

## Sistema de controle para prótese mecânica

### Mechanical prosthesis control system

#### RESUMO

João Victor Frutuoso Kuhnen  
[joakuhnen@alunos.utfpr.edu.br](mailto:joakuhnen@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná, Toledo,  
Paraná, Brasil

Felipe Walter Dafico Pfrimer  
[pfrimer@utfpr.edu.br](mailto:pfrimer@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná, Toledo,  
Paraná, Brasil

Alberto Yoshihiro Nakano  
[nakano@utfpr.edu.br](mailto:nakano@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná, Toledo,  
Paraná, Brasil

O presente trabalho foi desenvolvido visando elaborar um sistema de controle de prótese mecânica de antebraço, baseado em uma estrutura tridimensional (3D) disponível em projeto de código aberto (*open source*). O sistema de movimentação utiliza servomotores acionados por um microcontrolador. Além disso, foram desenvolvidos sensores resistivos, construídos com um material chamado *velostat* para capturar a movimentação dos dedos do usuário. Futuramente, espera-se substituir os sensores por eletrodos para que o protótipo possa servir como uma prótese mecânica funcional que poderá ser instalada no coto de pacientes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Prótese. Microcontrolador. Impressão 3D. Arduino.

#### ABSTRACT

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



This work was developed aiming to elaborate a control system of mechanical forearm prosthesis, based on a three-dimensional (3D) structure available in an open source project. The movement system uses servo motors driven by a microcontroller. In addition, resistive sensors were developed, built with a material called *velostat* to capture the movement of the user's fingers. In the future, it is expected to replace the sensors with electrodes so that the prototype can serve as a functional mechanical prosthesis that can be installed as new artificial limbs on patients.

**KEYWORDS:** Prosthesis. Microcontroller. 3D print. Arduino.

## INTRODUÇÃO

Diariamente, realizamos atividades que requerem certas habilidades, sejam elas simples ou complexas, uma tarefa que para alguns pode ser simples, para outras pessoas pode ser bastante difícil. Segurar um copo, caminhar, vestir uma roupa, por exemplo, são atividades relativamente fáceis, mas se você possui uma deficiência nas mãos, nas pernas ou em algum outro membro do corpo, tudo isso se torna mais complexo. Com isso, visando facilitar e possibilitar as ações do dia a dia de pessoas com algum tipo de deficiência física existem ferramentas que vão permitir tais atividades.

A ideia de utilizar ferramentas para suprir alguma deficiência não é nova, foram encontradas espécies de próteses ortopédicas em múmias datadas de 600 a.C., as quais utilizavam madeira para reproduzir o membro faltante (BBC Brasil, 2007). Hoje em dia, devido ao avanço da tecnologia existem inúmeros tipos de próteses no mercado, podendo ser ela apenas estética, para uso no qual não requer muita tecnologia, em esportes de alto rendimento e atividades que requerem precisão de movimentos. Conforme a complexibilidade das atividades a serem realizadas o custo encarece não sendo de fácil acesso, com isso, houve o interesse de desenvolver uma prótese mecânica utilizando impressão 3D para estudar e desenvolver técnicas que possam ajudar na produção de próteses com um custo mais baixo e que seja operacional.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi o desenvolvimento de um sistema de controle eletromecânico para próteses equipadas com servomotores. O conjunto desenvolvido foi capaz de reconhecer os movimentos de membros, interpretar esses sinais e acionar um servomotor.

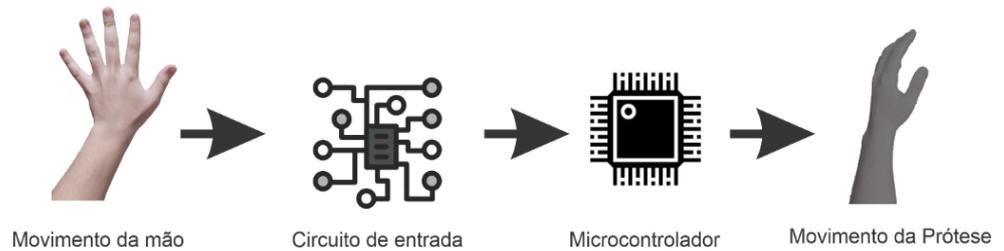
## MATERIAIS E MÉTODOS

Através de pesquisas na literatura sobre modelos de próteses, sensores, atuadores e sistemas de controle que já existem no mercado, foi elaborado um sistema de controle de uma prótese mecânica.

