

CONSTRUÇÃO DE UM BRAÇO ROBÓTICO UTILIZANDO IMPRESSORA 3D PARA APLICAÇÃO COMO PRÓTESE DE MEMBRO SUPERIOR

Danielly Almeida da Silva¹

Dr. Diogo Ramalho de Oliveira²

RESUMO

O presente trabalho desenvolveu um braço robótico utilizando impressão 3D e componentes eletrônicos de baixo custo, com foco em automação e controle de movimentos. O objetivo é reproduzir o protótipo de uma prótese de um membro superior com base no *InMoov Robot*, tal objetivo foi alcançado ao finalizar a construção do protótipo. A metodologia envolve a impressão das peças estruturais, integração do arduino e servomotor, programação dos movimentos e testes práticos para avaliação de funcionamento. Os resultados demonstram que o protótipo reproduz movimentos básicos, atendendo aos requisitos funcionais estabelecidos. O trabalho evidencia a viabilidade do uso de tecnologias acessíveis para aplicações em dispositivos assistivos.

Palavras-chave: Prótese. Arduino. Impressão 3D.

ABSTRACT

This work developed a robotic arm using 3D printing and low-cost electronic components, focusing on automation and motion control. The objective was to reproduce a prototype of an upper limb prosthesis based on the *InMoov Robot*, an objective achieved upon completion of the prototype's construction. The methodology involved printing the structural parts, integrating the Arduino and servomotor, programming the movements, and conducting practical tests to evaluate its functionality. The results demonstrate that the prototype reproduces basic movements, meeting the established functional requirements. This work highlights the viability of using accessible technologies for applications in assistive devices.

Keywords: Prosthesis. Arduino. 3D Printing.

Data de aprovação: 30/10/2025.

¹ Bacharel em Engenharia de Controle e Automação. Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Três Lagoas, MS, Brasil. E-mail: daniellyas.206@email.com

² Doutor em Engenharia Elétrica. Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Três Lagoas, MS, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A inclusão social de pessoas com deficiência é um desafio complexo, que exige a superação de barreiras físicas, sociais e psicológicas. Segundo o Ministério da Saúde (2014), uma sociedade verdadeiramente inclusiva só será possível quando as pessoas com deficiência puderem viver com igualdade de condições e direitos, o que implica a oferta de recursos e tecnologias que promovam sua reintegração e qualidade de vida. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias assistivas, como as próteses mioelétricas (próteses controladas a partir de sinais musculares), se torna fundamental, especialmente para aqueles que sofreram amputações e buscam recuperar a funcionalidade e autonomia na realização de atividades cotidianas.

Segundo Pires et al. (2020), a amputação de membros, embora seja uma medida necessária em muitos casos devido a acidentes ou doenças, altera profundamente a vida do indivíduo, trazendo desafios não apenas físicos, mas também emocionais e sociais. A adaptação a essa nova realidade envolve processos como apoio psicológico, treinamento físico e, sobretudo, a utilização de próteses adequadas, que podem devolver parte da funcionalidade perdida e proporcionar ao usuário maior confiança e mobilidade.

A pesquisa sobre próteses mioelétricas tem ganhado destaque na bioengenharia. O principal propósito desse tipo de prótese é reproduzir com precisão os movimentos de um membro a partir dos sinais eletromiográficos (EMG) emitidos pelo próprio usuário. Isso é possível porque, mesmo após a amputação, estudos científicos mostram que os sinais musculares mantêm suas características e continuam presentes na região afetada (Bermudez, 2014).

O Limber Prosthetics & Orthotics, um projeto de Startup da Universidade da Califórnia, mostra que a fabricação das próteses com a utilização da impressão 3D no processo, permite a redução de custos entre 50% a 90%, ao mesmo tempo em que mantém a qualidade e o controle sobre a produção, possibilitando a personalização e o aprimoramento contínuo do protótipo (Patringenaru, 2022).

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo reproduzir o protótipo de uma prótese de um membro superior com base no *InMoov Robot*, utilizando impressora 3D. A pesquisa, realizada no espaço Maker do IFMS – Campus Três Lagoas, utilizou as habilidades do grupo de pesquisa em modelagem e impressão 3D, além da infraestrutura disponível no local.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a realização deste projeto, foi conduzida uma pesquisa sobre próteses, focando nos sistemas atualmente empregados, suas limitações e as soluções disponíveis. De acordo com Pott et al. (2021), a integração de novos sistemas de controle e materiais com as tecnologias de impressão 3D pode resultar em próteses mais acessíveis e personalizadas.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PRÓTESES

Segundo Carvalho (2003), as próteses podem ser classificadas de várias formas, mas, de maneira geral, são classificadas em dois tipos principais:

- **Próteses Passivas:** Não possuem qualquer forma de movimento controlado, servindo apenas para substituir a parte do corpo perdida esteticamente, sem interferir diretamente nas funções motoras do indivíduo.
- **Próteses Ativas:** Essas próteses utilizam sinais elétricos gerados pelos músculos residuais do paciente para controlar os movimentos do dispositivo. Isso permite que o usuário realize movimentos mais naturais e funcionais, o que resulta em maior autonomia e qualidade de vida.

