



## Desenvolvimento de robô acionado por cabos

**Aluno:** Lucas Henrique Pedro Botti **RA:** 156365

**Orientador:** Prof. Dr. Eduardo Paiva Okabe

**Local de execução:** FCA/UNICAMP/Limeira, SP

**Vigência :**2019/2020

### 1. Resumo do projeto

O projeto apresenta o processo de desenvolvimento de simulação dinâmica de um robô acionado por cabos (RAC) com três graus de liberdade através do software Python. A geometria do robô é similar a um sistema de múltiplos pêndulos em que um manipulador é suspenso por um conjunto de três ou mais cabos, em que as tensões aplicadas nestes provocam o deslocamento do manipulador. Esse sistema totalmente automatizado tem como principal objetivo o transporte de peças e produtos de forma rápida, precisa e segura, em um ambiente de manufatura avançada.

*Palavras-chave: Robô acionado por cabos; Simulação dinâmica; Manufatura Avançada.*

### 2. Introdução

Em um mundo cada vez mais tecnológico e competitivo, as necessidades de otimização de tempo, controle/qualidade de produtos e eficácia em movimentação aumentam exponencialmente, sendo necessária a utilização de robôs sofisticados com programações complexas, e estruturas que comportem a execução dessas tarefas. Em sua maioria esses robôs são constituídos de estruturas seriais, que possuem cadeia de cinemática aberta, em que uma das extremidades é fixa e a outra carrega o atuador, esse sistema se assemelha aos movimentos humanos [1].

Modelos de cadeia aberta encontram problemas relacionados a sua forma de controle, em que o comando do robô controla ângulos (articulação de rotação) para executar as trajetórias e tarefas determinadas, utilizando de coordenadas cartesianas ou que se agregam elas, esse modelo matemático torna sua resolução difícil em tempo real por se tratar de um sistema não linear com funções acopladas, fazendo com que a maioria desses sistemas utilize um controle ponto-a-ponto. Assim como podem ser encontrados problemas relacionados aos sistemas seriais, o que implica diretamente em sua inércia, exigindo que o seu atuador seja capaz além de suportar o peso da carga, também deva suportar seu próprio peso, isso faz com que o robô seja muito mais pesado devido a necessidade de reforço na estrutura e mais lento durante seus movimentos.

Como alternativa a esses problemas, tem sido estudado nos últimos anos estruturas paralelas acionadas por cabos, elas possuem mecanismos de cadeia fechada, compostas uma base, plataforma, cabos e atuadores. Nesse tipo de robô os cabos podem ser enrolados de maneira muito rápida, isso permite que o mecanismo atinja aceleração e velocidades muito mais altas, comparando aos robôs de cadeia cinemática aberta.

Outra vantagem é que o RCA possui partes menores em sua construção o que possibilita a estrutura ser muito mais leve em relação a capacidade de carga que eles podem carregar. Assim pode-se afirmar que os RAC apresentam um menor custo de construção, maior facilidade de transporte, elevada capacidade de peso manipulado, e as configurações dos mecanismos como um todo são mais vantajosas, pois as conexões dos cabos podem ser reposicionadas, adaptando o robô rapidamente ao tipo de trabalho a ser realizado [2,3,4].

### 3. Metodologia

O modelo proposto para estudo está representado esquematicamente na Fig.1. É apresentado um robô paralelo com três cabos conectados em um ponto comum de ancoragem do cabeçote denominado como  $A_c$ , em suas outras extremidades eles estão enrolados em pontos de ancoragens (polias) denominados como  $A_1, A_2, A_3$ , que estão ligadas a atuadores fixos, que quando acionados são responsáveis por controlar as extensões dos cabos. Tendo o controle das extensões dos cabos, a posição do cabeçote no espaço tridimensional pode ser descrita.

