



ATUAÇÃO DE UMA MÃO ROBÓTICA A PARTIR DA IDENTIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE UMA MÃO REAL UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL

Matheus Custódio V. Lana¹; Marcus Diadelmo²; Gabriel Cambraia Soares³; Arthur Caio Vargas e Pinto⁴

1 Matheus Custódio V. Lana, Bolsista (IFMG), Engenharia Elétrica, IFMG Campus Itabirito, Itabirito - MG; matheuscustodiovlana@gmail.com

2 Marcus Diadelmo, Campus Itabirito; marcus.diadelmo@ifmg.edu.br

3 Gabriel Cambraia Soares, Campus Itabirito; gabriel.soares@ifmg.edu.br

4 Arthur Caio Vargas e Pinto, Campus Itabirito; arthur.vargas@ifmg.edu.br

1. RESUMO

O número de trabalhadores afetados por doenças ocupacionais e acidentes de trabalho tem aumentado de forma significativa ao longo dos anos, gerando preocupações quanto à segurança no ambiente de trabalho e à necessidade de soluções eficazes para mitigar esses riscos. Em resposta a esse cenário, o uso de maquinário controlado à distância surge como uma alternativa promissora, possibilitando a execução de tarefas sem que os trabalhadores se exponham a ambientes perigosos ou insalubres. Uma das formas de viabilizar essa operação remota é por meio do controle de gestos e movimentos das mãos, onde o operador pode atuar em um ambiente seguro enquanto um sistema de visão computacional capta e reproduz seus gestos com precisão em um braço robótico (ou outro equipamento) posicionado na área de trabalho. Esse sistema de controle à distância, além de proteger o operador, possibilita que atividades arriscadas sejam realizadas com precisão e eficiência, minimizando a necessidade de contato direto com o ambiente hostil. Este projeto, portanto, propõe o desenvolvimento de um sistema de atuação de uma mão robótica por meio do reconhecimento dos movimentos de uma mão real, utilizando visão computacional para capturar as imagens e processá-las com precisão. Assim, foi construído um protótipo capaz de viabilizar a manipulação remota de objetos, em que os movimentos da mão robótica são fielmente reproduzidos a partir dos gestos de um operador situado em local seguro, longe dos perigos de áreas com alta insalubridade ou risco. O sistema foi desenvolvido em linguagem Python e utiliza bibliotecas avançadas de visão computacional para identificar a posição e orientação da mão do operador em tempo real. Todo o processamento é feito em uma placa *Raspberry Pi 4*, que, além de comandar a mão robótica, garante a execução em tempo real e a precisão na replicação dos gestos. Esse protótipo, de custo reduzido e fácil adaptação, representa um avanço no campo da segurança do trabalho e da automação, tornando viável o controle remoto em áreas onde a integridade física dos trabalhadores poderia estar comprometida.

Palavras-chave: Segurança no trabalho. Controle remoto. Visão computacional. Mão robótica.

2. INTRODUÇÃO

Em diversas situações, é preciso interagir com sistemas ou realizar ações sem contato direto, seja por questões de higiene, segurança ou risco. No Brasil, o número de acidentes e mortes no trabalho aumentou 30% em 2021 comparado ao ano anterior (Justiça do Trabalho, 2022). Além de prejudicar os trabalhadores, isso acarreta custos às empresas e consumidores. Nesses contextos, operar maquinário remotamente surge como uma solução, permitindo a manipulação de objetos sem exposição a riscos (Oliveira et al., 2018). A cidade de Itabirito, localizada no quadrilátero ferrífero em Minas Gerais, é um exemplo de área com intensa atividade mineradora, que, apesar das medidas de segurança, apresenta condições perigosas.

Os avanços em inteligência artificial, especialmente na visão computacional, potencializam a interação humano-máquina, permitindo a emulação da visão humana para tomada de decisões a partir de dados de câmeras (Almeida et al., 2021). A aplicação dessas técnicas tem ganhado destaque, principalmente para segurança do trabalho. Mangaroni et al. (2020) desenvolveram um sistema para identificar o uso de EPIs; Castro e Pereira (2020) aplicaram visão computacional em ferrovias; Almeida et al. (2021) propuseram uma solução para linhas de produção na Indústria 4.0; e Oliveira et al. (2019) desenvolveram um sistema para a classificação de componentes em subestações.

