

DESENVOLVIMENTO DE UM MANIPULADOR CARTESIANO COM ARDUINO E MANUFATURA ADITIVA

KEVIN FERREIRA DA SILVA¹; LUCAS DUTRA CHAVES²; BERNARDO BARANCELLI SCHWEDERSKY³.

¹Universidade Federal de Pelotas – kfdsilva@inf.ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – ldchaves@inf.ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – bernardo.schwedersky@upel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Manipuladores cartesianos com Controle Numérico Computadorizado (CNC) são ferramentas essenciais na automação industrial e na prototipagem, permitindo o posicionamento preciso de uma ferramenta em um plano ou no espaço. Uma aplicação de alta precisão desta tecnologia na engenharia eletrônica são as fresadoras CNC para prototipagem de circuitos, utilizadas para criar trilhas e furos em placas de circuito impresso com exatidão. Diferentemente de impressoras convencionais, as plotters a caneta geram traços que podem imitar a caligrafia manual, agregando uma qualidade única aos desenhos (AXIDRAW, 2016).

A relevância de projetos como este reside na possibilidade de construir máquinas CNC funcionais utilizando hardware de baixo custo, sistemas computacionais de placa única, como o Arduino, e técnicas de fabricação digital, como a impressão 3D. A combinação de hardware acessível e software de código aberto, como o firmware GRBL, viabiliza a criação de soluções personalizadas e de alto valor educacional (MARINHO et al., 2022), (HASHAN, 2021). O microcontrolador Arduino, em particular, destaca-se por sua sintaxe simplificada e acessível, ideal para ambientes de aprendizado (KONDAVEETI et al., 2021).

A construção de um manipulador cartesiano serve como uma plataforma prática para o ensino de diversos tópicos fundamentais da engenharia. Tais projetos permitem a aplicação de metodologias ativas para uma aprendizagem centrada no aluno em áreas como controle de processos, programação de máquinas CNC, instrumentação eletrônica e prototipagem rápida (SANTOS et al., 2023), (MARINHO et al., 2022). O domínio dessas tecnologias é cada vez mais necessário com o avanço da Indústria 4.0, que demanda profissionais com habilidades em automação e fabricação digital.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um manipulador cartesiano de 2 eixos, usando hardware de baixo custo e uma estrutura impressa em 3D, que atenda aos requisitos de ser facilmente replicável, permitir o desenvolvimento de atividades de ensino em engenharia, e apresentar um software básico para a execução de código G.

Na seção 2 é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do protótipo. Por sua vez, na seção 3 são apresentados resultados preliminares do estudo, e na seção 4 são discutidas as conclusões do trabalho.

2. METODOLOGIA

A metodologia para o desenvolvimento do protótipo consistiu em três etapas principais: o projeto da estrutura física do manipulador cartesiano, utilizando

ferramentas de Desenho Assistido por Computador (CAD); o desenvolvimento da instrumentação eletrônica que será usada para acionamento dos motores e execução do software de controle; e o desenvolvimento do software para operação e controle do manipulador.

2.1. Projeto da estrutura física:

O projeto da estrutura física Figura 1 foi dividido em três partes distintas, as quais são: a plataforma para folhas da plotter de caneta, a qual foi projetada de forma a acoplar a mesa onde será inserido o papel para a escrita, o lado de acionamento e o lado de suporte.

O eixo de acionamento foi projetado em duas partes, uma sendo o suporte para o motor, o qual possibilita a adaptação para outros modelos de motores, e a outra sendo o encaixe dos eixos, que possibilita aumentar a área de trabalho sem precisar substituir a montagem por inteiro. Já a parte auxiliar do eixo foi projetada de forma similar à parte principal, possibilitando o acoplamento de um terceiro motor para aumentar a precisão da movimentação.

A ponte central, foi projetada em duas partes, a primeira é o suporte móvel para a castanha e motor central, e do outro lado um suporte para limitar a distância total. Acoplado na ponte central está o suporte móvel para a castanha e o servo motor onde é acoplado o suporte para a caneta.