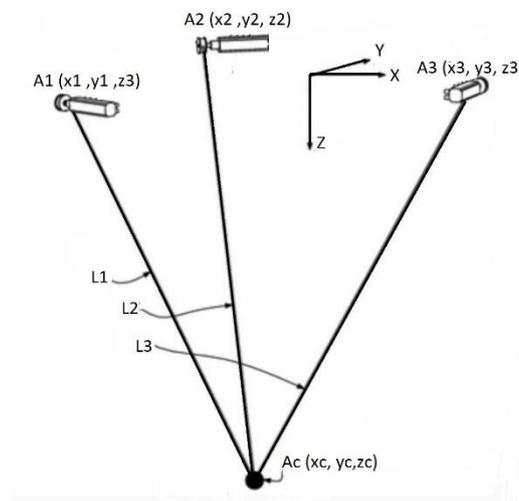


Fig.1 - Modelo de robô paralelo acionado por cabo  
Fonte: Editado de [2]

Considerando a Fig.1, um referencial fixo é definido na base do robô com o eixo Z apontando para baixo, na direção da gravidade. Os pontos correspondentes das saídas dos cabos dos carretéis são assumidos fixos, o que na prática uma polia pode ser utilizada, sendo definida como  $A_i$ , em que  $i = 1,2,3$ . O vetor conectando a origem da referência fixa ao ponto  $A_i$  é denotado  $a_i = (x_i, y_i, z_i)$ , e a posição do manipulador de massa  $m$  em relação a origem da referência fixa é denotada  $A_c = (x_c, y_c, z_c)$ .

O comprimento dos cabos que serão utilizados como coordenadas comuns são respectivamente denotados  $L_{i,calc}, i = 1,2,3$ .

Através do modelo especificado, pode ser estudada/definida suas equações cinemáticas inversas, bem como as equações para cabos elásticos. Com essas equações estabelecidas, foi possível através da programação em Python obter de maneira sequencial e interligada a posição do cabeçote em função do tempo, o comprimento dos cabos em função do tempo e assim realizar a simulação do robô com cabos elásticos.

### 4. Resultados

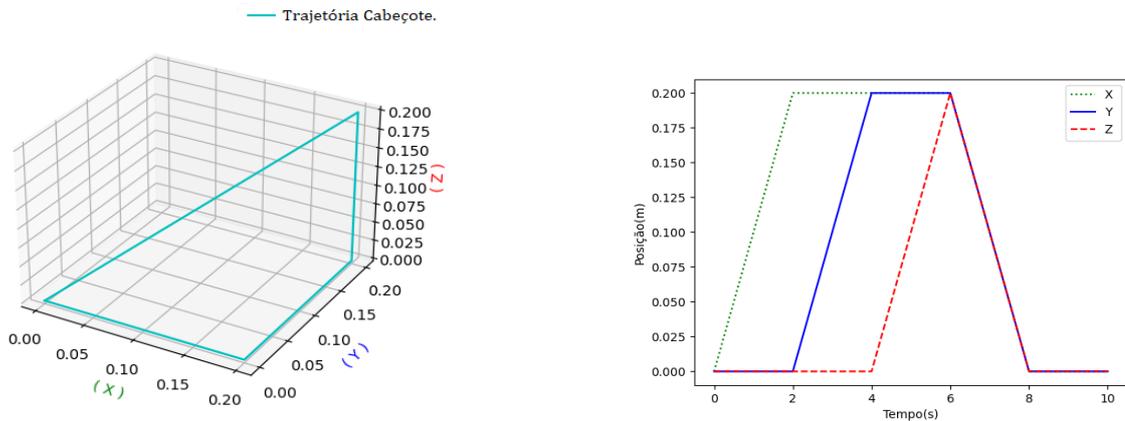
Estipulando que no modelo proposto os pontos de ancoragem dos cabos nas polias 1, 2 e 3 fossem como determinados na Tabela 1 e que a trajetória inicial do cabeçote parta da posição  $A_c =$

( $x\ 0m, y\ 0m, z\ 0m$ ), passe sequencialmente pela posição  $A_c = (x\ 0.200m, y\ 0m, z\ 0m)$ ,  $A_c = (x\ 0.200m, y\ 0.200m, z\ 0m)$  e  $A_c = (x\ 0.200m, y\ 0.200m, z\ 0.200m)$  e retornasse diagonalmente até a posição inicial ao longo de dez segundos.

