

DESENVOLVIMENTO DE ROBÔ PARALELO

Victor Danilo Kumazawa

Universidade de São Paulo Escola Politécnica Departamento de Engenharia Mecânica

E-mail: vkumazawa@gmail.com

Resumo. A comunidade acadêmica e a industrial têm manifestado um interesse crescente pela utilização de uma a cinemática denominada paralela, que se caracteriza pela presença de vários “membros” ou “pernas”, atuando de forma paralela ou simultânea sobre o órgão terminal. Esta arquitetura não-convencional apresenta potencialmente uma série de vantagens se comparada à tradicional serial. Neste trabalho, desenvolveu-se um robô paralelo do tipo “pega-e-põe” e que é capaz de realizar três translações: o R3T. O desenvolvimento deste se deu por meio da determinação de seu modelo matemático através do método da cinemática inversa, do estudo de sua rigidez e da otimização de seu espaço de trabalho. Também houve envolvimento com a fabricação das peças que compõe o protótipo real. As simulações foram desenvolvidas nos softwares Scilab 4.2.1 e os modelos virtuais no MSC-Visual Nastran 4D.

Palavras chave: *Arquiteturas paralelas, cinemática, Robôs (Modelos Matemáticos), softwares (Simulação), Manipuladores mecânicos*

1. Introdução

Em geral, nas aplicações industriais há a predominância de robôs cujas arquiteturas correspondem a estruturas cinemáticas seriais, ou seja, seus atuadores e peças movidas são dispostos em série, um após o outro, formando um único “membro” móvel, de modo a posicionar o órgão terminal, que é a parte do robô que comumente contém uma garra ou um eletrodo de solda. Segundo Brochard (2002), há uma tendência mundial no sentido de expandir as aplicações atuais dos robôs industriais para tarefas envolvendo corte e solda a laser, montagem de alta precisão, retificação, fresamento, etc. Entretanto, estes robôs apresentam desempenho insatisfatório para tais tarefas, pois demandam elevada precisão, rigidez, alta frequência natural e baixo tempo de ciclo.

Devido a estes fatores, tanto a comunidade acadêmica como industrial têm manifestado interesse crescente para utilização de um outro tipo de estrutura cinemática, denominada paralela, que se caracteriza pela presença de vários “membros” ou “pernas”, atuando de forma paralela ou simultânea sobre o órgão terminal. Esta arquitetura não-convencional apresenta, potencialmente, uma série de vantagens se comparada à tradicional serial. Dentre elas podem ser citadas: alta rigidez, leveza, rapidez, precisão e alta capacidade de carga. No entanto, apesar dos avanços obtidos nesta direção, existe uma série de problemas abertos que necessitam de uma investigação mais profunda, de modo a garantir que esta mudança de tendência venha a ser implantada com eficácia. Existem modelos de robôs que utilizam a estrutura cinemática paralela, como o *IRB 340 Flex Picker (ABB Ltd, Suíça)*.

Este trabalho insere-se em um grupo de pesquisa que visa desenvolver um robô paralelo, tendo como base as mudanças propostas em trabalhos anteriores e novas diretrizes de melhorias a serem propostas no decorrer do tempo. O objetivo do grupo será desenvolver a parte dos motores e controladores das cadeias, a arquitetura do robô e as juntas esféricas presentes no robô. Ao final construiu-se um protótipo real deste, com o intuito de realizar análises e propor possíveis melhorias a serem realizadas em um projeto futuro e se arrecadou recursos para a construção de um modelo definitivo.

Neste trabalho foi desenvolvida a arquitetura do robô, por meio de cálculos, rotinas em programas computacionais, modelos virtuais em CAD e simulações, sendo que o objetivo final foi encontrar melhores proporções, assim como tamanhos para os braços da cadeia ativa do robô. Este processo se mostra importante ao trabalho do grupo como um todo e principalmente à elaboração do modelo real, pois assim será possível definir melhores características cinemáticas e obter um melhor espaço de trabalho. O trabalho também tem como objetivo simular seu movimento através de modelo virtual e fazer uma análise da rigidez do conjunto e a construção da parte mecânica do protótipo. Como ferramentas, serão utilizados os softwares Solid Works, Visual Nastran 4D e Scilab.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivos:

- Desenvolver um robô de arquitetura paralela.
- Definir uma configuração específica para a arquitetura do robô, baseado em trabalhos anteriores
- Desenvolver um protótipo virtual do robô através do software Visual Nastran 4D 2002.
- Criar o modelo matemático do robô utilizando o método da cinemática inversa;
- Analisar a rigidez obtida para o robô.
- Criar método de otimização das proporções de suas dimensões de forma a maximizar o espaço de trabalho.
- Construir a parte mecânica do protótipo real do robô.

