

DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE UM ROBÔ MANIPULADOR COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL NO IFMA – CAMPUS IMPERATRIZ

Carlos Eduardo Veloso Bezerra¹; Prof. Me. Edil Jarles de Jesus Nascimento².

Resumo

O presente trabalho documenta o desenvolvimento e a implementação de um robô manipulador destinado a servir como uma ferramenta educacional avançada no Instituto Federal do Maranhão (IFMA) - Campus Imperatriz. O projeto foi concebido para proporcionar aos estudantes uma plataforma prática para o estudo de conceitos de automação e controle. A metodologia de desenvolvimento foi dividida em quatro fases sequenciais: um aprofundado estudo teórico sobre a cinemática e dinâmica de robôs manipuladores, a modelagem matemática e simulação computacional para validação de algoritmos de controle, a construção física do protótipo com componentes eletrônicos e mecânicos, e a documentação final. A simulação em ambiente virtual foi crucial para testar e refinar a lógica de controle PID antes de sua aplicação no hardware, minimizando riscos e otimizando o tempo de desenvolvimento. O resultado é um braço robótico plenamente funcional, capaz de executar tarefas programadas com precisão, como a resolução do quebra-cabeça da Torre de Hanói, demonstrando a aplicação bem-sucedida dos conceitos estudados e superando desafios práticos como ruído elétrico e atrito mecânico.

Palavras-chave:

Robô Manipulador. Ferramenta Educacional. Controle PID. Torre de Hanói.

Financiamento:

IFMA – Campus Imperatriz.

Introdução

A robótica industrial tem se consolidado como uma área essencial para o avanço tecnológico, impulsionando a automação de processos em diversos setores. Nesse contexto, os robôs manipuladores, ou braços robóticos, destacam-se por sua versatilidade, precisão e capacidade de realizar tarefas repetitivas ou perigosas para seres humanos. A aplicação desses equipamentos não se restringe à indústria; seu potencial como

¹ Carlos Eduardo Veloso Bezerra Estudante do Curso de Engenharia Elétrica do IFMA do Campus Imperatriz; E-mail: eveloso@acad.ifma.edu.br

² Edil Jarles de Jesus Nascimento Professor do Curso de Engenharia Elétrica do Campus Imperatriz; E-mail: edil.itz@ifma.edu.br

ferramenta educacional é imenso, permitindo que estudantes de áreas como engenharia, automação e mecatrônica transponham a barreira da teoria para a prática. A interação com um sistema robótico real solidifica o aprendizado de conceitos abstratos de programação, cinemática, dinâmica e sistemas de controle.

Identificando a necessidade de uma plataforma de estudos avançada no IFMA - Campus Imperatriz, este projeto foi proposto para preencher essa lacuna. A ausência de equipamentos práticos para a demonstração e experimentação de algoritmos de controle motivou a criação de um robô manipulador de baixo custo, mas com alta capacidade didática. O desenvolvimento de tal ferramenta não apenas enriquece o ambiente de aprendizagem, mas também prepara os alunos para os desafios tecnológicos do mercado de trabalho. O processo de construção, desde a concepção teórica até a montagem final, ofereceu uma jornada de aprendizado completa, forçando a superação de obstáculos práticos inerentes a qualquer projeto de engenharia, como a integração de hardware e software e o ajuste fino de parâmetros de controle.

Para validar a funcionalidade e a precisão do protótipo, foi escolhida a tarefa de solucionar o quebra-cabeça da Torre de Hanói, um problema clássico que exige uma sequência lógica e precisa de movimentos. A execução bem-sucedida desta tarefa serviria como prova de conceito, demonstrando a robustez do sistema desenvolvido. Sendo assim, os objetivos deste trabalho foram: realizar um estudo aprofundado sobre a teoria de controle de robôs manipuladores; desenvolver um modelo matemático e uma simulação computacional do robô; construir um protótipo físico funcional; e, por fim, programá-lo para executar uma tarefa complexa de forma autônoma.