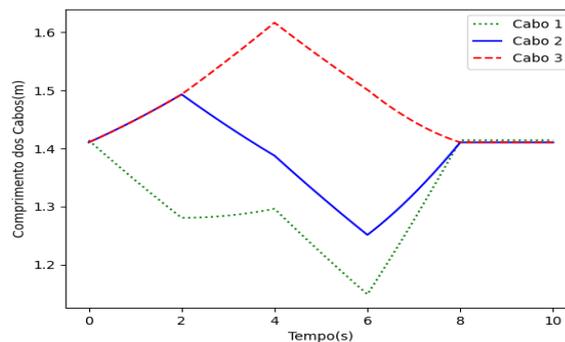
Tabela 1 - Pontos de ancoragem  $i$  (polias).

$A_i$	$X_i(m)$	$Y_i(m)$	$Z_i(m)$
$a_1$	1	0	1
$a_2$	-0.5	0.86	1
$a_3$	-0.5	-0.86	1

A trajetória completa simulada através da programação em Python pode ser observada na Fig.2. Pelo gráfico da Fig.3, é possível observar a posição em função do tempo para as coordenadas de  $x$ ,  $y$  e  $z$  da trajetória realizada pelo cabeçote. Analisando o gráfico é presumível que o cabeçote inicia a trajetória com aceleração constante e velocidade somente em  $x$ . Aos dois segundos inicia-se a aceleração e velocidade em  $y$ , e aos quatro segundos a aceleração e velocidade em  $z$ . É possível verificar que aos seis segundos o cabeçote passa a sofrer simultaneamente desaceleração nas três coordenadas até o instante 8s, isto significa que as velocidades e desacelerações convergem até o ponto de parada em  $x = 0$ ,  $y = 0$  e  $z = 0$ .



Com as coordenadas de entrada ( $A_i$ ) previamente definidas e as de  $A_c$  calculadas em cada instante de tempo, foi possível determinar os comprimentos dos cabos como demonstrado na Fig.4.



Os valores obtidos dos comprimentos dos cabos agora servem de parâmetros para a simulação da trajetória do robô com cabos elásticos.

Foram considerados inicialmente como valores de entrada a massa do cabeçote sendo  $m = 1.5 \text{ kg}$ , o coeficiente de rigidez e de amortecimento respectivamente  $k = 1 * 10^3$  e  $C = 1 * 10^1$  e o vetor da aceleração gravitacional como  $\{g\} = (0, 0, -9.81)$ . Nesta ordem, é apresentado nas Fig.5 e Fig.6 o comportamento cabeçote do robô na trajetória.

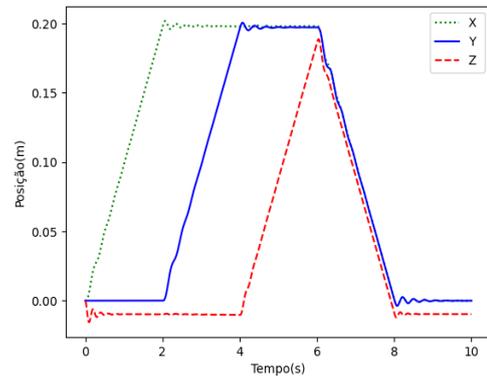
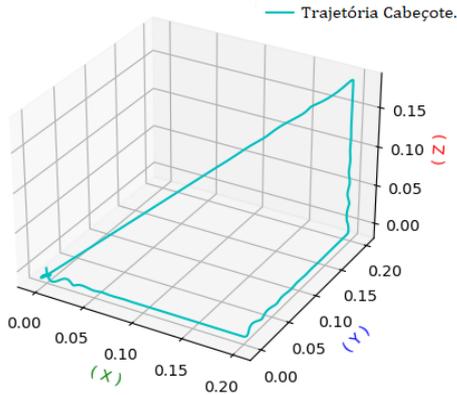


Fig.5 - Evolução da posição do cabeçote com o tempo. Fig.6- Posição x, y e z do cabeçote em função do tempo.

Visivelmente houve falhas durante a execução da trajetória. Analisando a Fig.5, verifica-se a ocorrência de perturbações principalmente com os pontos relacionados às acelerações e desacelerações do cabeçote. O problema fica ainda mais evidente ao avaliar a Fig.6, em que o eixo em z fica abaixo do requerido, inclusive o gráfico indica valores negativos para suas coordenadas, mostrando que o sistema está em inconformidade com as restrições da trajetória, sendo o possível motivo a relação de massa e características dos cabos, ou seja, os cabos “escolhidos” não são os adequados para a massa atribuída no cabeçote.

