



DESENVOLVIMENTO DE UMA MÃO ROBÓTICA COM CONTROLE MULTIMODAL: UMA ABORDAGEM COM METODOLOGIA PJBL

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6136

Autores: DANILO PEREIRA PINTO, ARTHUR FERREIRA LEITE, THIAGO TOSTES MUNCK, YSABELLY CRISTINA FERNANDES DE SOUZA, MARIANA LUCIANO SAAR

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma mão robótica com controle multimodal, concebida como ferramenta de aprendizado prático no contexto do grupo PET Elétrica da UFJF. A proposta adota a Metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (Project-Based Learning - PjBL), promovendo a integração de conhecimentos multidisciplinares por meio da construção de uma solução funcional, acessível e educativa. A aplicação de diferentes tecnologias em um único protótipo permitiu um estudo mais direcionado e simplificado das metodologias de controle utilizadas, como visão computacional, aplicativo móvel e sensores musculares adaptados. A estrutura física do protótipo foi baseada no modelo open-source InMoov, com adaptações para fins educacionais e expositivos. O sistema foi testado com sucesso, apresentando boa resposta nos três modos de controle. Além de permitir a aplicação dos conhecimentos adquiridos durante a graduação, o projeto demonstrou potencial para fins educacionais e de inclusão.

Palavras-chave: Mão robótica, controle multimodal, PjBL, acessibilidade

DESENVOLVIMENTO DE UMA MÃO ROBÓTICA COM CONTROLE MULTIMODAL: UMA ABORDAGEM COM METODOLOGIA PJBL

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a integração entre as áreas da engenharia e da medicina tem sido responsável por impulsionar uma série de avanços tecnológicos significativos, tais como robôs operados remotamente, sistemas cirúrgicos e próteses biomecânicas avançadas. Essas inovações não apenas aprimoraram as práticas médicas, como também contribuíram para elevar a qualidade de vida, a precisão em procedimentos clínicos e a promoção da inclusão social e autonomia para pessoas com deficiência.

No entanto, apesar dos avanços, pessoas com deficiência física continuam enfrentando obstáculos que limitam sua plena participação em atividades sociais, profissionais e culturais. Conforme estimativas do IBGE (2019), cerca de 6,28% da população brasileira, o que corresponde a aproximadamente 13,2 milhões de indivíduos, apresenta algum tipo de deficiência física. Embora os dados não sejam recentes, eles ainda refletem a relevância do problema. Diante disso, a tecnologia tem se mostrado uma ferramenta poderosa para promover a inclusão, oferecendo meios que favorecem a autonomia e a integração dessas pessoas na sociedade.

Com base nesse contexto, o presente projeto tem como objetivo desenvolver uma mão robótica funcional, utilizando materiais de baixo custo, plataformas de código aberto e uma abordagem educacional fundamentada na metodologia Project Based Learning (PjBL) (SRIDHARA, 2005). A proposta vai além de construir uma solução acessível para simulações de próteses, ao buscar também estimular a formação completa dos alunos participantes, unindo teoria e prática e incentivando o desenvolvimento de competências técnicas e socioemocionais.

Além disso, o projeto propõe um sistema de controle multimodal, investigando diferentes maneiras de interação com o dispositivo robótico, como sensores fisiológicos, aplicativos móveis e recursos de visão computacional. Dessa forma, a iniciativa vai além da simples reprodução de movimentos dos dedos, visando criar uma base de conhecimento flexível e adaptável a diversas realidades, além de fomentar a formação dos estudantes ao consolidar a aprendizagem por meio da prática aplicada.

2 METODOLOGIA

A aplicação da robótica em contextos sociais e funcionais, como o desenvolvimento de próteses acessíveis, representa uma importante convergência entre engenharia e impacto humano. Essa motivação levou a equipe a desenvolver uma solução prática e educativa, integrando os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação. Para isso, a metodologia PjBL foi adotada, promovendo a aprendizagem ativa, colaborativa e interdisciplinar.

