



# Construção e Validação de um Protótipo de Robô de Acionamento Direto por Cabo

**Palavras-Chave:** Robô acionado por cabos, Prototipagem rápida, Arduino

**Autores/as:**

**GABRIEL DOMINGUES MANOEL, FCA, UNICAMP**

**Prof. Dr. JAIME HIDEO IZUKA (orientador), FCA, UNICAMP**

## INTRODUÇÃO:

O Robô de Acionamento Direto por Cabo (CDDR), também conhecido como Cable-Direct-Drive Robot, é um tipo de manipulador robótico paralelo que utiliza cabos para posicionar um end effector dentro de uma área de trabalho.

Em comparação com robôs paralelos convencionais, os CDDRs oferecem vantagens como estruturas mais leves, espaços de trabalho amplos e facilmente reconfiguráveis, além de uma fabricação mais econômica. Esse conceito surgiu nos anos 1980 e 1990, com trabalhos de Landsberger, Higuchi, Ming e Albus modificando a estrutura do robô paralelo tradicional para substituir corpos rígidos por cabos (TREVISANI et al., 2006; KUMAR, 2020).

Para o funcionamento adequado dos CDDRs, é essencial que as tensões nos cabos sejam mantidas positivas e limitadas, evitando folgas ou rompimentos. Existem dois tipos de robôs acionados por cabos: totalmente restritos, que possuem mais cabos ativos do que graus de liberdade, restringindo completamente o end effector, e sub-restritos, que dependem de uma força externa, como a gravidade, para manter as

tensões nos cabos (TREVISANI, 2010; KRUT et al., 2009). Esses robôs têm despertado interesse em pesquisas acadêmicas e industriais, devido às suas características únicas e potenciais aplicações.

## METODOLOGIA:

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu em revisar o modelo numérico proposto por Trevisani (2010), que descreve as tensões nos cabos, as restrições cinemáticas e planejamentos de trajetória, além das teorias de corpos rígidos e manipuladores e teoria de cinemática e cinética no plano descrita por Santos (2001). Para a confecção do projeto do robô, foi utilizado o software CAD Fusion 360 para o projeto mecânico, gerando desenhos técnicos para a fase de construção.

As peças foram impressas em uma impressora 3D do laboratório de manufatura da FCA, modelo GTMax3D, e outros materiais e componentes, como porcas, fio de nylon, parafusos e barra roscada, foram utilizados para a montagem mecânica do protótipo. O esquema das conexões elétricas do protótipo também foi



apresentado, bem como o programa utilizado para controlar o robô e realizar os primeiros testes de funcionamento.

Além disso, uma simulação numérica detalhada foi realizada utilizando Python no ambiente Google Colab. Essa simulação visava analisar o comportamento e o desempenho do Robô de Acionamento Direto por Cabo (CDDR) proposto. Para essa finalidade, foram desenvolvidos modelos matemáticos e algoritmos de simulação que levaram em consideração as características físicas e as restrições do robô.

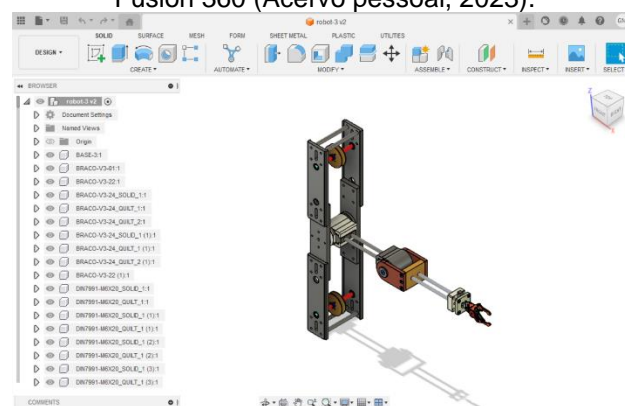
A simulação numérica foi comparada com resultados obtidos por meio do software de engenharia ANSYS APDL, amplamente utilizado para análise de estruturas e sistemas mecânicos. Essa comparação permitiu avaliar os resultados da simulação numérica desenvolvida em Python e Google Colab, para saber se havia certa precisão e confiabilidade nas respostas obtidas.

A abordagem de simulação numérica proporcionou uma avaliação do comportamento do protótipo em diversas disposições sob influência de força em determinados vetores para avaliar sua rigidez em questão de deslocamento e rotação, e em ambos os casos de condição 2D e 3D.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A construção do protótipo teve início com o planejamento e desenho do projeto usando o software Fusion 360, com auxílio do aluno de mestrado Marco Roberto, resultando na configuração mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Projeto do protótipo em cad no software Fusion 360 (Acervo pessoal, 2023).