De acordo com Oliveira e Silva (2020), a principal vantagem das próteses ativas está na capacidade de restaurar, parcialmente, a mobilidade do paciente, proporcionando-lhe maior autonomia, já a sua principal desvantagem é o custo mais elevado para produção devido às tecnologias utilizadas. A evolução dessa tecnologia tem se dado por meio do desenvolvimento de sensores mais precisos, sistemas de controle mais rápidos e a utilização de materiais mais leves e duráveis, o que torna as próteses mais eficientes e acessíveis. As próteses passivas, por outro lado, são utilizadas para substituir o membro esteticamente, o que as tornam mais acessíveis financeiramente.

2.2 IMPRESSÃO 3D NO DESENVOLVIMENTO DE PRÓTESES

A impressão 3D tem se consolidado como uma das tecnologias mais promissoras no campo da fabricação de próteses, oferecendo diversas vantagens sobre os métodos tradicionais de produção. De acordo com Barros, Fernandes e Mendes (2022), a impressão 3D permite a criação de próteses personalizadas a baixo custo, com alta precisão e flexibilidade de design. Essa tecnologia facilita o desenvolvimento de protótipos rápidos, possibilitando ajustes e melhorias contínuas no design da prótese. Além disso, a impressão 3D permite o uso de materiais biocompatíveis e leves, o que contribui para o conforto e a durabilidade das próteses.

Segundo Souza e Mendes (2023), a capacidade de imprimir componentes complexos de forma rápida e acessível tem revolucionado a produção de próteses, tornando-as mais acessíveis, especialmente em países com limitações orçamentárias e infraestrutura limitada. Dessa forma, a impressão 3D emerge como uma solução viável para a democratização das próteses, atendendo a uma maior gama de usuários e facilitando o processo de reabilitação. No contexto do TCC de Amorim (2018), a impressão 3D é uma ferramenta central no processo de criação de próteses mioelétricas personalizadas e adaptáveis, contribuindo com soluções que atendem às necessidades específicas de cada usuário.

A utilização de impressão 3D nas próteses mioelétricas oferece várias vantagens, como a possibilidade de produção de peças personalizadas e a redução de custos de fabricação (Souza e Mendes, 2023). No entanto, também foram identificados desafios em relação à escolha dos materiais, já que, embora filamentos como o ABS sejam amplamente utilizados por sua resistência e durabilidade, o custo de alguns materiais especializados e a necessidade de novos desenvolvimentos em materiais biocompatíveis e mais leves para tornar as próteses mais confortáveis ainda são obstáculos significativos (Souza e Mendes, 2023). Além disso, o tempo de impressão e a complexidade dos *designs* podem limitar a velocidade de produção e a quantidade de protótipos que podem ser fabricados em um curto período.

2.3 INMOOV ROBOT COMO EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D

O *InMoov Robot*, um robô desenvolvido inteiramente por meio de impressão 3D, oferece um exemplo claro de como essa tecnologia pode ser aplicada para a

criação de dispositivos acessíveis e funcionais. Criado por Gael Langevin em 2011, o *InMoov Robot* foi inicialmente concebido para melhorar a qualidade de vida de crianças hospitalizadas, sendo desenvolvido com baixo custo e fácil montagem (Langevin, 2011). A plataforma online disponibiliza os modelos de impressão para qualquer pessoa com acesso a uma impressora 3D, o que democratiza a tecnologia e permite a criação de soluções inovadoras. De acordo com Souza e Lima (2021), o *InMoov Robot* se destaca por ser um projeto de código aberto, o que significa que qualquer pessoa pode contribuir com melhorias, adaptações e novos modelos. Essa abordagem colaborativa tem potencial para acelerar a evolução das próteses e outros dispositivos assistivos, criando um ecossistema de inovação que é acessível globalmente.