Iniciando pelo estudo, análise e escolha dos modelos de base, até a conclusão do projeto, foram realizadas quatro etapas a fim de obter uma boa execução do protótipo.

A primeira etapa consistiu em elaborar sensores para coletar dados de movimentação muscular, a fim de replicá-la em servomotor. Estes dados são enviados para um microcontrolador, o Arduino UNO, responsável pela movimentação dos servomotores.

Figura 1 - Diagrama de processos



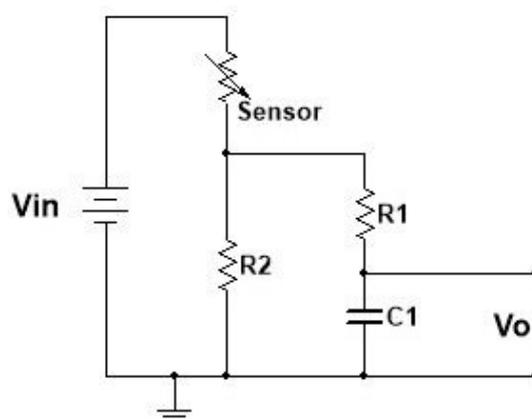
Fonte: Autoria própria (2020)

Para que movimentos musculares pudessem ser entendidos pelo microcontrolador foram produzidos sensores resistivos de baixo custo para simular impulsos bioelétricos reais. Tais sensores serão substituídos futuramente por outros que captam sinais reais de membros superiores, que serão adquiridos por meio de um sistema multicanal de aquisição de sinais musculares.

O sensor é feito a partir de uma folha chamada de *velostat* que possui uma resistência de base conhecida entre cada superfície que se altera conforme é pressionada ou deformada. Esse material foi utilizado para auxiliar no processo de redução de custos do projeto. Dessa forma, se o sensor for deformado pela ação de um músculo, sua resistência será alterada. Decidiu-se aplicar quatro sensores em uma luva para captar a movimentação de dedos, possibilitando o controle de quatro servomotores, de forma semelhante ao desenvolvido por Jeong et al (2011).

A segunda etapa de desenvolvimento do projeto consistiu na aquisição dos sinais da luva com sensores, através do conversor analógico-digital do Arduino UNO. Para isso, foi necessário a construção de um circuito de condicionamento de sinal, representado na figura 2. Este sistema é formado por um divisor de tensão (entre o sensor e R2) junto com um filtro passa baixa de 150 Hz (R1 e C1), para eliminar ruídos.

Figura 2 - Circuito divisor de tensão com filtro.



Fonte: Autoria própria (2020)

Na figura 2,  $V_{in}$  representa uma tensão fixa de 5 V que é dividida entre o valor fixo de  $R_2$  e o sensor, criando assim uma faixa de variação de aproximadamente 1,36 V entre a tensão máxima e mínima à medida que o sensor é deformado.  $V_o$  é o valor de tensão resultante, que é coletado por uma das entradas de conversão analógica-digital do Arduino UNO. As figuras 3 e 4 representam a leitura de um dos sensores quando a luva está fechada e aberta, respectivamente.

Figura 3 - Luva flexionada (tensão máxima)



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 4 - Luva estendida (tensão mínima)



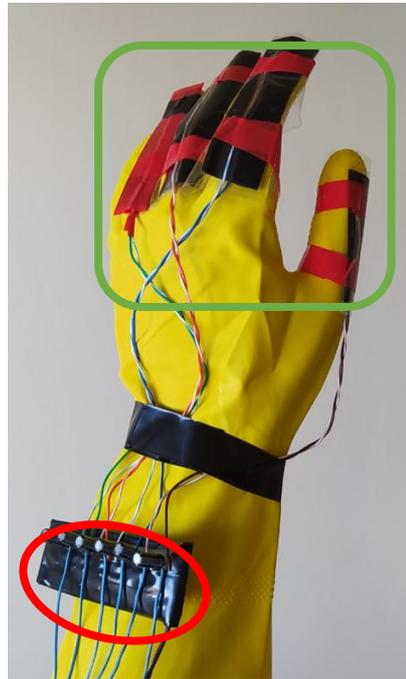
Fonte: Autoria própria (2020)

A figura 3 mostra a tensão máxima obtida quando a luva é flexionada, isso acontece devido a saída do sinal estar ligada a um resistor de valor fixo ( $R_2$ ). Sendo assim, quando a resistência da luva diminui a maior parte da tensão recai sobre  $R_2$ .

Já a figura 4 apresenta a tensão mínima obtida quando o sensor possui a máxima de resistência, aumentando assim a tensão sobre ele.