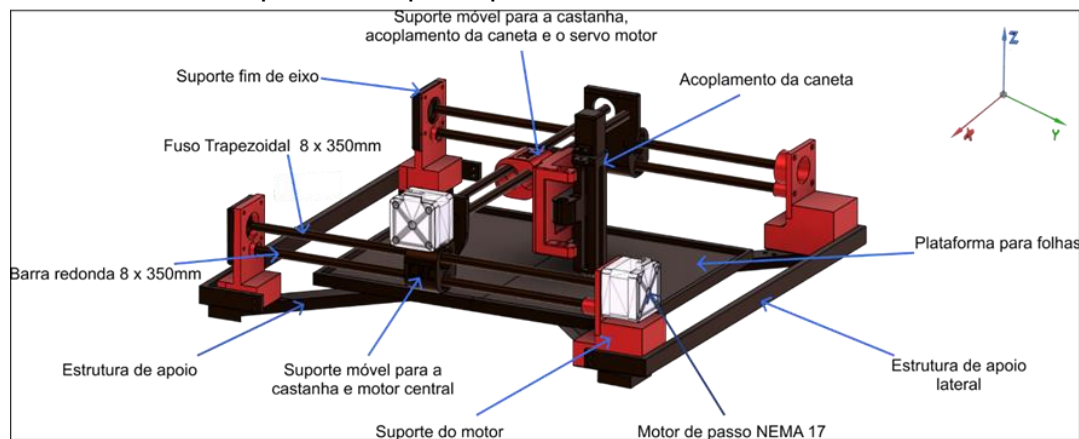


Figura 1: Projeto da estrutura

2.2. Instrumentação eletrônica embarcada

O projeto da eletrônica a ser embarcada no manipulador cartesiano, envolve três elementos principais. Uma placa microcontrolada, responsável por processar as informações vindas do software e atuar nos motores, dois módulos para acionar os motores e três motores, sendo dois motores de passo e um servo motor.

2.3. Programação utilizando Arduino

A arquitetura de controle do sistema é baseada na plataforma Arduino, e utiliza o firmware de código aberto GRBL, para controle da execução do manipulador. O GRBL é um interpretador de alto desempenho para Código G (G-code), que permite ao microcontrolador Arduino gerenciar com precisão os atuadores da máquina. O processo operacional se inicia com uma imagem é processado em um software de Manufatura Assistida por Computador (CAM) para gerar um arquivo contendo as instruções de movimento. Em seguida este arquivo é enviado para a placa Arduino via comunicação serial. Por fim, o firmware GRBL interpreta cada linha de comando do código G e executa as ações correspondentes, controlando o deslocamento dos dois motores de passo nos eixos XY e o acionamento do servo motor no eixo Z.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

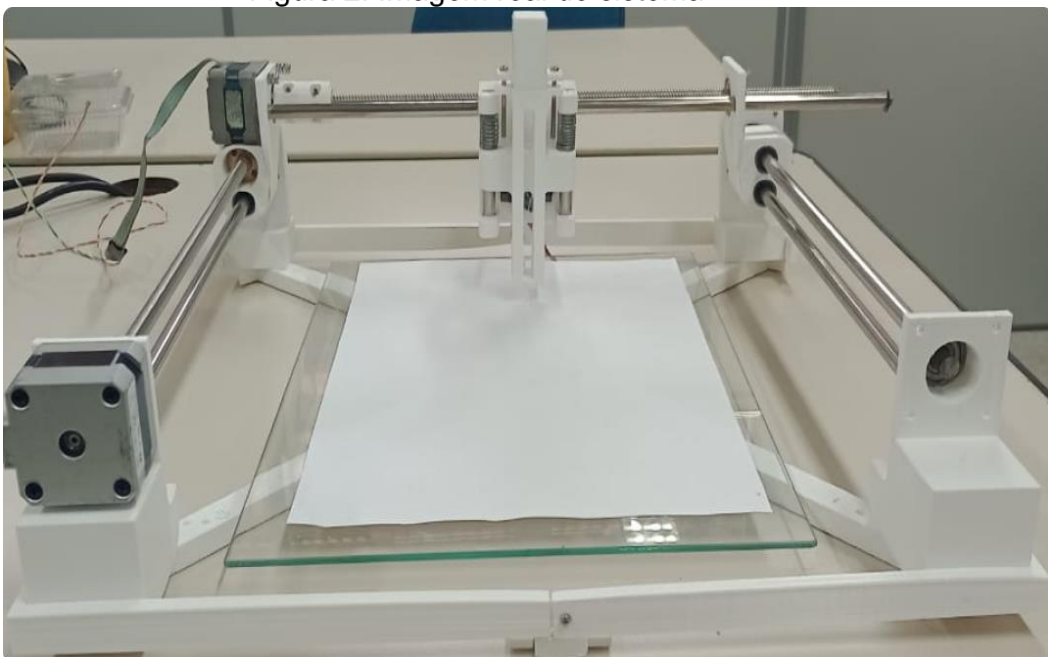
O projeto estrutural do manipulador cartesiano de caneta foi desenvolvido no software de modelagem 3D AUTODESK FUSION. Os componentes estruturais foram fabricados por manufatura aditiva, utilizando as impressoras Sethi3D S4X e Creality Ender-3. Para garantir a estabilidade e a suavidade dos movimentos nos eixos, a estrutura emprega quatro barras cilíndricas de 8 mm de diâmetro, cada uma associada a um rolamento linear LM8UU.

A instrumentação eletrônica foi construída utilizando 2 módulos de acionamento em ponte H (L298N), apresentados na Figura 3(b), 2 motores de passo NEMA 17, apresentados na Figura 3(c), um servo motor Tower Pro Mg90s, apresentado na Figura 3(d) e uma placa Arduino Nano V3 ATmega328P, apresentada na Figura 3(a). A instrumentação é alimentada por uma fonte de 12V. O diagrama esquemático da montagem eletrônica é apresentado na Figura 3. A fonte de 12V foi conectada aos módulos L298N, fornecendo energia para os motores de passo e, simultaneamente, ao pino VIN do Arduino Nano V3, garantindo sua alimentação. O terminal GND da fonte foi interligado ao GND dos drivers e ao GND do Arduino, estabelecendo uma referência comum de operação. Cada módulo L298N foi responsável pelo controle de um motor de passo NEMA 17, sendo suas saídas OUT1–OUT4 conectadas diretamente às bobinas dos motores.