1.2. R3T

O R3T é um robô paralelo com cadeia passiva de três graus de liberdade. Sua configuração é 3RUS + PPLP sendo seus três graus de liberdade, portanto, destinado a três translações.

O robô teve origem em um estudo que verificou suas proporções, medidas e configurações, e a partir disso criou um protótipo real deste robô (Branchini, 2004). Originalmente, a configuração deste robô não era 3RUS + PPLP, e sim 3RUS + PRP. Isto mantinha os três graus de liberdade, entretanto, ao invés de três translações, realizava duas translações e uma rotação, como pode ser visto na figura (1) A cadeia antiga anterior continha uma junta prismática, seguida de uma junta rotativa, terminando com uma junta prismática de novo. A cadeia nova era formada por uma junta prismática acoplada a um quadrilátero articulado, que era preso em outra junta prismática, como pode ser visto na figura 4 (b). Como se pode observar, a única diferença entre eles é a cadeia passiva, pois as cadeias ativas dos dois são iguais.

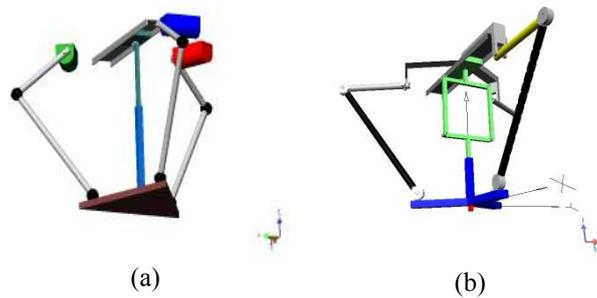


Figura 1. (a) R3T original (b) R3T modificado

Tal mudança foi realizada no estudo, pois havia o intuito de comparar-se o R3T ao IRB 340 sob diferentes aspectos, e para tal, optou-se por esta configuração, uma vez que o IRB 340 contém três translações, sendo, portanto, incoerente comparar um modelo de três translações com um de duas translações e uma rotação.

Apesar de o 3RUS + PPLP não possuir protótipo, sua cadeia ativa é igual ao do 3RUS + PRP, portanto, suas dimensões são iguais, cerca de 40 cm de altura.

Com relação a sua estrutura, a cadeia ativa do R3T possui seis juntas esféricas. Tendo menor necessidade de juntas com pouco volume e peso, uma vez que não são necessárias em número, assim, após um estudo e desenvolvimento de dois tipos de juntas, optou-se pela configuração atual, que possui maiores ângulos de movimentação do que a do modelo original, embora seja mais robusta.

Apesar de o 3RUS + PPLP não possuir protótipo físico, foi definido que sua cadeia ativa é igual ao do 3RUS + PRP, portanto, suas dimensões são iguais, tendo cerca de 400 mm de altura.

O trabalho previa também uma otimização desta segunda versão. Ao término das análises e comparações, chegou-se a uma terceira versão do R3T. Esta versão teve além de melhorias quanto as proporções uma expressiva mudança quanto a sua configuração. Uma das cadeias ativas foi retirada do modelo, e a cadeia passiva tornou-se ativa (figura (2)).

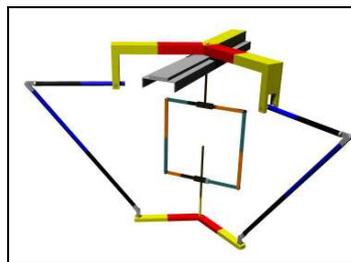


Figura 2. Terceira versão do R3T

2.MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Configuração adotada

A partir da terceira versão do robô R3T, se propôs uma mudança quanto ao ângulo entre as cadeias ativas, de tal forma que estas formem um ângulo de 180 graus. Isto permitiu que o robô ganhasse uma arquitetura inédita dentro dos mecanismos paralelos, gerando algumas propriedades inéditas, porém sem mudanças drásticas quanto aos cálculos, dimensionamento e comportamento do robô.