A figura 5 apresenta a luva com o circuito feito para a aquisição de dados, ela é composta por sensores feitos com *velostat* circulado em verde, os filtros passa-baixa de 150 Hertz e um circuito divisor de tensão, ambos circutados em vermelho.

Figura 5 - Luva com circuito de aquisição de dados, sensor de pressão circulado em verde, filtro passa-baixa de 150 Hertz e circuito divisor de tensão circutados em vermelho



Fonte: Autoria própria (2020)

A terceira etapa do projeto consistiu na movimentação dos atuadores a partir dos dados obtidos pela luva. A variação da resistência foi utilizada para saber o grau aproximado de movimentação dos dedos. Tendo esses valores na entrada, eles são processados através do Arduino UNO, os valores ajustados foram obtidos de maneira empírica até chegar numa proporção adequada para cada dedo, que aciona os atuadores, através de um *driver* quadruplo de servomotor acoplado ao Arduino UNO.

Na quarta etapa de desenvolvimento, fabricou-se apenas um dedo de uma prótese mecânica fixado em um suporte para testar e calibrar sua movimentação. Essa estrutura foi baseada no projeto InMoov, criado pelo designer francês Gael Langevin no ano de 2011. Verificou-se que o dedo acompanhou a movimentação de um dos dedos da luva. Futuramente, o sistema utilizará a prótese de braço completa feita em impressão 3D.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram obtidos bons resultados na etapa de aquisição de dados do sistema de controle sendo este composto por uma luva com circuito contendo os sensores, feitos a partir do material *velostat*, filtros e divisor de tensão. Após ajustes, o sensor apresentou uma resposta de abertura e fechamento proporcional ao

movimento obtido junto à luva, tendo uma boa resposta final considerando as limitações do microcontrolador (Arduino UNO) e dos servomotores utilizados. Um problema encontrado no sistema elaborado foi a sensibilidade a pequenas variações de pressão, em alguns momentos os sensores captavam pequenas variações de movimentação das mãos que eram involuntários fazendo com que sinais inesperados fossem processados e enviados aos servomotores mesmo com a utilização do filtro.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível, apesar das dificuldades, construir um sistema de controle de próteses com um custo baixo, levando em consideração os que existem no mercado. Mesmo com algumas limitações, futuramente o projeto poderá auxiliar no dia a dia e ser reparado caso haja necessidade devido a fácil disponibilidade de materiais. Espera-se que em poucos anos, com maior acesso à impressão 3D será possível peças mais baratas e com boa qualidade e muitas pessoas que necessitem de uma prótese serão beneficiadas.

Futuramente caso haja apoio de instituições regulamentadoras e de pesquisa, projetos como este podem ser inseridos e disponibilizados através de programas da rede pública, como o Sistema Único de Saúde, que já produzem próteses, mas que poderiam ter mais tecnologia nos modelos ofertados atualmente com um custo menor para o estado, podendo assim, aumentar o número de pessoas “fodas beneficiadas com próteses funcionais.

### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao professor Felipe Walter Dafico Pfrimer pela orientação no projeto, ao PIBIT junto a Fundação Araucária e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro à pesquisa e desenvolvimento deste projeto.

### REFERÊNCIAS

Dedo egípcio de 2,6 mil anos pode ser prótese mais antiga. **BBC Brasil**, c2007. Disponível em: [https://www.bbc.com/portuguese/ciencia/story/2007/07/070727\\_primeiraproteseegitofn.shtml](https://www.bbc.com/portuguese/ciencia/story/2007/07/070727_primeiraproteseegitofn.shtml)>. Acesso em: 26 de abr. de 2020.

JEONG, E.; LEE, J.; KIM, D. Finger-gesture recognition glove using velostat. *In*: 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, AUTOMATION AND SYSTEMS, Gyeonggi-do, Coreia do Sul, p. 206-210, 10 de jul. 2011. **Anais [...]**. Gyeonggi-do, Korea International Exhibition Center, 2011.

KAPANDJI, I. A. **Fisiologia Articular**. Volume 1. Ombro, cotovelo, prono supinação, punho e mão. 6ª ed. Ed. Guanabara Koogan, 2007. ISBN: 978-8530300524.

LANGEVIN, G. Finger Starter. **InMoov**, c2013. Disponível em:  
<<http://inmoov.fr/finger-starter/>>. Acesso em: 17 de dez. de 2019.

MAYER, P. **Projeto de prótese transradial de baixo custo com sensores de eletromiografia**. 2018. 165 f. Tese (Bacharelados em Design de Produto) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.