A utilização do *InMoov Robot* no contexto das próteses mioelétricas contribui diretamente para a criação de soluções mais acessíveis e personalizadas, facilitando a reabilitação de amputados e a integração de tecnologias assistivas no cotidiano das pessoas. O trabalho de Amorim (2018) também segue essa linha de inovação aberta, utilizando plataformas e modelos colaborativos como o *InMoov Robot* para possibilitar a criação de próteses mioelétricas mais adaptáveis, permitindo uma evolução contínua na área de dispositivos assistivos.

Esses achados evidenciam não apenas os avanços na área de próteses mioelétricas e impressão 3D, mas também os desafios ainda a serem enfrentados para tornar essas tecnologias mais acessíveis e eficientes.

3 DESENVOLVIMENTO

A metodologia adotada neste trabalho segue uma abordagem prática e de pesquisa aplicada, voltada para o desenvolvimento de um braço robótico para aplicação como prótese de membro superior utilizando tecnologia de impressão 3D para a construção do protótipo.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os princípios de funcionamento das próteses mioelétricas, os avanços recentes em impressão 3D e os sistemas de controle e acionamento aplicados a esse tipo de dispositivo. Essa revisão foi essencial para compreender as inovações tecnológicas disponíveis e identificar as principais limitações relacionadas à adaptabilidade, funcionalidade e custo das próteses atualmente existentes.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a construção do protótipo, foram definidos os seguintes materiais:

- Filamento: Optou-se pelo filamento ABS, amplamente utilizado em impressão 3D, por sua resistência térmica, durabilidade e flexibilidade.
- Microcontrolador: O Arduino UNO foi inicialmente utilizado como unidade de processamento central, responsável por interpretar os sinais digitais e acionar os servomotores. Posteriormente, o sistema foi substituído por um Arduino Nano, visando melhor aproveitamento do espaço interno da estrutura.
- Servomotores: Foram empregados seis servomotores Servo TowerPro MG996R, responsáveis pelos movimentos individuais dos dedos e do pulso. Esses atuadores foram escolhidos por sua precisão, alto torque e suavidade nos movimentos, fundamentais para replicar gestos naturais da mão humana. Dos seis servomotores, quatro possuem uma faixa de rotação de 180° e os outros dois de 360°.
- Fonte de 5V e 3A (corrente contínua): foi escolhida por fornecer a tensão e corrente adequadas ao funcionamento dos componentes eletrônicos utilizados no projeto, garantindo estabilidade na alimentação e segurança dos dispositivos;

3.2 MODELAGEM E SELEÇÃO DAS PEÇAS DO MODELO 3D

Nesta etapa, foi realizada a análise e seleção das peças do modelo *InMoov Robot*. O modelo completo está disponível em arquivos no formato .stl, que permitem a visualização, modificação e posterior impressão 3D das partes que compõem o sistema mecânico da mão robótica.

Inicialmente, foi feito um levantamento de todas as peças disponíveis, identificando aquelas que compõem exclusivamente a mão e o antebraço. Essa etapa teve como objetivo garantir que apenas os componentes essenciais para o movimento dos dedos e do punho fossem utilizados, reduzindo a complexidade do protótipo e otimizando o tempo de impressão.

As principais peças selecionadas do modelo estão listadas a seguir:

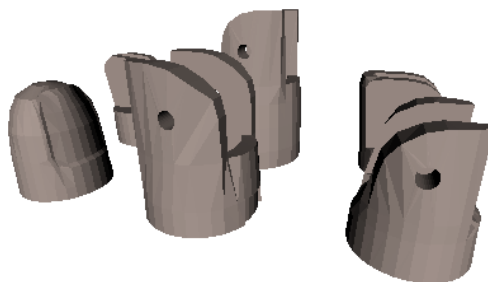
- Auriculaire: peça correspondente ao dedo mínimo (Figura 1);
- Index: referente ao dedo indicador (Figura 2);
- Majeure: componente do dedo médio (Figura 3);
- Ringfinger: referente ao dedo anelar (Figura 4);
- Thumb: correspondente ao polegar (Figura 5);
- Wristlarge e Wristsmall: estruturas responsáveis pela articulação e sustentação do punho (Figura 6);
- Robcap e Robpart: peças estruturais do antebraço, responsáveis pela fixação e movimentação dos dedos (Figura 7).

Figura 1 - *Auriculaire*: peça correspondente ao dedo mínimo (mindinho) da mão robótica.



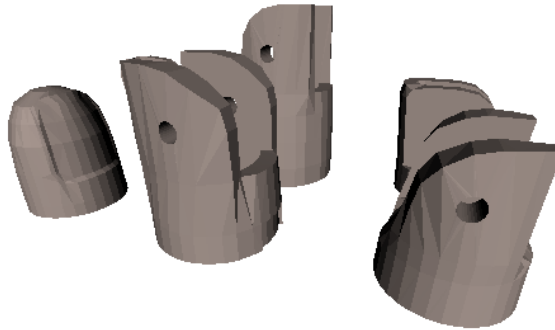
Fonte: *InMoov Robot* (2023).