A interação humano-máquina por visão computacional oferece uma abordagem não intrusiva e eficiente. Detecção de mãos, por exemplo, inclui a extração de posições e orientações, permitindo controle por gestos. Rios-Soria et al. (2013) discutem técnicas para detectar posições dos dedos, enquanto Al-Hammadi et al. (2019) e Azar e Seyedarabi (2019) propõem métodos para reconhecimento de mãos e gestos com redes neurais e modelos de Markov. Uma aplicação prática envolve controle remoto de robôs por reconhecimento de gestos, replicando movimentos do operador em ambientes seguros.

Este projeto propõe um sistema de controle remoto de uma mão robótica via reconhecimento de movimentos com uma câmera. Visa criar um protótipo acessível, de baixo custo, capaz de detectar e replicar gestos da mão do operador em tempo real, permitindo a manipulação remota de objetos e a realização de trabalhos em ambientes perigosos.

3. METODOLOGIA

1. Impressão 3D e montagem da mão

Para iniciar o projeto, foi necessária uma estrutura que imitasse o formato e os movimentos dos dedos humanos. Essa estrutura foi impressa em 3D com uma Ender-3, usando filamento ABS de 1,75 mm e o molde proposto por Langevin (2012), como mostra a Figura 1.

Após a impressão, montou-se a mão robótica. Algumas peças foram coladas, enquanto as articulações receberam hastes de ferro para unir suas extremidades.

Com as peças montadas, os servomotores foram instalados e conectados a fios de aço cobertos por nylon, que, ao se tensionarem ou soltarem, movimentam os dedos conforme o gesto detectado (Figura 2). Foram utilizados cinco servomotores *Servo TowerPro MG996R*, um para cada dedo.

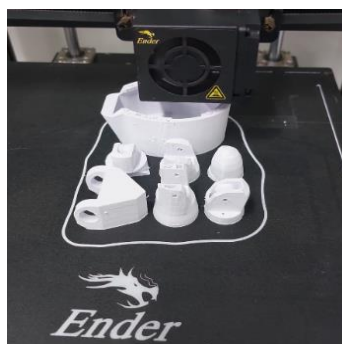


Figura 1– impressão das peças utilizando uma impressora 3D.

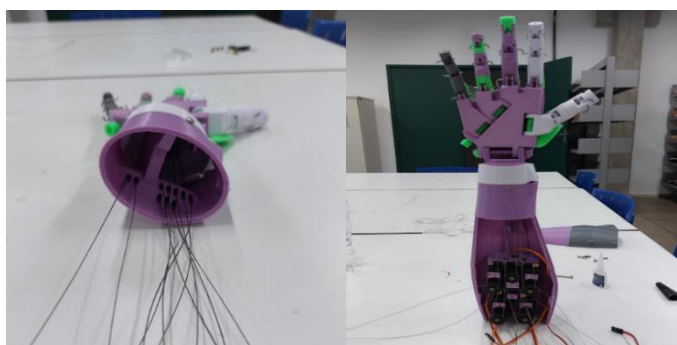


Figura 2 – Passagem do nylon e ligação aos servos motores.

2. Código de reconhecimento da mão e dos dedos.

Os movimentos da mão humana foram captados por uma câmera de alta definição, a Webcam Logitech C920. Os testes iniciais utilizaram LEDs e uma placa Arduino (Figura 3). O código de reconhecimento e rastreamento da mão foi desenvolvido com a biblioteca *OpenCV* (2019), amplamente utilizada em visão computacional e processamento de imagens. A *OpenCV* oferece ferramentas completas para tarefas com imagens e vídeos, sendo aplicada em projetos de visão computacional, robótica, realidade aumentada e aprendizado de máquina.

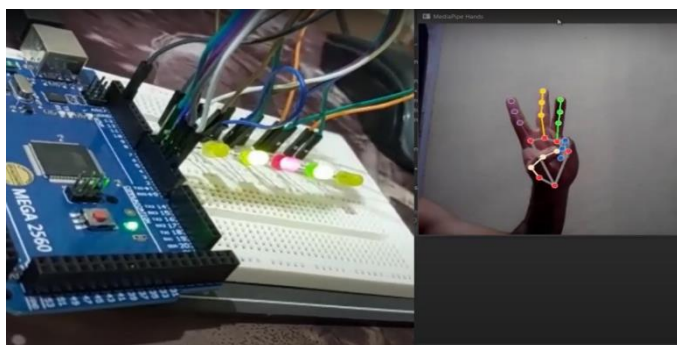


Figura 3 – Testes iniciais utilizando leds e Arduino.