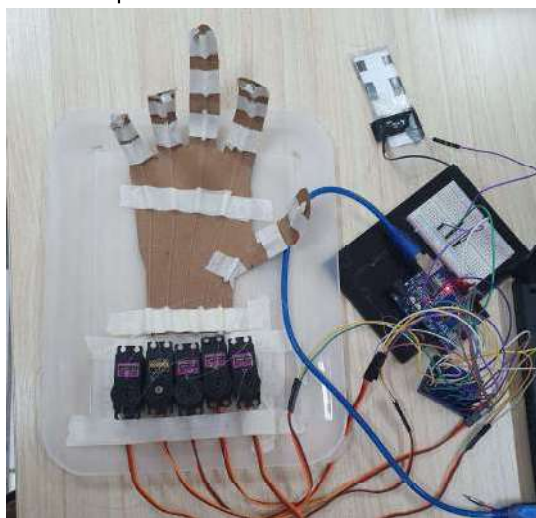
O projeto foi idealizado, estruturado e executado por uma equipe multidisciplinar de estudantes do Programa de Educação Tutorial do Ministério de Educação Da Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora (PET Elétrica UFJF). A metodologia

Project-Based Learning (PjBL) orientou o desenvolvimento do projeto, permitindo que os estudantes definissem metas, estabelecessem cronogramas e conduzirem cada etapa do desenvolvimento, desde a fase de pesquisa inicial até os testes finais do protótipo. A execução exigiu articulação entre diferentes áreas do conhecimento da engenharia, promovendo a integração de conteúdos teóricos com habilidades práticas.

2.1 Prototipagem inicial

O projeto iniciou-se com a construção de protótipos em papelão (visto na “Figura 1”), com o objetivo de estudar e entender o mecanismo de movimentação dos dedos. Foram testados motores de baixo custo e sensores flexíveis confeccionados manualmente, com base em experiências e adaptações de projetos similares (GUIMARÃES, 2019). Essa fase foi essencial para validar o conceito e identificar as limitações dos materiais utilizados. Por exemplo, a utilização de sensores flexíveis caseiros apresentou como principal limitação a detecção apenas de comandos binários (abertura ou fechamento dos dedos), devido à baixa resistência mecânica e simplicidade dos materiais. Apesar dessas limitações, os testes realizados contribuíram significativamente para o entendimento das exigências mecânicas e eletrônicas para confecção da estrutura final.

Figura 1 – Protótipo feito em papelão com acionamento por sensor flexível caseiro.



Fonte: Desenvolvido pelos autores

2.2 Estrutura física

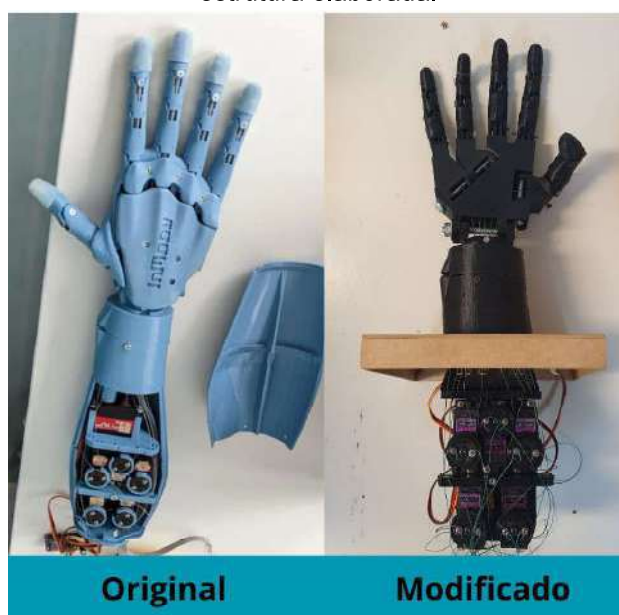
Durante a fase de definição da estrutura final, realizou-se uma pesquisa aprofundada sobre diferentes modelos de mãos robóticas open-source disponíveis na comunidade maker. O objetivo era encontrar uma estrutura que atendesse aos requisitos de modularidade, compatibilidade com impressão 3D, documentação detalhada e facilidade de integração com componentes eletrônicos de baixo custo. Entre os modelos avaliados, destacam-se o RobotNanoHand, o YouBionic e o InMoov.

Após análise comparativa, optou-se pela adaptação do modelo InMoov (LANGEVIN, 2012), desenvolvido originalmente para aplicações humanoides. A escolha se justificou por diversos benefícios: trata-se de um projeto amplamente testado, com comunidade ativa, modularidade elevada que permite modificações sem comprometer a funcionalidade geral, e grande compatibilidade com impressoras 3D de pequeno porte.

