida dos potenciais de ação do sarcolema, como efeito de voltagem em função do tempo. O sinal eletromiográfico (EMG) é o somatório algébrico de todos os sinais detectados em certa área, podendo ser afetado por propriedades musculares, anatômicas e fisiológicas, assim como pelo controle do sistema nervoso periférico e a instrumentação utilizada para a aquisição dos sinais [1].

Em outras palavras, o sinal eletromiográfico (Eletromiograma) é a soma dos sinais provenientes da atividade elétrica das membranas das fibras musculares



X CEEL - ISSN 2178-8308  
24 a 28 de setembro de 2012  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

[3]. Essa atividade se propaga pelo corpo e sofre alterações de acordo com a maior ou menor intensidade da contração dos músculos.

O funcionamento do eletromiógrafo consiste em registrar uma atividade eletromiográfica em uma mídia de saída de registro (monitor de vídeo, por exemplo) por meio de um sistema de captação do sinal mioelétrico

O registro eletromiográfico que o eletrodo vai detectar no interior do músculo é justamente a somatória temporal e espacial de todos os potenciais de ação das fibras musculares da unidade motora (MUAPTs) que se propagam pelos tecidos até chegar aos eletrodos.

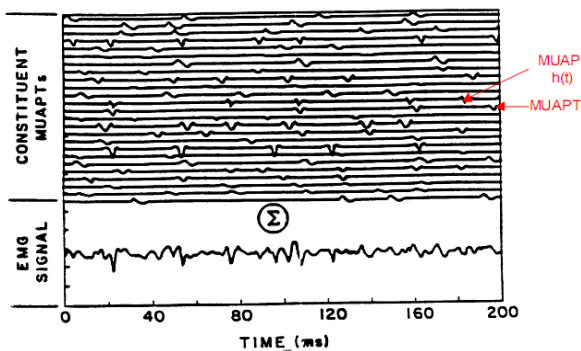


Fig. 1. Potenciais unitários e somatória dos potenciais de ação da unidade motora (MUAP)

Ao chegarem aos eletrodos, esses potenciais de ação geram uma amplitude de aproximadamente 1mV podendo chegar a 8mV, porém essa amplitude do sinal captado na superfície da pele pode variar dependendo do tipo de músculo, tipo e localização dos eletrodos, além de outros. Se não houver atividade muscular, essa amplitude é de aproximadamente 0mV. A faixa de frequência entre 10Hz a 500Hz é considerada normal para eletrodos de superfície (**Erreur! Source du renvoi introuvable.**), apresentando a faixa de maior energia entre 50 e 150Hz [5]. No caso dos eletrodos invasivos, essa frequência pode atingir valores de aproximadamente 10kHz, mas normalmente chegam a 5kHz.

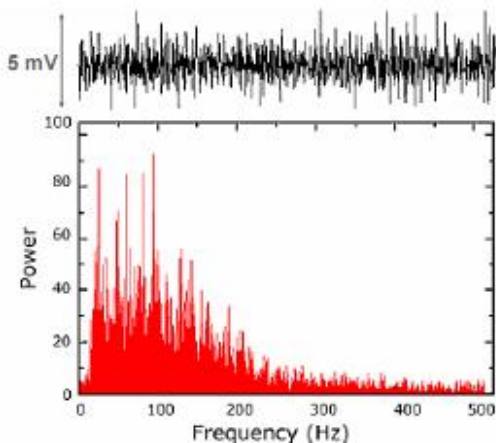


Fig. 2. Amplitude do sinal eletromiográfico e frequência do sinal eletromiográfico

A amplitude do sinal eletromiográfico sofre ação de interferências e ruídos, que vão desde ruídos do movimento dos cabos, de instrumentação, da interface eletrodo-pele, da instabilidade do sinal (abaixo de 10 Hz), até o vindo da rede elétrica de 60Hz, que devem ser atenuados no eletromiógrafo.

Além disso, há também o risco de *Crosstalk*, que é o sinal proveniente em medidas com eletrodos de superfície e que ocorre quando o sinal de um músculo próximo ao examinado é detectado por estes sensores, sendo, dessa forma, uma das mais importantes fontes de erro de interpretação de sinais EMG de superfície.

## II. OBJETIVOS

Desenvolver um braço robótico controlado por sinal eletromiográfico.