A biblioteca *cvzone* (CV Zone, 2023) complementou a *OpenCV*, facilitando a detecção e o rastreamento de mãos com recursos específicos. A *cvzone* simplifica a implementação, criando uma interface direta para tarefas de reconhecimento de mãos humanas.

Funcionamento da *OpenCV* com *cvzone* para detecção de mãos:

- **Importação de bibliotecas:** Inicia-se com a importação da *OpenCV* e da classe *HandDetector* da *cvzone*.
- **Configuração do detector:** Cria-se uma instância do *HandDetector* com parâmetros específicos, como nível de confiança (*detectionCon*) e número máximo de mãos rastreadas (*maxHands*).
- **Captura e processamento de vídeo:** A câmera captura vídeos em tempo real, processando cada quadro para detectar mãos.
- **Detecção e rastreamento:** O detector identifica regiões de mãos e rastreia seus movimentos, analisando a posição dos dedos para interpretar gestos.
- **Visualização e controle:** As informações obtidas controlam aplicativos ou dispositivos com base nos gestos.

A integração da *OpenCV* com a *cvzone* é ideal para aplicações interativas de gestos e controle remoto, tornando a detecção de mãos rápida e eficiente, sem sobrecarga computacional de redes neurais.

3. Código da leitura e movimentação dos servomotores.

Com a identificação e rastreamento da mão concluídos, o código aciona os servomotores através do *Raspberry Pi4*, um computador de placa única desenvolvido pela *Raspberry Pi Foundation* (Raspberry, 2019). Lançado em junho de 2019, o *Raspberry Pi4* trouxe melhorias expressivas em desempenho e funcionalidades em comparação aos modelos anteriores, conforme ilustrado na Figura 4, que mostra a conexão dos componentes.

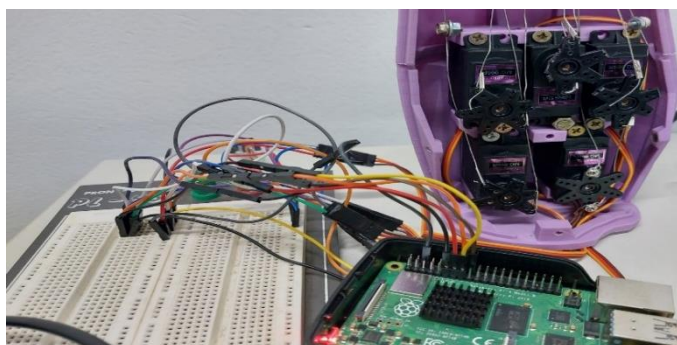


Figura 4 – circuito da conexão do Raspberry Pi4 com os servomotores.

O código para o *Raspberry Pi4* inicia com a inclusão da biblioteca "RPi.GPIO", permitindo o acesso aos pinos GPIO para conexão com os servomotores. Em seguida, define-se quais pinos GPIO serão usados para os motores. O

sistema de identificação de mão fornece um vetor binário, onde 1 indica que o dedo está levantado e 0, que está abaixado. O código lê este vetor para identificar as posições dos dedos e acionar os servomotores correspondentes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O principal objetivo do projeto foi construir uma mão robótica capaz de imitar os movimentos dos dedos de uma mão real, usando um sistema embarcado e visão computacional. Com a chegada dos materiais, iniciou-se a montagem com o *Raspberry Pi4*, uma webcam, cinco servomotores, e fios de nylon para possibilitar os movimentos dos dedos. Os servos foram posicionados dentro do braço robótico, e o nylon passou pela estrutura da mão. Após conectar os servos ao *Raspberry Pi4*, surgiram erros na biblioteca *mediapipe* do código de identificação da mão. Diversas tentativas de resolução foram feitas até que a *cvzone* foi adotada como alternativa, substituindo a *mediapipe* para identificação da mão e posições dos dedos. O código final utilizou as bibliotecas *OpenCV* e *cvzone*, importando o módulo “*HandTrackingModule*” para rastreamento das mãos.

Um dos maiores desafios foi garantir a tensão adequada do nylon para controlar os movimentos dos dedos. Com ajustes na rotação dos servomotores, foi possível obter movimentos mais precisos e evitar que dedos se sobrepusessem. Por exemplo, ajustou-se o nylon e a rotação dos servos para evitar que o indicador e o polegar se bloqueassem ao fechar, o que poderia impedir a abertura correta. Esses ajustes, ilustrados na Figura 5, asseguraram que cada dedo pudesse se mover livremente, sem interferir no movimento dos dedos vizinhos.