Para facilitar a demonstração pública expositiva do projeto em eventos, foram realizadas modificações na estrutura original. A articulação do punho foi removida, reduzindo a complexidade mecânica e a quantidade de motores necessários. Também foi utilizada uma caixa de MDF como base de apoio, sustentando a estrutura do punho e mão e ocultando todos os servomotores e componentes eletrônicos. O comparativo entre a estrutura proposta e a desenvolvida pode ser observado na “Figura 2”.

Para garantir a viabilidade mecânica e estética das adaptações, a equipe realizou uma modelagem tridimensional completa no software Fusion 360. Essa etapa permitiu simular os encaixes, testar a disposição dos componentes e antecipar possíveis problemas de montagem, além de orientar a impressão 3D das peças modificadas.

Figura 2 – Comparativo entre estrutura InMoov e estrutura elaborada.



Fonte: Desenvolvido pelos autores

2.3 Materiais

Com base nos testes e ajustes realizados, a estrutura final da mão robótica (vista na Figura 3) foi construída a partir dos seguintes materiais:

Figura 3 – Estrutura completa do projeto segurando um objeto de demonstração.



Fonte: Desenvolvido pelos autores

- ESP32: Microcontrolador com conectividade Wi-Fi e Bluetooth, utilizado como unidade principal de controle do sistema, responsável por processar os comandos e acionar os atuadores.
- Servomotores MG996R: Foram utilizados cinco servos, cada um acoplado a uma polia responsável pelo acionamento de um dedo da mão robótica por meio de tração de fios.
- Fio de pesca trançado: Atuando como tendões artificiais, cerca de 60 cm foram utilizados por dedo, conectando as pontas dos dedos às polias dos motores.
- PCB personalizada: Facilitou a integração dos componentes eletrônicos, organizando as conexões entre o ESP32, servos e a alimentação elétrica.
- Fonte de alimentação: Duas baterias portáteis (power banks) foram utilizadas, uma dedicada ao ESP32 e outra aos servomotores. Ambas com saída de 5V/2,1A e capacidade de 10.000 mAh, garantindo autonomia e portabilidade.
- Peças impressas em 3D: Responsáveis pela estrutura mecânica da mão, incluindo os dedos, articulações e suportes para os motores.
- Caixa em MDF: Utilizada como base para fixação dos componentes eletrônicos e para proteção do sistema.

2.4 Sistemas de controle

A etapa de controle da mão robótica foi central para o projeto, exigindo pesquisa, testes e adaptações para garantir a interação eficaz entre o usuário e o protótipo. O principal objetivo foi explorar diferentes formas de comando que proporcionassem acessibilidade e robustez na comunicação com a estrutura, considerando as limitações dos sensores disponíveis e os recursos de hardware adotados.

Foram escolhidas três abordagens principais de controle, cada uma baseada em uma tecnologia distinta, permitindo a diversificação do uso do protótipo em diferentes contextos acadêmicos e expositivos.

Aplicativo móvel

Desenvolvido na plataforma MIT App Inventor, o aplicativo oferece a criação de uma interface intuitiva (vista na “Figura 4”) com botões ilustrados, permitindo ao usuário selecionar gestos pré-definidos ou ativar dedos individualmente de forma simples e acessível, mesmo sem conhecimentos técnicos.

A comunicação ocorre por meio de conexão Bluetooth com o microcontrolador ESP32, presente na estrutura física, que recebe os comandos e os interpreta para acionar os motores apropriados. Cada gesto ou dedo selecionado no aplicativo é convertido em uma combinação específica de sinais, possibilitando o movimento coordenado dos servos responsáveis pelos dedos da estrutura.

Figura 4 – Aplicativo móvel desenvolvido.