Figura 2 - *Index*: referente ao dedo indicador.



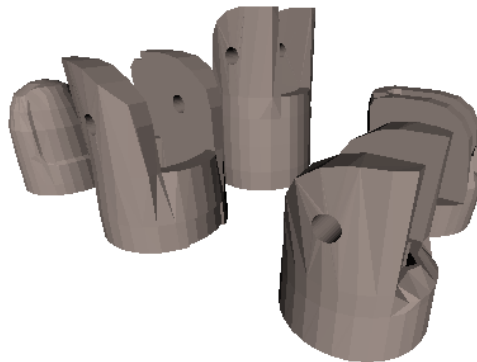
Fonte: *InMoov Robot* (2023).

Figura 3 - Majeure: componente do dedo médio.



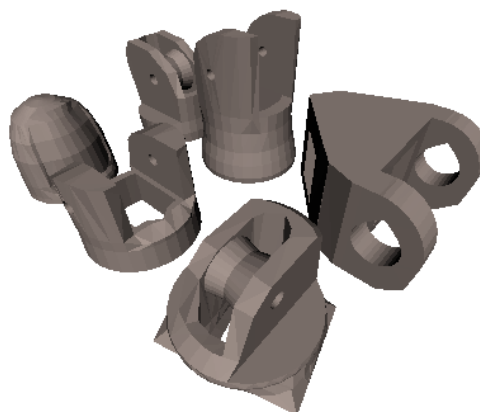
Fonte: *InMoov Robot* (2023).

Figura 4 - Ringfinger: referente ao dedo anelar.



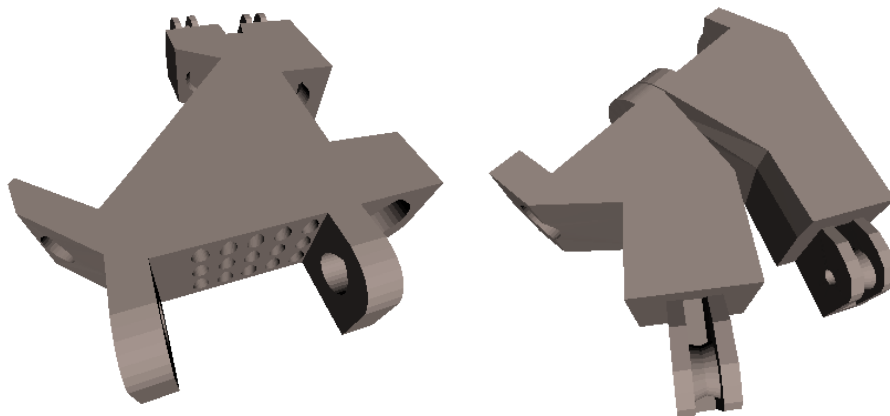
Fonte: *InMoov Robot* (2023).

Figura 5 - Thumb: correspondente ao polegar.



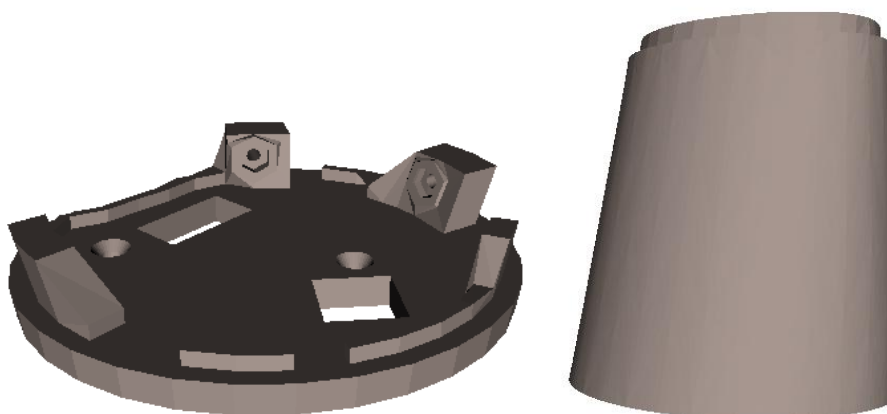
Fonte: *InMoov Robot* (2023).

Figura 6 - *Wristlarge* e *Wristsmall*: estruturas responsáveis pela articulação e sustentação do punho.



Fonte: *InMoov Robot* (2023).