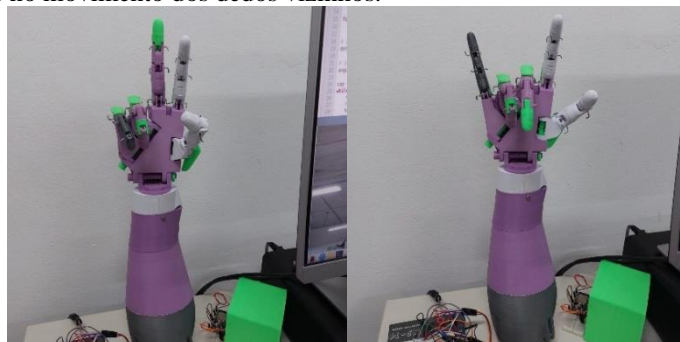


Figura 5 – Movimentos realizados por meio da identificação da mão humana.

Durante a montagem da mão robótica, impressa em 3D, as peças iniciais apresentaram rigidez excessiva, tornando-as quebradiças e incapazes de suportar pequenas deformações. Para resolver isso, algumas peças foram reimpressas com ajustes que aumentaram sua flexibilidade e resistência, como a redução da densidade do preenchimento, a diminuição da temperatura do bico da impressora e a redução da velocidade de impressão. Em alguns casos, trocar o material de impressão pode ser uma alternativa. Esses ajustes podem impactar a qualidade das peças, então é recomendável testar diferentes configurações e fazer alterações graduais até obter o resultado ideal.

O funcionamento do sistema completo foi registrado em vídeo, disponível neste link: <https://youtube.com/shorts/TKwb7fEXROI>.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a metodologia e os resultados obtidos com o desenvolvimento do projeto de pesquisa "Atuação de uma mão robótica a partir da identificação de uma mão real utilizando visão computacional". O projeto foi concluído com sucesso, atendendo plenamente aos objetivos estabelecidos: a mão robótica construída imita com precisão os movimentos de uma mão real. Os resultados alcançados confirmam a eficácia do sistema, incentivando futuras explorações e aprimoramentos dessas tecnologias em novos projetos no IFMG Campus Itabirito.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. D. F; Lima, J. P. O; OLIVEIRA, J. V. M; OLIVEIRA, R. C; OLIVEIRA, E. F. **Arquitetura de sistema em nuvem para apoio à implantação de visão computacional em linhas de produção na Indústria 4.0**. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI. 2021.



AL-HAMMADI, M; MUHAMMAD, G; ABDUL, W; ALSULAIMAN, M; HOSSAIN, M. S. **Hand gesture recognition using 3D-CNN model.** IEEE Consum Electron Mag. v. 9, n. 1, p. 95–101. 2019.

AZAR, S. G; SEYEDARABI, H. **Trajectory-based recognition of dynamic Persian sign language using hidden Markov model.** Comput Speech Lang. v. 61. 2020.

CASTRO, L. B; PEREIRA, F. G. **Inspeção de Componentes de Vagões Ferroviários Baseado em Visão Computacional e Aprendizagem Profunda.** In: Congresso Brasileiro de Automática-CBA. 2020.

CV Zone. **Computer Vision Zone**, 2023. Disponível em: <https://www.computervision.zone/>. Acesso em: 10 set. 2023.

LANGEVIN, G. **InMoov - Body parts library**, 2012. Disponível em: <https://inmoov.fr/inmoov-stl-parts-viewer/?bodyparts=Left-Hand>. Acesso em: 10 jul. 2023.

Justiça do Trabalho. **Abril Verde: Brasil registrou crescimento de 30% em óbitos e acidentes de trabalho em 2021 na comparação com o ano anterior.** Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.trt4.jus.br/portais/trt4/modulos/noticias/501143>. Acesso em 03 out. 2023.

MANGARONI, F. M. **Reconhecimento do uso de EPI por meio de visão computacional utilizando uma CNN.** Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário FEI. 153 p. 2020.

RASPBERRY. **Raspberry Pi — Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi.** Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/>. Acesso em: 15 set. 2023.

RIOS-SORIA, D. J; SCHAEFFER, S. E; GARZA-VILLARREAL, S. E. **Hand-gesture recognition using computer-vision techniques.** 21st International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, 2013.

OLIVEIRA, B. A. S; ASSIS, S; SASAKI, R. **Aplicativo android para avaliar a qualidade da pulverização em condições de campo.** Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada, v. 2, n.1, p. 15–23. 2019.

OPENCV. **OpenCV library**, 2023. Disponível em: <https://opencv.org/>. Acesso em: 10 jul. 2023.