As entradas de controle dos módulos (IN1–IN4) foram ligadas a pinos digitais do Arduino, permitindo a geração da sequência de pulsos necessária para o acionamento dos motores de passo. O primeiro módulo recebeu sinais dos pinos D13, D12, D11 e D10, enquanto o segundo foi controlado pelos pinos D9, D8, D7 e D6. Além disso, o servo motor Tower Pro Mg90s foi conectado a um pino PWM do Arduino, possibilitando o controle de posicionamento da caneta no eixo Z.

A imagem abaixo Figura 2 ilustra a montagem real do sistema, demonstrando a integração dos módulos L298N, motores de passo, servo motor e placa Arduino Nano V3. Esta configuração garante o funcionamento integrado dos três atuadores, permitindo deslocamentos coordenados da caneta nos eixos X e Y, bem como o movimento de subida e descida no eixo Z.

Figura 2: Imagem real do sistema



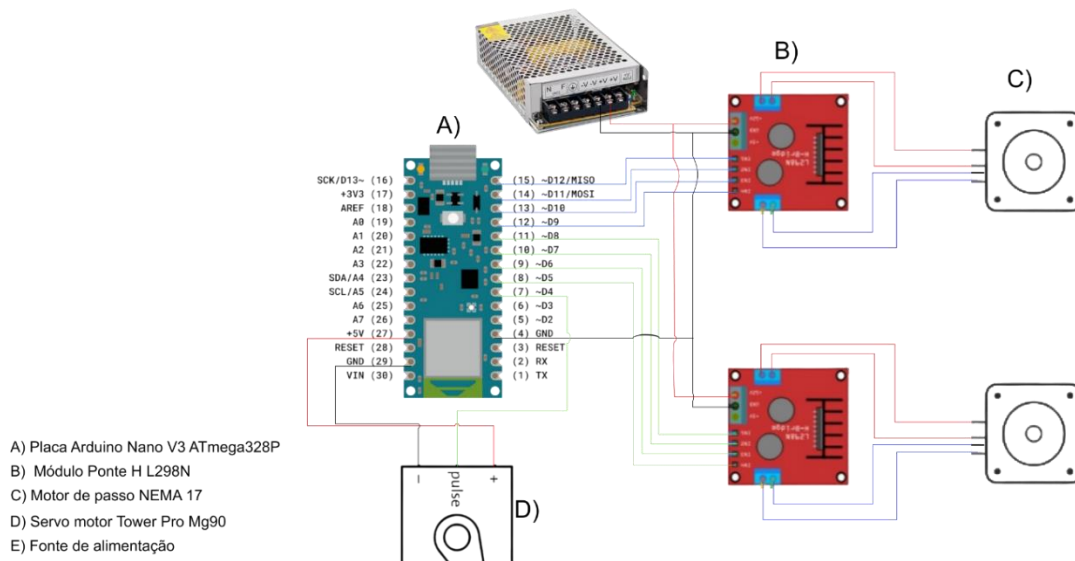


Figura 3: Diagrama esquemático da montagem eletrônica

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento um protótipo de um manipulador cartesiano, projetado em CAD e integrado a um sistema embarcado de baixo custo. O controle foi realizado com a plataforma Arduino associada ao firmware de código aberto GRBL, garantindo simplicidade de implementação e acionamento preciso dos motores. O protótipo apresentou viabilidade técnica, baixo custo e facilidade de aplicação, podendo ser aplicado em atividades didáticas, projetos de automação e produções gráficas. Como trabalhos futuros, destacam-se a possibilidade de aprimorar a estrutura mecânica e implementar melhorias no firmware.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SANTOS, J. P. A. et al. Soluções adaptadas de baixo custo para o desenvolvimento de máquina de manufatura híbrida. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, São Paulo, v. 20, p. e2796, 2023.
- MARINHO, A. et al. Desenvolvimento de máquina de comando numérico de baixo custo para auxílio nos métodos de ensino e aprendizagem na engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA (CBA), 24., 2022, Fortaleza. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Automática, 2022. p. 1421-1428.
- AXIDRAW. **AxiDraw: The pen plotter for everyone**. 2016. Disponível em: <https://www.axidraw.com>. Acesso em: 6 ago. 2025.
- HASHAN, A. M. et al. Robô de desenho controlado numericamente por computador baseado em projeto auxiliado por computador. **Revista de Engenharia Mecânica, Civil e Industrial**, Londres, v. 2, n. 1, p. 6-10, 2021.
- KONDAVEETI, H. et al. A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. **Computer Science Review**, Amsterdam, v. 40, p. 100362, 2021.