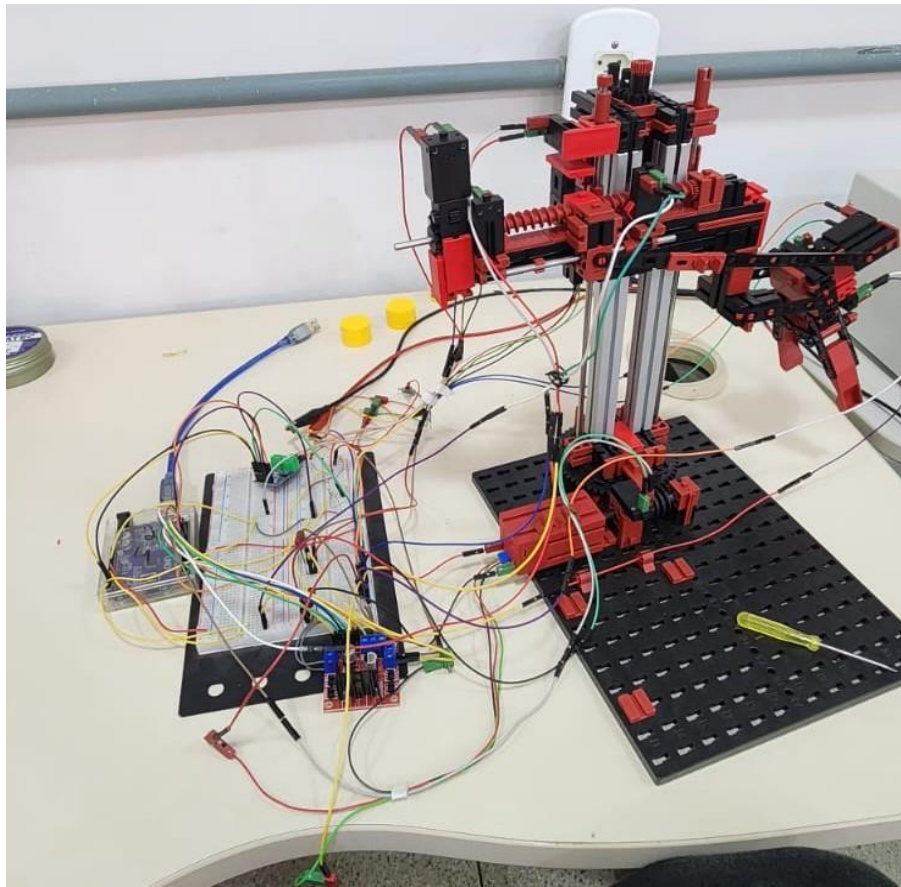
Metodologia

A execução do projeto seguiu uma abordagem estruturada e metódica para garantir que cada fase fosse concluída com sucesso antes de avançar para a próxima. O processo iniciou-se com a modelagem matemática do robô, utilizando os parâmetros de Denavit-Hartenberg (D-H) para descrever a geometria e a relação espacial entre as juntas e os elos do manipulador. Essa representação matemática foi fundamental para a etapa seguinte: a simulação computacional. Utilizando o software CoppeliaSim, um ambiente de simulação robótica, foi criado um modelo virtual 3D do robô. Nesse ambiente, foi implementado e testado um controlador do tipo PID (Proporcional-Integral-Derivativo) em linguagem Python. O objetivo do controlador era minimizar o erro entre a posição desejada (setpoint) e a posição real de cada junta do robô, garantindo movimentos suaves e precisos no ambiente simulado.

Com a validação do modelo de controle na simulação, procedeu-se à construção do protótipo físico. A estrutura mecânica foi montada utilizando um kit do fabricante Fischertechnik. A parte eletrônica foi cuidadosamente selecionada e integrada, tendo como cérebro do sistema um microcontrolador Arduino Uno. Para a movimentação, foram utilizados motores de corrente contínua (CC) acoplados a encoders, que fornecem feedback da posição angular dos eixos. O acionamento desses motores foi realizado por meio de um driver de ponte H dupla, modelo L298N, que permite o controle de velocidade e direção via sinais PWM (Pulse Width Modulation) enviados pelo Arduino.