Figura 7 - *Robcap* e *Robpart*: peças estruturais do antebraço, responsáveis pela fixação e movimentação dos dedos.

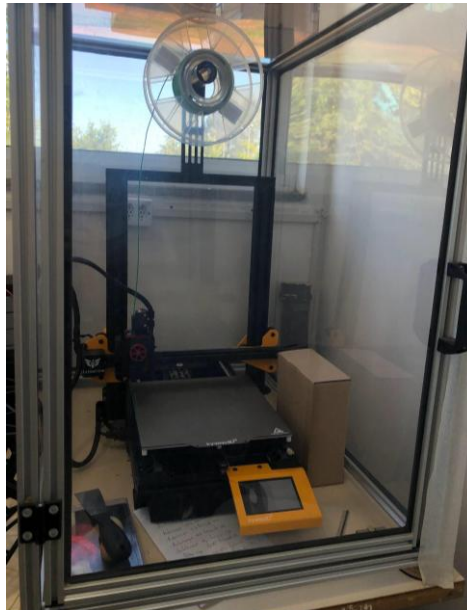


Fonte: *InMoov Robot* (2023).

3.3 IMPRESSÃO DO PROTÓTIPO

Após o download dos arquivos disponibilizados pelo *InMoov Robot*, as peças foram impressas na impressora 3D Tycoon Slim (Figura 8) da KYWOO3D que utiliza a tecnologia FDM, disponível no laboratório da instituição, utilizando o filamento ABS.

Figura 8 - Impressora 3D do laboratório de projetos do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul - Campus Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Concluída a impressão, procedeu-se à montagem das partes estruturais (Figura 9), utilizando adesivo instantâneo (Super Bonder) para fixação. Pequenos ajustes foram realizados para garantir encaixes adequados e mobilidade eficiente das articulações.

Figura 9 - Peças do projeto impressas no laboratório de projetos do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul - Campus Três Lagoas

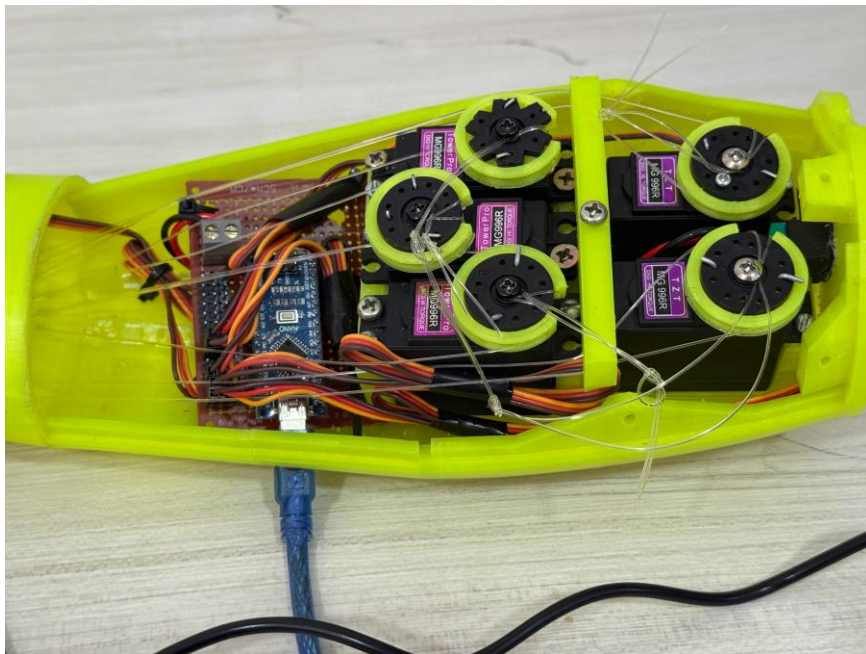


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.4 MONTAGEM E INTEGRAÇÃO ELETRÔNICA

A montagem iniciou-se com a fixação dos servomotores nas peças estruturais impressas. Em seguida, foi realizada a instalação do Arduino Nano, que recebeu alimentação de uma fonte externa de 5V (Figura 10). As conexões elétricas entre cada servomotor e o Arduino foram realizadas por meio de uma placa eletrônica que basicamente possui um barramento de GND e 5V, além de uma conexão individual entre o pino de controle do servomotor e as saídas digitais PWM do Arduino. Na Figura 10, os dois servomotores da direita possuem uma faixa de rotação de 360° e realizam o movimento do dedo mínimo e do polegar. Já os três servomotores da esquerda movimentam os demais dedos e possuem uma faixa de rotação de 180°, assim como o servomotor responsável pelo movimento do pulso, que não está visível nesta figura.