## III. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Diagrama de blocos

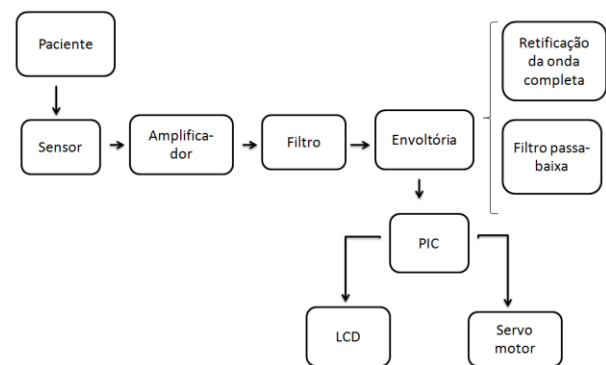


Fig. 3. Diagrama de blocos do sistema desenvolvido

É possível observar na Fig. 3 o diagrama de blocos do sistema. O sistema é composto por dois canais de captação do sinal eletromiográfico, onde cada um é tratado e usado para acionar um braço mecânico. Um microcontrolador PIC é usado para fazer a conversão analógica-digital do sinal captado, mandar valores de cada sinal em um display LCD e acionar os servomotores, onde cada canal aciona um braço do sistema mecânico. O LCD foi usado como uma interface visual visto que o sistema é embarcado.

### B. Sistema de captação

O sinal pode ser captado por dois tipos de eletrodos, os eletrodos de superfície, localizados sobre a região cutânea, ou eletrodos de agulha, inseridos na musculatura (intramusculares).

No caso dos eletrodos de superfície, um par de eletrodos de detecção de sinal é colocado no músculo de estudo. Esses eletrodos não podem estar distantes

demais, pois devem captar o mesmo sinal da mesma fibra muscular, representando desta forma o sinal da contração muscular daquela fibra. Por padrão, utiliza-se a distância de 2cm entre os eletrodos, desde que eles estejam sobre a mesma fibra muscular. Esta distância é utilizada para adultos normais.

A colocação de eletrodos intramusculares permite a captação de potenciais muito próximos à fonte geradora, e, assim, a influência do volume condutor nas fontes de corrente na membrana é ínfima.

Para a aquisição do sinal, além dos eletrodos no músculo onde se quer extrair os dados, é colocado um eletrodo de referência, localizado em um grupo muscular distinto ou em uma área de prevalência óssea.

A forma (geometria) e o tamanho do eletrodo interferem no sinal, sendo que, quanto maior foi o eletrodo, maior o ângulo sólido detectado e maior a amplitude do sinal EMG que sofrerá menor interferência da interface eletrodo/pele. Mas, deve-se lembrar que o tamanho do sensor não pode ser grande demais a ponto do efeito *Cross-talk* influenciar de forma significativa no sinal.

Diminuir a impedância existente entre o eletrodo e a pele também é de grande importância para diminuir as interferências. Para isso, faz-se a limpeza com álcool da região onde se encontram os eletrodos; realiza-se a tricotomia que é a raspagem dos pêlos no local; e em alguns casos em que o paciente vive em uma região de muita exposição ao sol, por exemplo, remove-se parte das células mortas para melhorar a captação do sinal.

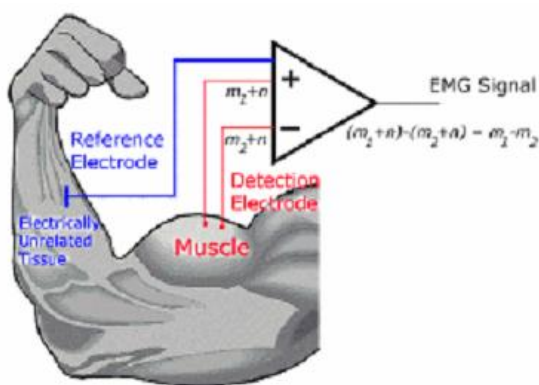


Fig. 4. Amplificador diferencial simples

### C. Características do protótipo

O ganho total gerado no trabalho foi de 1740, de forma que haja menos esforço físico para usuário ao medir o eletromiograma. Além disso, outros valores de ganho são 20 e 87 para o INA e amplificador, respectivamente.

Os filtros empregados com suas respectivas frequências de corte foram filtro passa alta passivo (10Hz), filtro passa baixa ativo de 3 polos (1000Hz), e filtro passa alta ativo de 3 polos (10Hz).

Após a aquisição do sinal vem a etapa de confecção da envoltória, composta de um circuito de retificação de onda completa de precisão e um filtro

passa baixa ativo de 3 polos com frequência de corte de 10 Hz.

O processamento ocorre no PIC18F4550, com conversão analógico-digital de 8 bits.