Durante a implementação do controle no protótipo físico, surgiram desafios que não estavam presentes na simulação, como o atrito das engrenagens e o ruído elétrico, que interferiam na leitura dos encoders. Tais fatores dificultaram a sintonia fina do controlador PID, levando à decisão de simplificar a abordagem para um controle puramente proporcional, que se mostrou suficiente para a tarefa proposta. Adicionalmente, para garantir a repetibilidade das operações, foi implementada uma rotina de "homing", utilizando chaves de fim de curso (micro switches) para estabelecer uma posição inicial de referência toda vez que o robô é ligado. O código final, embarcado no Arduino, foi responsável por interpretar uma sequência de comandos pré-definidos para resolver a Torre de Hanói, controlando cada motor e atuador de forma coordenada.

Figura 1 - Robô Manipulador.



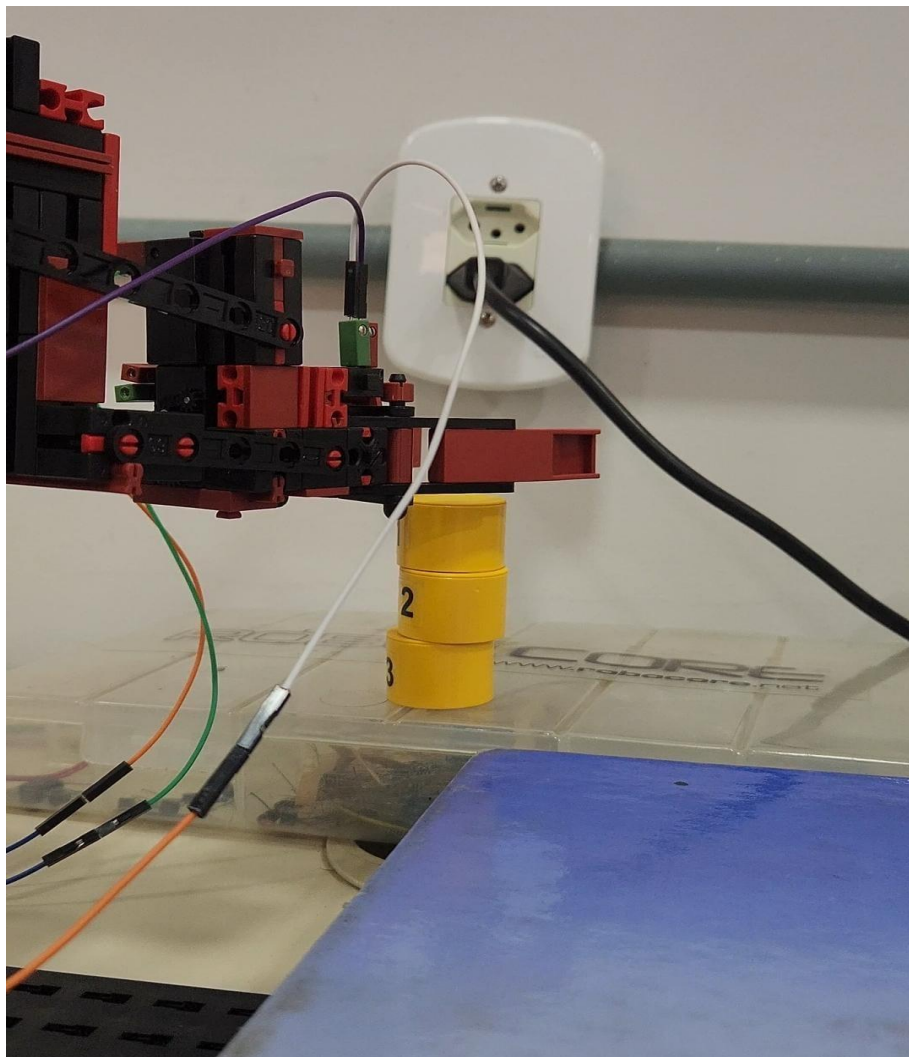
Resultados e Discussão

O principal resultado do projeto foi a construção bem-sucedida de um robô manipulador totalmente operacional, capaz de executar a tarefa para a qual foi programado: a solução autônoma do quebra-cabeça da Torre de Hanói. A performance do robô foi validada através da execução completa da rotina, movendo os discos na sequência correta, o que demonstrou a eficácia da integração entre o hardware mecânico, os componentes eletrônicos e o software de controle desenvolvido. A sequência de movimentos foi codificada em uma string de comandos simples, interpretada pelo Arduino, que traduzia cada caractere em uma ação específica, como "abrir garra", "fechar garra" ou mover um eixo para uma posição angular pré-determinada.

Apesar do sucesso na execução da tarefa, o processo de desenvolvimento revelou pontos importantes para discussão e trabalhos futuros. A dificuldade em implementar um controlador PID estável no protótipo físico, em contraste com seu bom funcionamento na simulação, evidencia a complexidade dos sistemas reais. Fatores como atrito, folgas mecânicas e a inércia dos componentes exigem modelos mais complexos e algoritmos de