Figura 10 - Servomotores e arduino nano na estrutura interna do braço robótico.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Uma linha de pesca de 0,35mm foi utilizada para conectar os dedos aos servomotores, transmitindo o movimento mecânico de forma leve e eficiente.

3.5 APLICAÇÃO DO CÓDIGO NO ARDUINO E AJUSTES

Após a montagem, foram iniciados os testes da programação apresentada no Apêndice A. O movimento programado consistiu na abertura e fechamento sequencial da mão robótica.

Em um primeiro momento, observou-se falha de comunicação devido à necessidade de refazer uma soldagem na placa, o que foi posteriormente corrigido. Com a correção, o sistema passou a responder adequadamente, permitindo os movimentos dos dedos.

Durante as movimentações, um dos dedos apresentou quebra estrutural, sendo necessária nova impressão da peça. Após os reparos, observou-se que alguns dedos apresentavam movimento mais lento, possivelmente causado pelo atrito entre as partes internas. Verificou-se que o lixamento prévio das peças internas poderia reduzir esse atrito e melhorar o desempenho mecânico.

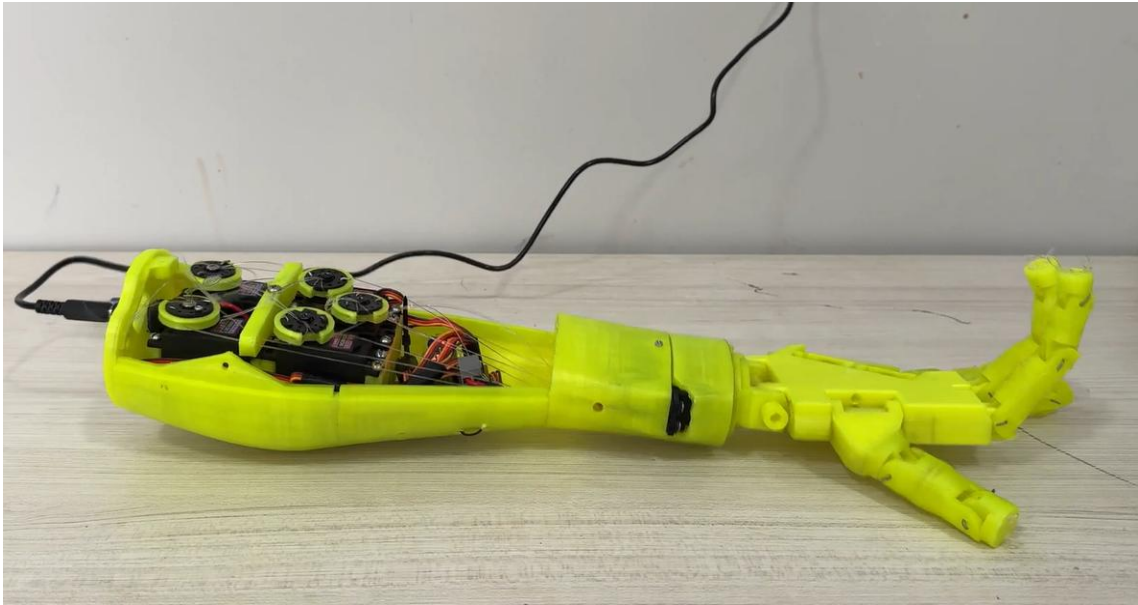
4 RESULTADOS

Os resultados obtidos neste Trabalho de Conclusão de Curso referem-se à conclusão da montagem das peças impressas e à integração da estrutura interna do protótipo do braço robótico. Durante essa etapa, foi possível observar a adequação das peças aos requisitos de design, com ajustes realizados conforme as especificações do projeto.

Com o sistema montado, iniciou-se a etapa de testes do código de controle responsável pelos movimentos de abertura e fechamento dos dedos. Após alguns ajustes como a correção de uma falha de soldagem e a reimpressão do dedo mínimo, que se rompeu durante os primeiros testes, foi possível obter o movimento de todos os dedos da prótese.