Além disso, o display LM016L, como visto na Fig. 5 e o servo motor HS422 compõem o dispositivo. O primeiro exibe os valores de tensão eletromiográfica em tempo real, enquanto o segundo, movimentos de rotação dos braços mecânicos.



Fig. 5. Valores da tensão do sinal amplificado e exibido no display LCD alfanumérico

### D. Sistema mecânico

O braço mecânico é composto de um suporte e um vínculo que atua como base para outros dois vínculos, que se movimentarão, conforme ilustra a Fig. 6.

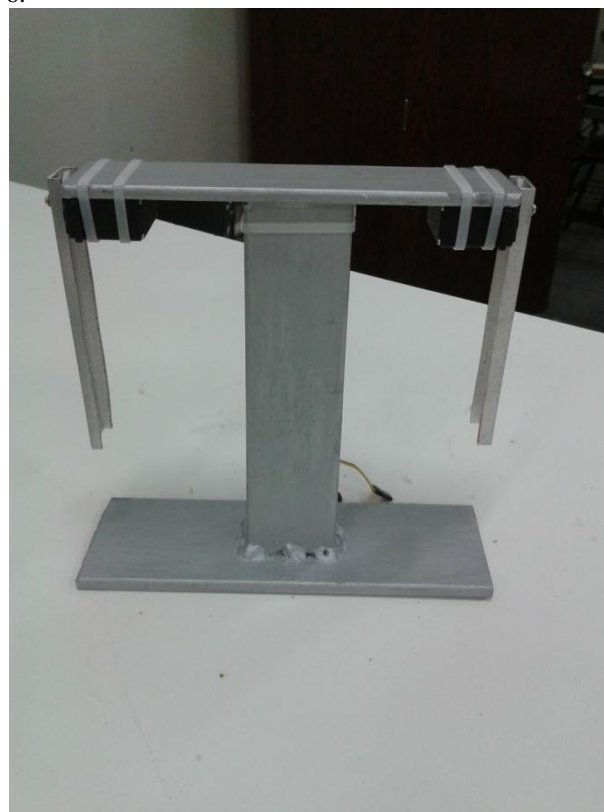


Fig. 6. Braço robótico



Este dispositivo rotaciona de acordo com o sinal eletromiográfico mensurado. Isto é, ao captar sinal de contração haverá giro de 90°, simulando o movimento de flexão e extensão. No entanto, cada um dos braços mecânicos (direito e esquerdo) somente se desloca se um sinal de contração dos respectivos braços está presente.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 7 mostra a placa do protótipo com seus componentes.

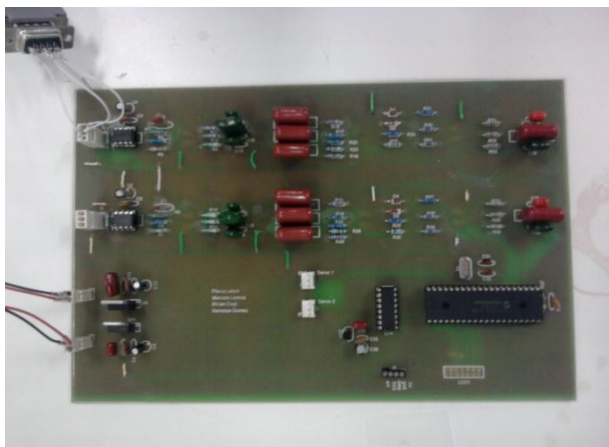


Fig. 7. Placa do protótipo

A Fig. 8 mostra a medição do sinal eletromiográfico no osciloscópio.

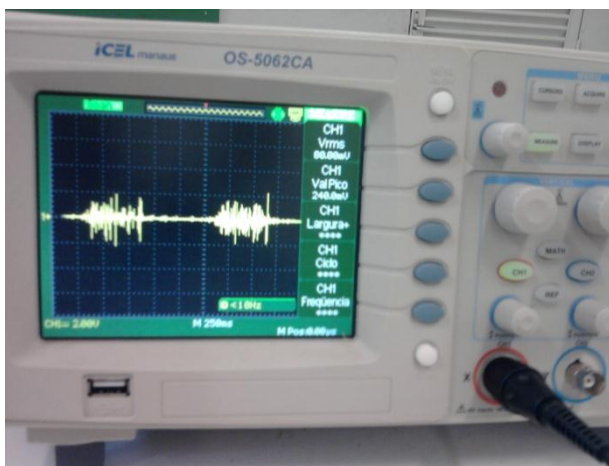


Fig. 8. Sinal EMG captado pelo sistema desenvolvido

A Fig. 9 e a Fig. 10 exibem os sinais retificados e a envoltória, respectivamente.

