

Projeto e Desenvolvimento de um Manipulador Robótico Eletropneumático com Controle em Tempo Real e Fabricação 3D para Aplicações em Automação e Ensino Tecnológico

Lorenzzo Vilela da Silva¹; Gustavo Montenegro²; Vinicius Reis³; Caio Weege⁴; Marlon Mauricio Hernandez Cely⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – lezandros@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – caiowege9@gmail.com

³ Universidade Federal de Pelotas – vinicius.reis@ufpel.edu.br

⁴ Universidade Federal de Pelotas – montenegro12gustavo@gmail.com

⁵ Universidade Federal de Pelotas – marlon.cely@ufpel.edu.br

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

A principal inovação deste trabalho reside na integração de conceitos industriais, como lógica sequencial e sistemas de tempo real, com prototipagem rápida e hardware de baixo custo, resultando em um manipulador robótico eletropneumático de arquitetura modular e acessível. O diferencial desse projeto pode ser destacado nos seguintes pilares:

Movimentação Híbrida: O projeto acionamento pneumático e eletromecânico. Para os movimentos de força e prensão, utilizam-se cilindros Mini ISO de dupla ação e válvulas de 5/2 vias. Para o movimento angular da base, utiliza-se um motor de passo, com sensor de fim de curso para estabelecer a referência da posição zero, reduzindo a necessidade de componentes adicionais.

Arquitetura de hardware e software: O ESP32 foi utilizado como microcontrolador devido ao baixo custo, capacidade de processamento e conectividade integrada. No sistema foi implementado um Sistema Operacional de tempo Real (RTOS), utilizando tarefas, semáforos e filas para organizar a execução e a comunicação entre os processos de controle.

Design e fabricação 3D: O corpo do manipulador foi modelado no SolidWorks e fabricado em PLA por impressão 3D. A integração entre o projeto mecânico e a infraestrutura pneumática considera as características do material, proporcionando baixo peso, facilidade de fabricação, modificação e reposição das peças.

Automação e sensoriamento: Um sensor ultrassônico instalado na base permite a detecção da presença de peças e o início automático do ciclo de operação. Sensores magnéticos são utilizados para identificar a posição dos atuadores pneumáticos durante a execução dos movimentos. A integração entre sensores, ESP32, motor de passo e sistema pneumático possibilita a execução automatizada do ciclo de manipulação.

2. ANÁLISE DE MERCADO

A inovação proposta apresenta potencial de aplicação principalmente em dois segmentos: educacional e pequenas e médias empresas (PMEs).

O segmento educacional constitui um público relevante devido às restrições orçamentárias de instituições de ensino para aquisição de equipamentos industriais. Nesse contexto, o manipulador pode ser utilizado como plataforma didática de arquitetura aberta, permitindo a integração prática de conhecimentos de automação, pneumática, eletrônica, programação e robótica.

Outro público alvo de valor são pequenas e médias empresas dos setores de manufatura, embalagem, separação de peças e agroindústria. O manipulador pode ser aplicado em operações repetitivas de *pick-and-place* (pegar e colocar), especialmente em aplicações de pequena escala e com necessidade de automação de baixo custo (MOREIRA, 2024).

Entre as soluções disponíveis, podem ser considerados concorrentes ou alternativas kits de robótica educacional de baixo custo, geralmente construídos com estruturas de acrílico ou MDF e acionados por servomotores. Embora apresentem acessibilidade e facilidade de programação, nem sempre incorporam sistemas eletropneumáticos semelhantes aos encontrados em aplicações industriais. Por outro lado, bancadas didáticas profissionais que utilizam componentes industriais apresentam maior custo de aquisição, criando uma oportunidade para soluções intermediárias.

Nesse contexto, o diferencial da proposta está na integração de pneumática, eletrônica, controle por ESP32 e fabricação por impressão 3D em uma plataforma de baixo custo e modular, aproximando características de sistemas industriais de uma solução acessível para ensino e prototipagem.

O mercado de robótica educacional apresenta perspectivas de crescimento. Segundo projeções da SNS Insider (2025), o mercado global de robótica educacional, estimado em aproximadamente US\$ 1,38 bilhão em 2023, poderá alcançar US\$ 7,77 bilhões até 2032, com CAGR estimada de 21,3% no período. Esse cenário indica uma oportunidade de mercado para soluções voltadas ao ensino de robótica, controle e automação.