controle mais robustos. A solução adotada, um controle Proporcional, embora funcional para a tarefa em questão, possui limitações em termos de precisão e resposta a distúrbios. Como sugestões para aprimoramento, destaca-se a necessidade de um estudo mais aprofundado para a sintonia de um controlador PID completo no protótipo físico, o que poderia melhorar significativamente a precisão e a suavidade dos movimentos. Outra melhoria seria a implementação de uma interface homem-máquina (IHM) mais amigável, permitindo que outros usuários programem novas tarefas de forma mais intuitiva, sem a necessidade de alterar diretamente o código-fonte. A exploração da substituição do Arduino por um Controlador Lógico Programável (CLP) também foi considerada. Embora não implementada por limitações de tempo e recursos, essa mudança aproximaria o projeto de uma aplicação industrial real, oferecendo uma plataforma ainda mais rica para o ensino de automação industrial avançada.

Figura 2 - Robô concluindo a Torre de Hanói.



Conclusão

Este projeto cumpre com êxito todos os objetivos propostos, entregando um robô manipulador funcional que serve como uma valiosa ferramenta educacional para o IFMA - Campus Imperatriz. A jornada, desde o estudo teórico inicial até a montagem e programação do protótipo, proporcionou um aprendizado prático e aprofundado sobre os desafios reais da engenharia de controle e automação. O equipamento desenvolvido está apto a ser utilizado em aulas e projetos dos cursos técnicos e de nível superior, permitindo que os alunos visualizem e apliquem na prática conceitos teóricos complexos. Embora existam oportunidades de aprimoramento, como o refinamento do sistema de controle e a melhoria da interface de programação, o estado atual do protótipo já representa um recurso didático de grande impacto, validado pela sua capacidade de executar a complexa tarefa da Torre de Hanói. O trabalho solidifica a ponte entre teoria e prática, enriquecendo a formação dos estudantes e fomentando o interesse pela área da robótica.

Agradecimentos

Agradecimentos ao IFMA – Campus Imperatriz por disponibilizar a infraestrutura necessária, como laboratórios e componentes eletrônicos, e pelo financiamento que tornou este projeto possível.

Referências

- ARAR, S.** How to Use Decoupling Capacitor Placement to Reduce Harmonic Distortion.
- LASTMINUTEENGINEERS.** In-Depth: Interface L298N DC Motor Driver Module With Arduino.
- MATAN.** Motor Encoders | How it works, Application & Advantages.
- STMicroelectronics.** Datasheet - L298 - Dual full-bridge driver, DS0218 - Rev 5, 2023.
- WESCOTT, T.** PID Without PHD. [s.l: s.n.].