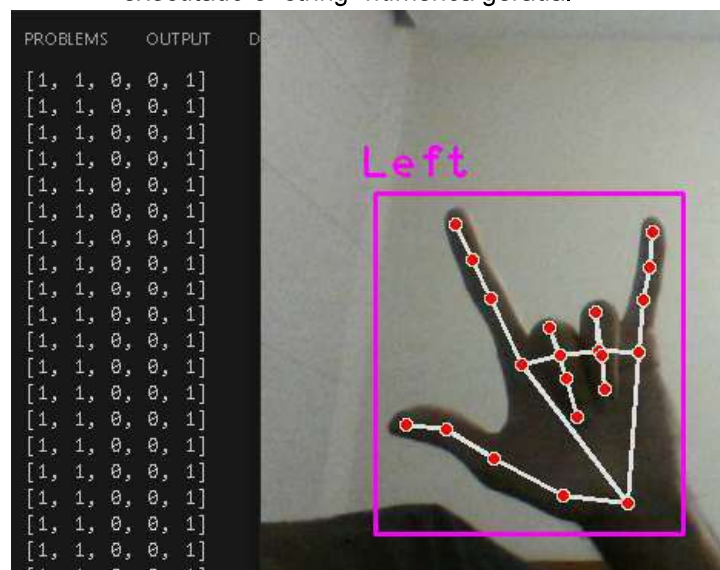
Fonte: Desenvolvido pelos autores

Visão computacional

Utilizando a linguagem Python em conjunto com bibliotecas de visão computacional, como o CVZone (HASSAN, 2024), foi desenvolvido um sistema capaz de identificar em tempo real a posição dos dedos da mão do usuário por meio de uma webcam. O módulo de rastreamento de mãos (Hand Tracking) da biblioteca CVZone permite a detecção precisa dos pontos-chave da mão, possibilitando a interpretação dos gestos realizados.

A partir da análise da posição dos dedos, o sistema gera uma “string” composta por cinco bits binários, em que cada bit representa o estado de um dedo específico: o valor '0' indica que o dedo está fechado e o valor '1' indica que está aberto. Essa informação é então enviada via conexão serial a um microcontrolador ESP32, que traduz e transmite os dados utilizando o protocolo ESP-NOW (SIMAS, 2024) para a unidade responsável por acionar os movimentos da mão robótica.

Figura 5 – Demonstrativo do reconhecimento de imagem executado e “string” numérica gerada.



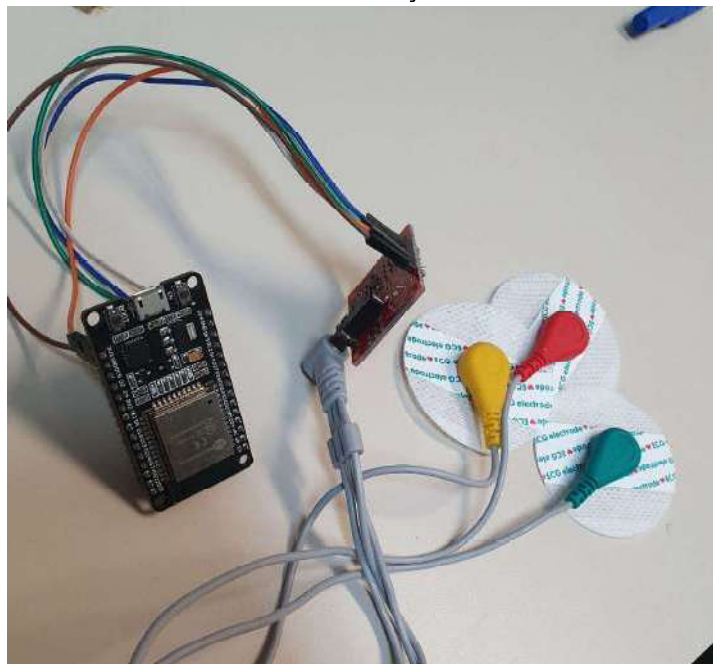
Fonte: Desenvolvido pelos autores

Sensor de contração muscular(ECG/EMG adaptado)

O controle da mão robótica por meio de sinais musculares foi definido, desde o início, como um dos principais objetivos do projeto, por representar uma aplicação mais próxima de uma prótese real. A ideia era permitir que o usuário controlasse os dedos de forma individualizada por meio de sinais captados por sensores de eletromiografia (EMG). No entanto, devido à indisponibilidade de sensores específicos para essa finalidade e ao alto custo de módulos mais avançados, optou-se pelo uso adaptado do módulo AD8232, originalmente destinado ao monitoramento cardíaco(Figura 6).