Por um sistema de testes, chegou-se a valores satisfatórios para o coeficiente de rigidez e para o de amortecimento dos cabos, permitindo a realização dos movimentos do cabeçote com a massa estipulada. As Fig.7 e Fig.8 apresentam as simulações com  $k = 1 * 10^6$  e  $C = 1 * 10^4$  que apresentam resultados satisfatórios e realmente próximos aos obtidos na cinemática inversa.

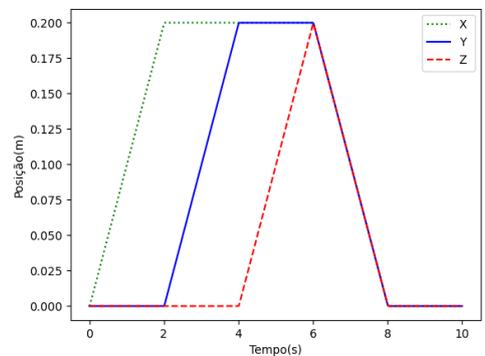
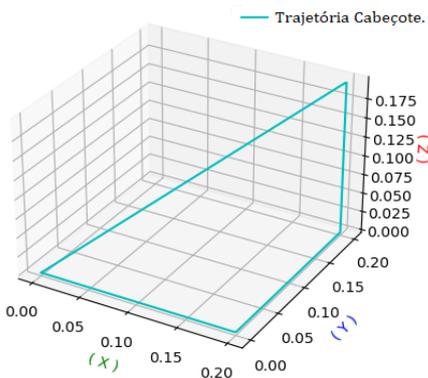


Fig.7 - Evolução da posição do cabeçote com o tempo. Fig.8- Posição x, y e z do cabeçote em função do tempo.

## 5. Conclusões

Neste trabalho foi realizado o estudo da cinemática e dinâmica de um robô acionado por cabos, que possui três graus de liberdade. As equações adquiridas durante o estudo foram utilizadas na programação em linguagem Python, a fim de realizar simulações da movimentação do modelo proposto em uma trajetória controlada.

Através da manipulação das ferramentas que o Python oferece, foi possível determinar a posição do cabeçote do robô no tempo, o comprimento dos cabos no tempo e assim realizar as simulações considerando os cabos como elásticos. A simulação com cabos elásticos demonstra a necessidade do cuidado em escolher de maneira correta as características físicas do cabo para a tarefa que o robô será utilizado, pois caso contrário, a movimentação pode ser completamente comprometida.

As simulações com auxílio computacional se mostram completamente fundamentais hoje em dia, pois permitem testar ao extremo as características e as necessidades de um projeto, permitindo substanciais economias de tempo, recursos e dinheiro, muito antes de um projeto se transformar em um protótipo ou produto.

## 6. Bibliografia

- [1] NUNES, Wilgo Moreira. DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA ROBÓTICA ATUADA POR CABOS PARA REABILITAÇÃO/RECUPERAÇÃO DOS MOVIMENTOS DO OMBRO HUMANO. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-mg, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14900/1/d.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2019.
- [2] Gosselin C., Foucault S. (2015) Experimental Determination of the Accuracy of a Three-Dof Cable-Suspended Parallel Robot Performing Dynamic Trajectories. In: Pott A., Bruckmann T. (eds) Cable-Driven Parallel Robots. Mechanisms and Machine Science, vol 32. Springer, Cham.
- [3] BOSSCHER, Paul; RIECHEL, Andrew T.; EBERT-UPHOFF, Imme. Wrench-Feasible Workspace Generation for Cable-Driven Robots. 2006. 22 v. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Ieee Transactions On Robotics, no, 2006. Cap. 22.
- [4] Gosselin C., Foucault S. (2015) Experimental Determination of the Accuracy of a Three-Dof Cable-Suspended Parallel Robot Performing Dynamic Trajectories. In: Pott A., Bruckmann T. (eds) Cable-Driven Parallel Robots. Mechanisms and Machine Science, vol 32. Springer, Cham.