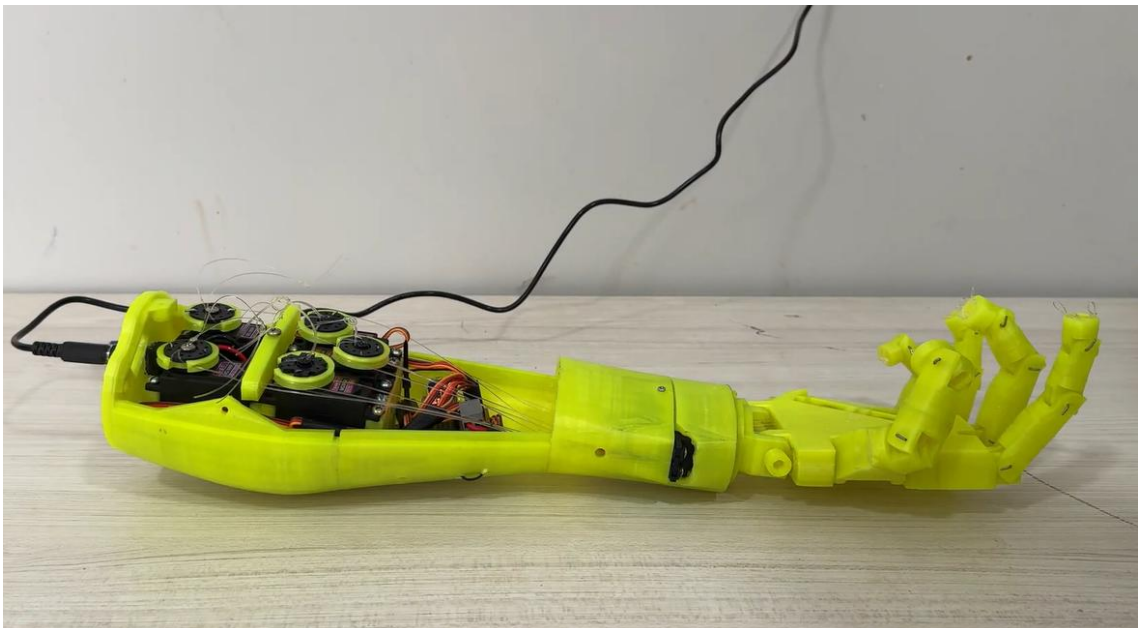
Durante os testes, observou-se que alguns dedos apresentaram movimento mais lento, o que foi atribuído ao atrito entre as peças internas impressas, como pode-se ver na Figura 11 onde todos os dedos estão abertos, porém dois dedos não vão até o fim da abertura. Constatou-se que o lixamento das peças antes da montagem pode reduzir esse atrito e melhorar a fluidez do movimento. Também se verificou que o sistema deve ser iniciado com a mão na posição fechada, evitando o excesso de rotação dos servomotores e garantindo o funcionamento correto da sequência de abertura e fechamento (Figura 12).

Figura 11 - Movimento do braço robótico com mão aberta.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 12 - Movimento do braço robótico com mão fechada.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Embora o controle mioelétrico ainda não tenha sido implementado nesta fase do projeto, os resultados obtidos demonstram o funcionamento da estrutura mecânica e do sistema de controle por servomotores, com uma limitação do movimento devido ao atrito das peças impressas, porém validando a viabilidade do uso da impressão 3D e de componentes de baixo custo no desenvolvimento de próteses robóticas acessíveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto alcançou resultados significativos, permitindo compreender de forma prática a integração entre mecânica, eletrônica e automação. A montagem da estrutura impressa, a instalação dos servomotores e a realização dos testes de movimento demonstraram que o sistema é promissor para aplicações futuras. Foram identificadas oportunidades de aprimoramento, como a redução do atrito entre as peças móveis, atrito que pode ser diminuído com o lixamento prévio das peças, o refinamento da montagem interna e a melhoria na resposta dos servomotores, com o uso de um código mais avançado, que podem elevar a precisão e a naturalidade dos movimentos.

O trabalho também evidencia o potencial da tecnologia de impressão 3D na fabricação de próteses personalizadas e de baixo custo, contribuindo para a democratização do acesso a dispositivos assistivos. Além disso, reforça a importância da interdisciplinaridade entre engenharia, biomedicina e tecnologia assistiva.

Como perspectivas futuras, propõe-se a implementação do controle mioelétrico, com o uso de sensores EMG para capturar os sinais musculares e traduzi-los em movimentos da prótese, além da otimização do design estrutural e da integração de algoritmos de controle mais precisos.

Outra melhoria diz respeito ao retorno dos dedos à posição inicial, uma das dificuldades observadas neste projeto, já que atualmente é necessário movimentar o servomotor em ambos os sentidos, um para fechar e outro para abrir a mão.

Nesse contexto, destaca-se que o projeto *InMoov Robot* lançou recentemente uma atualização que utiliza molas internas para realizar esse movimento de retorno, permitindo que os servomotores atuem apenas na abertura dos dedos, enquanto as molas executam o fechamento de forma natural e automática. A adoção dessa solução em futuras versões do protótipo pode reduzir o esforço dos atuadores, melhorar a eficiência energética e tornar os movimentos mais orgânicos e realistas.