Com o desenvolvimento e a validação do protótipo, a solução poderá futuramente ser estruturada como um kit educacional modular, destinado a escolas, universidades, centros de capacitação tecnológica e espaços *maker*.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

O modelo de negócio para esta inovação pode seguir dois caminhos principais. O primeiro seria a comercialização como kit educacional, contendo o hardware, documentação de montagem e exemplos de código, destinado a instituições de ensino e centros de capacitação tecnológica. O segundo prevê a disponibilização como plataforma aberta, com documentação acessível e arquivos 3D que permitam a adaptação e expansão do sistema por pesquisadores, desenvolvedores e *makers*. A utilização da modelagem e impressão 3D contribui para reduzir custos, facilitar a reprodução do protótipo e permitir modificações no projeto (BEZERRA, 2023).

Por se tratar inicialmente de um projeto acadêmico, uma eventual proteção da propriedade intelectual deverá ser avaliada após análise de anterioridade e evolução da solução, considerando modalidades como patente de modelo de utilidade ou registro de desenho industrial.

As etapas já realizadas incluem a montagem do protótipo, a fabricação das peças em 3D e a programação no esp32 para leitura dos sensores e controle dos atuadores. O sistema passou por testes preliminares e encontrando-se em fase de ajustes mecânicos e validação do funcionamento.

A maturidade tecnológica encontra-se em etapa de validação laboratorial, sendo necessária a realização de testes sistemáticos de desempenho para confirmar sua classificação em TRL 4 ou TRL 5.

Entre os principais desafios estão as restrições mecânicas das peças impressas em 3D, especialmente o atrito nas articulações e a baixa aderência da garra. Como

melhorias, prevê-se a utilização de rolamentos nas juntas e de revestimento de maior aderência na garra, buscando melhorar a fluidez dos movimentos e a estabilidade da preensão.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

Espera-se que o manipulador robótico eletropneumático contribua para o ensino prático de automação, pneumática, eletrônica, programação e robótica, oferecendo uma plataforma de baixo custo para atividades experimentais. A utilização de robôs pneumáticos em tarefas de seleção e manipulação permite aproximar conceitos acadêmicos de aplicações presentes em processos industriais (CARVALHO, 2014; GONÇALVES; URBANO, 2023).

Como perspectiva de evolução, o sistema poderá incorporar recursos de Internet das Coisas (IoT), utilizando a conectividade do ESP32 para aquisição de dados, monitoramento remoto e comunicação com outros dispositivos, ampliando suas possibilidades de aplicação em ambientes de ensino e em sistemas relacionados à Indústria 4.0.

5. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou o desenvolvimento de um manipulador robótico eletropneumático de baixo custo, integrando estrutura fabricada por impressão 3D, ESP32, sistema operacional de tempo real (RTOS), acionamento pneumático, motor de passo e sensores. A integração desses recursos possibilita a implementação de uma arquitetura de controle baseada em conceitos presentes em sistemas de automação industrial.

Os testes preliminares demonstraram a viabilidade da integração entre os sistemas mecânico, pneumático, eletrônico e computacional, embora ainda sejam necessários ajustes mecânicos e testes sistemáticos para avaliar parâmetros como tempo de ciclo, taxa de sucesso da preensão, repetibilidade e custo total do protótipo.

Como contribuição, o projeto apresenta uma plataforma modular e acessível para atividades práticas de ensino e prototipagem em automação, pneumática e robótica. Como trabalhos futuros, prevê-se o aprimoramento das articulações e da garra, além da realização de ensaios quantitativos de desempenho e avaliação de recursos de conectividade e IoT.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MOREIRA, Cláudio Lourenço. Desenvolvimento de um robô cartesiano pick-and-place com 4 graus de liberdade. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v.9, n. 3, p. 70-79, 2024.

SNS INSIDER. Educational Robotics Market Size, Share & Industry Analysis. 2025. Disponível em: <https://www.snsinsider.com>. Acesso em: 9 set. 2026.

BEZERRA, Daniel Alves. Prototipagem com modelagem e impressão 3D de braço robótico para deposição de filmes finos pela técnica de spray-pirólise. 2023.

CARVALHO, Carlos. Desenvolvimento de um robô pneumático de 5 graus de liberdade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

GONÇALVES, Andrea Luciano; URBANO, Henrique Nunes. Braço robótico pneumático selecionador. 2023.