Após a conclusão do projeto, as peças foram impressas nas impressoras 3D GTMax3D do laboratório de manufatura digital. A montagem dos componentes, incluindo os motores de passo acoplados aos eixos e a fixação na base do robô, foi conduzida com a assistência do Marco Roberto. Em seguida, as cordas de barbante foram amarradas nas polias e no end effector, obtendo-se o resultado da montagem, como pode ser observado na Figura 2, comparando com o protótipo anterior.

Figura 2 - a) primeiro protótipo b) protótipo atual (Acervo pessoal, 2023).



As conexões elétricas dos motores foram integradas ao CNC shield acoplado ao Arduino, e uma fonte de alimentação de 12V foi conectada ao sistema. Após a finalização do protótipo físico, a programação foi iniciada utilizando bibliotecas do Arduino, com destaque para a biblioteca GRBL. Utilizando a plataforma UGS (Universal Gcode Sender), foram realizados testes de trajetórias, com o objetivo de avaliar o comportamento do protótipo ao tentar seguir uma trajetória de meia-lua, semelhante à trajetória de um pêndulo simples.

Contudo, os testes não obtiveram êxito. O braço SCARA passivo do robô ficou com um peso superior à capacidade de carga que os motores poderiam suportar para movê-lo. Esse excesso de peso foi especialmente observado na região da articulação, onde o movimento da barra que contém o end effector ("cotovelo") ocorre. Além disso, nessa mesma região, ocorreu interferência entre a linha de barbante e outros componentes, o que representou um problema, pois poderia afetar a trajetória do robô.

Conseqüentemente, planeja-se reajustar o robô com a substituição dos motores e/ou da região de articulação, para então finalizar a

etapa de construção e prosseguir para a próxima fase de validação do protótipo por meio de estudos de trajetória, utilizando encoders e modelos numéricos.

Mas antes de realizar as alterações no modelo mais robusto (Figura 2b), pretende-se criar um protótipo mais simples e de menor porte para avaliar a liberdade da trajetória e comparar com o modelo realizado em python. A Figura 3 mostra como ficou o resultado do desenho 3D no Fusion 360 do modelo mais simples do protótipo.

Figura 3 - Projeto do protótipo simples Fusion 360 (Acervo pessoal, 2023).



Paralelamente à construção do protótipo físico, uma simulação numérica detalhada foi realizada por meio do Python no ambiente Google Colab. Essa simulação buscou analisar o comportamento e o desempenho do Robô de

Acionamento Direto por Cabo (CDDR) proposto em diferentes condições operacionais. Para essa finalidade, foram desenvolvidos modelos matemáticos e algoritmos de simulação que consideraram as características físicas e as restrições do robô.

Os resultados obtidos por meio da simulação numérica foram comparados com os resultados gerados pelo software de engenharia ANSYS APDL, validando a precisão e a

confiabilidade da simulação numérica desenvolvida.

Especificamente, dois casos foram selecionados para a análise comparativa: um caso em que o robô estava em uma condição reta sem ângulo e outro em que o braço estava reto também, mas com um ângulo de 45°. As Figuras 4 e 5 apresentam a comparação entre o modelo do ANSYS e o resultado da simulação em Python para cada caso.

Figura 4: Comparação entre o modelo do ANSYS e o resultado da simulação em Python para o caso sem ângulo reto - a) Resultado Ansys APDL b) Resultado Python (Acervo pessoal, 2023).