Com essas melhorias, espera-se evoluir de um protótipo mecânico funcional para uma prótese inteligente, leve e interativa, consolidando os avanços iniciados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. F. **Desenvolvimento de uma prótese mioelétrica utilizando controle inteligente**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2018. Acesso em 3 mar. 2023.
- BARROS, A. P.; FERNANDES, L. S.; MENDES, D. **Impressão 3D na fabricação de próteses: uma análise crítica**. Revista de Tecnologia e Inovação, v. 29, n. 2, p. 78-85, 2022.
- BERMUDEZ, R.; BALBINOT, A.; SGUCK, A. **Caracterização de movimentos do segmento mão-braço através de wavelets e redes neurais artificiais**. XXIV Congresso brasileiro de Engenharia biomédica. Porto Alegre, 2014
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. **Departamento de gestão da educação na saúde**. Técnico em Órteses e Próteses. Brasília: Ministério da Saúde, 2014. Acesso em: 2 abr. 2023
- CARVALHO, J. **Amputação de membros inferiores: em busca da plena reabilitação**. 2 ed. Barueri: Editora Manole, 2003.
- LANGEVIN, G. *InMoov: Open-source 3D printed robot*. Disponível em: www.inmoov.fr. 2011. Acesso em: 10 out. 2022.
- OLIVEIRA, A. M.; SILVA, J. F. **Próteses mioelétricas: avanço e desafios**. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v. 12, n. 3, p. 35-45, 2020.
- PATRINGENARU, Ioana. **Student startup ‘Limber’ makes 3D-printed prostheses affordable and accessible**. University of California, 19 mai. 2022. Disponível em: <https://www.universityofcalifornia.edu/news/student-startup-limber-makes-3d-printed-prostheses-affordable-and-accessible>. Acesso em: 11 out. 2024.
- PIRES, G. K. W. et al. **Semantic equivalence in brazilian portuguese translation of the trinity amputation and prosthesis experience scales—revised**. Prosthetics and Orthotics International, v. 44, n. 2, p. 66–72, 2020.
- POTT, F. et al. **Inovações no design e controle de próteses mioelétricas**. Journal of Robotics Research, v. 18, p. 150-165, 2021.
- SOUZA, M. R.; MENDES, J. L. **Impressão 3D e o futuro das próteses: uma revisão**. Engenharia e Tecnologia, v. 10, n. 4, p. 112-120, 2023.
- SOUZA, J. S.; LIMA, R. B. **Plataformas de código aberto: InMoov e a democratização da robótica e próteses assistivas**. Journal of Open Source Robotics, v. 3, p. 45-53, 2021.

APÊNDICE A

```
#include <Servo.h>
```

```
Servo servo1; // dedo mínimo
Servo servo2; // dedo anelar
Servo servo3; // dedo médio
Servo servo4; // dedo indicador
Servo servo5; // dedo polegar
```

```
int pos = 0; // posição inicial
```

```
void setup() {
  servo1.attach(11); // dedo mínimo na saída digital 11
  servo2.attach(10); // dedo anelar na saída digital 11
  servo3.attach(9); // dedo médio na saída digital 11
  servo4.attach(6); // dedo indicador na saída digital 11
  servo5.attach(5); // dedo polegar na saída digital 11
}
```

```
void loop() {
  for (pos = 0; pos <= 180; pos += 2) { // aumenta a posição de 0 a 180 de 2
```

em 2

```
    servo2.write(pos);
    servo3.write(pos);
    servo4.write(pos);
    servo1.write(0);
    servo5.write(0);
    delay(15);
  }
```

```
  for (pos = 180; pos >= 0; pos -= 2) { // diminui a posição de 180 a 0 de 2 em
```

2

```
    servo2.write(pos);
```

```
servo3.write(pos);  
servo4.write(pos);  
servo1.write(180);  
servo5.write(180);  
delay(15);  
}  
servo2.write(0);  
servo3.write(0);  
servo4.write(0);  
servo1.write(90);  
servo5.write(90);  
delay(5000);  
}
```

AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao orientador Dr. Diogo Ramalho de Oliveira, pelo apoio, orientação e incentivo durante todas as etapas do desenvolvimento deste trabalho. Estende-se o agradecimento aos professores do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul Campus Três Lagoas, pela transmissão de conhecimentos e contribuições que foram essenciais para a realização deste estudo. Agradece também ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul Campus Três Lagoas pelo fornecimento de infraestrutura, laboratórios e recursos necessários, sem os quais este trabalho não teria sido possível.