Dessa forma, são colocados três eletrodos no antebraço do usuário, permitindo capturar sinais de contração muscular em pontos específicos. Com base nesses sinais, desenvolveu-se um sistema binário simples: ao detectar uma contração (gera um pico de sinal digital), o protótipo realiza a ação de abrir ou fechar todos os dedos simultaneamente. Essa abordagem, embora limitada frente ao objetivo inicial de controle individualizado, permitiu validar o conceito e demonstrar a viabilidade de uso de sinais musculares em um protótipo funcional e acessível.

Figura 6 – Dispositivo para captação e tratamento de dados do sinal de contração muscular.



Fonte: Desenvolvido pelos autores

3 RESULTADOS

O desenvolvimento do projeto Mão Robótica gerou uma série de impactos positivos para o grupo PET Elétrica. Com base nas etapas realizadas, foi possível construir um protótipo funcional capaz de operar com diferentes modos de controle. No entanto, algumas limitações foram identificadas durante o processo, especialmente no envio de comandos PWM, o que restringe os movimentos dos dedos a posições totalmente estendidas ou retraídas, comprometendo a utilização em contextos mais complexos.

Outro resultado do projeto foram os ganhos educacionais para os petianos. A implementação dos diversos módulos de ação contribuiu significativamente para a formação técnica dos membros, tanto pelo uso de softwares consolidados como o MIT App Inventor (MIT App Inventor como Ambiente de Ensino de Algoritmos e Programação) e o Fusion 3D quanto pela aplicação prática de conteúdos abordados em disciplinas obrigatórias do curso de Engenharia Eletrônica da UFJF, como Microprocessadores, Robótica Móvel, Teoria de Controle e Algoritmos. Com isso, promoveu-se uma formação em engenharia mais integrada e aplicada, que alia teoria e prática em um contexto real.

O projeto também favoreceu o desenvolvimento de habilidades transversais essenciais à atuação profissional. A adoção da metodologia ativa PjBL (Project-Based Learning) colocou os alunos no centro do processo de aprendizagem, estimulando-os a concluir um projeto completo e funcional. Nesse percurso, foram aprimoradas competências como a resolução criativa de problemas, a comunicação interpessoal, a colaboração em equipe e a gestão eficiente do tempo. Destaca-se ainda o desenvolvimento de habilidades de liderança e coordenação, uma vez que cada módulo foi liderado por um responsável, que precisou organizar atividades, distribuir tarefas e garantir a integração entre as partes do sistema.

Por fim, o projeto trouxe ganhos significativos também para o próprio PET Elétrica UFJF. Os membros envolvidos tornaram-se multiplicadores de conhecimento dentro do grupo, colaborando de forma mais qualificada em outras iniciativas e auxiliando na formação de novos integrantes. Esse ciclo de aprendizado contínuo fortalece a consolidação de uma cultura interna de excelência, cooperação e inovação. Além disso, o projeto desempenhou um papel estratégico na divulgação externa do grupo: o protótipo atraiu grande interesse durante eventos acadêmicos e mostras de engenharia, funcionando como porta de entrada para o público conhecer as atividades desenvolvidas pelo PET. Como reflexo desse alcance, um vídeo expositivo sobre o projeto já acumula mais de 7.000 visualizações nas redes sociais do grupo, ampliando sua visibilidade e reconhecimento tanto na comunidade acadêmica quanto no público geral.

Apesar das limitações estruturais do protótipo, o processo de adaptação e superação desses desafios revelou-se fundamental para a aprendizagem dos participantes. Lidar com restrições técnicas exigiu criatividade, pensamento crítico e tomada de decisões baseadas em análise de viabilidade, competências essenciais na formação de engenheiros. Além disso, mesmo que a proposta inicial previsse o uso de sensores capazes de identificar individualmente os movimentos dos dedos por meio da detecção de contrações musculares, a solução adotada — com acionamento binário — demonstrou-se um caminho viável para aplicações futuras em próteses. Para indivíduos que não possuem o membro, um sistema simples, funcional e de baixo custo já representa um avanço significativo, podendo ser aprimorado progressivamente conforme as necessidades e os recursos disponíveis.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto da mão robótica com controle multimodal demonstrou êxito tanto técnico quanto pedagógico, reforçando a eficácia da Aprendizagem Baseada em Projetos (PjBL). Isso promoveu uma experiência prática significativa, fomentando a aprendizagem ativa e o engajamento dos estudantes frente a desafios reais da engenharia. Além disso, a experiência destacou a importância de projetos interdisciplinares que extrapolam os limites da engenharia e dialogam com outras áreas, como medicina, fisioterapia e design, ampliando o impacto social e educacional do trabalho.