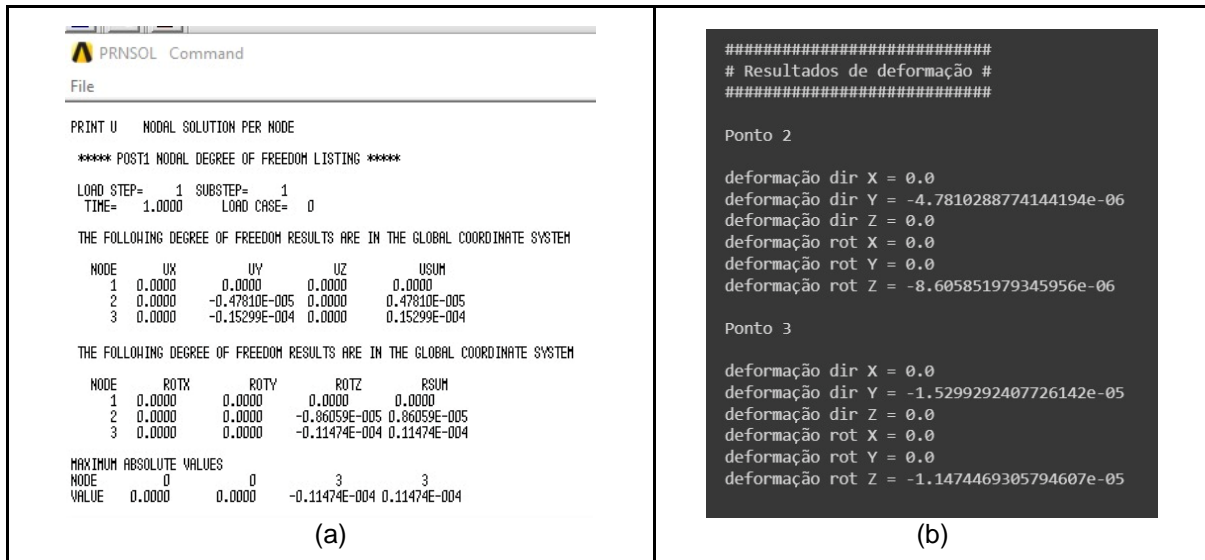
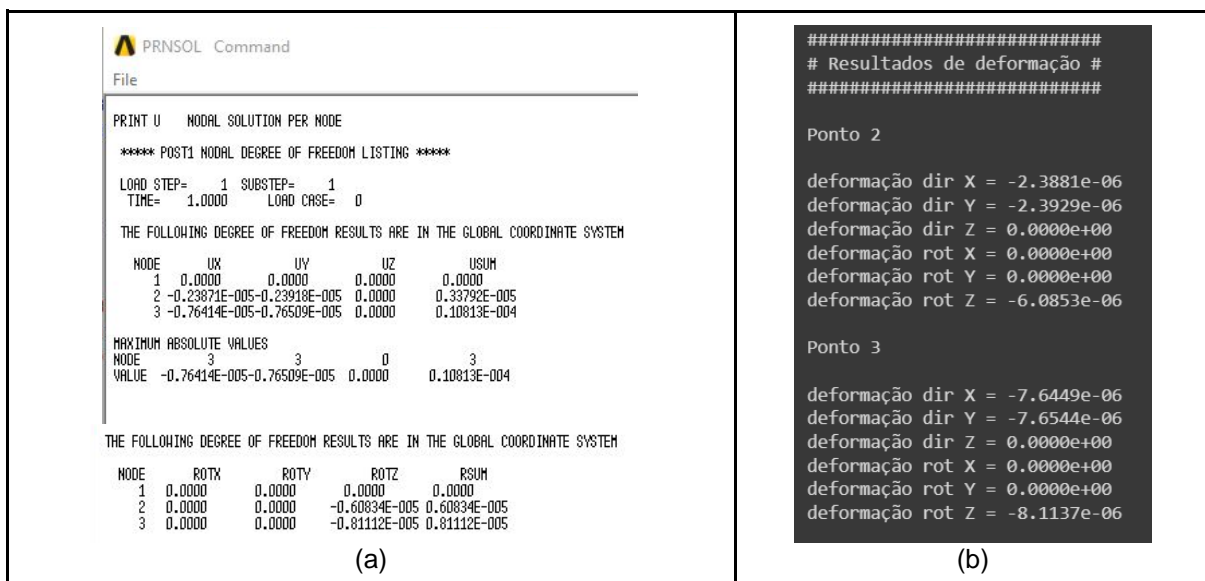


Figura 5: Comparação entre o modelo do ANSYS e o resultado da simulação em Python para o caso com ângulo de 45° - a) Resultado Ansys APDL b) Resultado Python (Acervo pessoal, 2023).





## CONCLUSÕES:

Com base neste projeto, fica evidente que o desenvolvimento de um Robô de Acionamento Direto por Cabo (CDDR) apresenta desafios significativos, tanto na concepção e construção física quanto na simulação numérica para validar seu desempenho. Através da análise comparativa entre as simulações em Python e o software ANSYS APDL, foi possível verificar a precisão do modelo numérico e sua concordância com resultados de engenharia estabelecidos. Apesar das dificuldades encontradas durante os testes físicos, os resultados obtidos contribuem para aprimoramentos futuros no projeto, destacando o potencial dessa tecnologia na indústria robótica e sua relevância para pesquisas avançadas em manipuladores paralelos.

## BIBLIOGRAFIA

KRUT, Sébastien et al. **A PARALLEL CABLE-DRIVEN CRANE FOR SCARA-MOTIONS**. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: Acesso em: 10 maio 2022;

KUMAR, Atal. **Design and Control of an underactuated cable-driven robot for agile handling of parts in a manufacturing line**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: Acesso em: 11 maio 2022;

TREVISANI, Alberto. **Experimental Validation of a Trajectory Planning Approach Avoiding Cable Slackness and Excessive Tension in Underconstrained Translational Planar**

**Cable-Driven Robots**. Mechanisms and Machine Science, [s. l.], p. 23–39, 2012. Disponível em: Acesso em: 10 maio 2022;

TREVISANI, Alberto; GALLINA, Paolo; WILLIAMS, Robert L. **Cable-Direct-Driven Robot (CDDR) with Passive SCARA Support: Theory and Simulation**. Journal of Intelligent and Robotic Systems, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 73–94, 2006. Disponível em: Acesso em: 10 maio 2022.