Em primeiro lugar, observamos dificuldade em captar o sinal eletromiográfico devido a soldas frias na placa. É muito importante se atentar para esse fato, pois alguns componentes queimaram e tiveram que ser trocados devido à má soldagem.

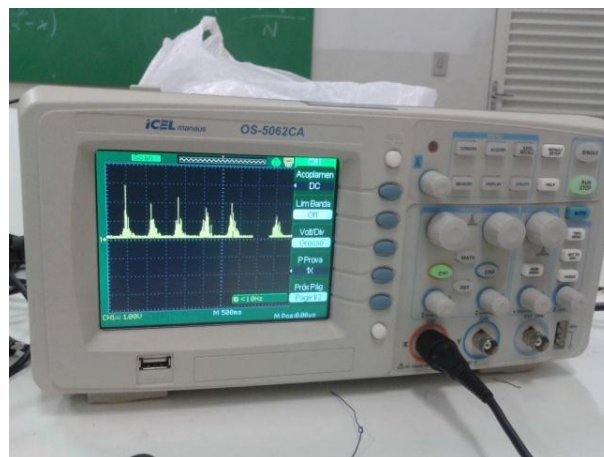


Fig. 9. Sinal EMG retificado

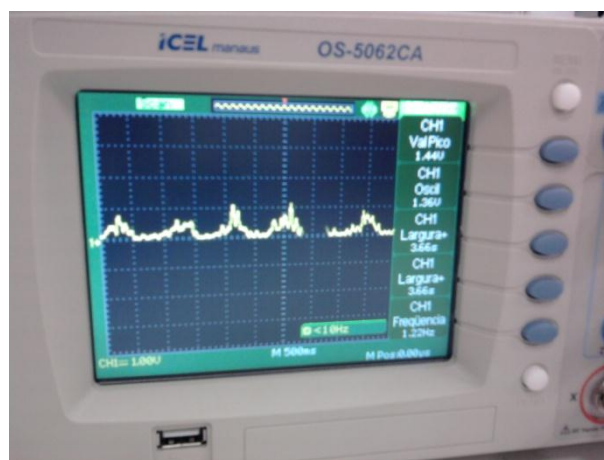


Fig. 10. Envoltória do sinal eletromiográfico

Foi necessário aumentar o ganho do circuito total devido à dificuldade de se alcançar um limiar considerável para acionar os servomotores.

Além disso, foi necessário fazer algumas adaptações na placa devido a erro de projeto e má confecção das trilhas. Algumas trilhas foram refeitas e algumas ligações foram invertidas.

Ocorreram, também, problemas na geração do PWM para acionar o motor. Foi necessário separar o circuito de alimentação dos motores devido a geração de harmônicos que interferiam no funcionamento do microcontrolador de modo a resetar o PIC.

#### V. CONCLUSÃO

O projeto desenvolvido é de grande importância para a área da saúde, visto que permite que os usuários manipulem um braço mecânico simplesmente fazendo um movimento, no próprio braço, que deseja realizar no braço mecânico.

Futuramente, desenvolvendo e aprimorando as técnicas utilizadas no projeto, pode-se aplicá-lo em outros objetivos mais complexos, como por exemplo, ter a capacidade de realizar uma cirurgia à distância. Atualmente, essa ideia vem sendo desenvolvida no

---

mundo inteiro, permitindo o desenvolvimento e avanço tecnológico no que diz respeito ao campo de trabalho da saúde.

Além disso, o trabalho realizado contribuiu para o crescimento profissional dos estudantes, possibilitando que os conhecimentos teóricos aprendidos no curso fossem colocados em prática.

## VI. AGRADECIMENTOS

Os sinceros agradecimentos ao professor Eduardo Lázaro Martins Naves pela disciplina ministrada que foi fundamental para o desenvolvimento deste projeto.

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ENOKA, R. M. Bases Neuromecânicas da Cinesiologia. São Paulo: Manole, 2000.

[2] GUYTON, A. C. & HALL, J. E. Textbook of Medical Physiology. Eleventh Edition. Elsevier Inc. Pennsylvania, 2006.

[3] MERLETTI R; PARKER, P. A. Electromyography Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications. IEEE Press Engineering in Medicine and Biology Society. 2004.

[4] PICCOLINO, M. Animal Electricity and the Birth of Electrophysiology: The Legacy of Luigi Galvani. Brain Research Bulletin, Vol. 46, No 5, pp 381-407. Elsevier Science Inc. USA, 1998.

[5] RICCIOTI, Antonio Carlos Duarte. Utilização de Wavelets no Processamento de Sinais EMG - 2006. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.