A abordagem multimodal – integrando controle por aplicativo, visão computacional e sinais fisiológicos – permitiu uma compreensão ampla das formas de interação homem-máquina e demonstrou a viabilidade de soluções acessíveis e adaptáveis mesmo com recursos limitados. Essa versatilidade técnica contribuiu diretamente para o impacto social do projeto, contribuindo para a democratização do acesso a dispositivos assistivos, com potencial de replicação em outras instituições devido ao uso de tecnologias open-source e documentação aberta.

Além disso, a experiência destacou a importância de projetos interdisciplinares que extrapolam os limites da engenharia e dialogam com outras áreas, como medicina, fisioterapia e design, ampliando o impacto social e educacional do trabalho. O projeto reforça a importância da educação por projetos no ensino de engenharia, evidenciando como iniciativas práticas e colaborativas desenvolvem competências técnicas, criativas e interpessoais essenciais para a carreira profissional.

Embora o protótipo não seja uma prótese definitiva, ele estabelece uma base sólida para aprimoramentos futuros, como a integração de sensores mioelétricos multicanaís, algoritmos de aprendizado de máquina para reconhecimento gestual, melhorias estruturais para conforto e usabilidade, além de mecanismos de feedback tátil. A solução de eletromiografia adotada mostrou-se eficaz em contextos básicos, mas versões futuras

podem se beneficiar de sensores mais avançados, como a Myo Armband, capazes de captar sinais musculares mais complexos. Somam-se a isso propostas como o desenvolvimento de estruturas mais compactas, métodos de controle mais precisos para sensores de contração e integração com sistemas de tradução de linguagem de sinais.

Assim, o projeto não apenas entregou um sistema funcional e educativo, mas também promoveu a formação integral dos estudantes e ampliou o alcance social da engenharia, consolidando-se como um exemplo exitoso de ensino, pesquisa e extensão com potencial transformador.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial PET/MEC e à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora.

REFERÊNCIAS

GUIMARÃES, Pedro Túlio Silveira. **Construção de protótipo de uma mão artificial acionada por servomotores e controlada por luva sensorizada**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus Divinópolis, Divinópolis, 2019. Disponível em:

<https://www.eng-mecatronica.divinopolis.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/195/2019/12/PedroT%C3%BAlio-Silveira-Guimar%C3%A3es.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2025.

HASSAN, Murtaza. **CVZone – Python Package for Computer Vision**. GitHub, 2024. Disponível em: <https://github.com/cvzone/cvzone>. Acesso em: 5 maio 2025.

LANGEVIN, Gael. InMoov. 2012. Disponível em: <http://inmoov.fr/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

SIMAS, Rafael Salzer. **Comunicação ESP-NOW e suas aplicações**. Energia Inteligente – PET Elétrica UFJF, 2024. Disponível em: <https://energiainteligenteufjf.com.br/pet-ensina/comunicacao-esp-now-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

SRIDHARA, B. S. Teaching Engineering Fundamentals with a Project-Based Learning. In: **Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition Copyright**. 2005.

DEVELOPMENT OF A ROBOTIC HAND WITH MULTIMODAL CONTROL: AN APPROACH BASED ON PJBL METHODOLOGY

Abstract: *This article presents the development of a robotic hand with multimodal control, designed as a practical learning tool within the PET Elétrica group at UFJF. The project*

adopts the Project-Based Learning (PjBL) methodology, promoting the integration of multidisciplinary knowledge through the construction of a functional, accessible, and educational solution. The application of different technologies in a single prototype enabled a more focused and simplified study of the control methodologies used, such as computer vision, a mobile application, and adapted muscle sensors. The physical structure of the prototype was based on the open-source InMoov model, with adaptations for educational and demonstrative purposes. The system was successfully tested, showing good performance in all three control modes. In addition to enabling the application of knowledge acquired during undergraduate studies, the project demonstrated potential for both educational and inclusive purposes. The experience reinforces the effectiveness of PjBL in engineering education, promoting teamwork, problem-solving, and the creative use of technology.

Keywords: *Robotic hand, multimodal control, PjBL, accessibility*