Como características únicas desta configuração, podem-se citar uma grande simplificação do cálculo do espaço de trabalho, uma vez que antes este era simétrico em relação a apenas um eixo, agora este é simétrico a dois eixos. Sua

movimentação também se tornou simétrica quanto ao plano que corta a antiga cadeia passiva, o que se traduz em um controle mais simples. O padrão de movimentação dos ângulos dos motores para um dado movimento do órgão terminal também se tornou mais simples, o que permite diversas simplificações quanto aos seus cálculos. De maneira geral, a arquitetura adotada é bem didática.

Estimaram-se inicialmente as dimensões do robô, ilustradas na figura (3), tomando como base as seguintes condições: percorrer uma largura de 700 mm e uma altura de 100 mm. Com isto, variou-se as dimensões de suas cadeias de forma a percorrer tal área. Tal dimensionamento inicial, embora superficial, se mostra necessário para criar um primeiro modelo virtual e servirá de base para a criação da primeira configuração do protótipo real, que terá flexibilidade para ajustes sendo que posteriormente este será alinhado aos resultados obtidos na otimização. Cálculos de dimensionamento mais criteriosos serão feitos posteriormente.

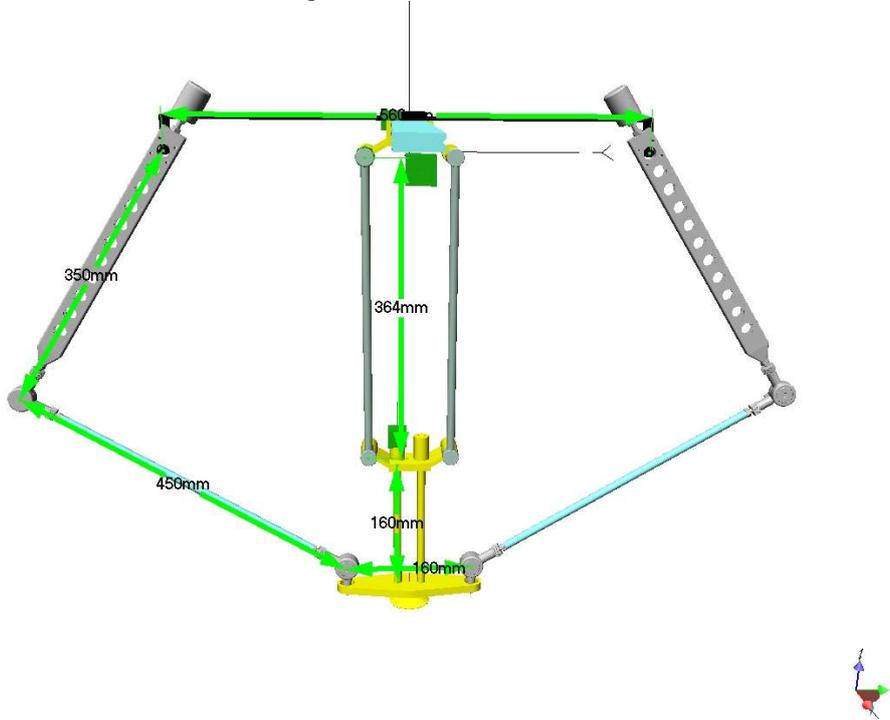


Figura 3. Dimensões iniciais

2.2. Modelo virtual

Para diversos fins, criou-se um primeiro modelo virtual do R3T a partir de desenhos computacionais de seus componentes nos softwares Visual Nastran 4D 2002 e Solid Works 2006. As dimensões preliminares foram utilizadas, desta maneira, há a possibilidade de mudanças nas dimensões do modelo.

2.3. Modelo matemático do robô – cinemática inversa

O modelo matemático desenvolvido visou determinar a posição dos atuadores, a velocidade destes e o torque que estes transmitem para gerar uma força F no ponto P . Para tal, utilizou-se o método da cinemática inversa, equações de posição, de velocidade e de torque. O modelo tem como entrada uma dada posição, velocidade nesta posição e forças desejadas no ponto P . O ponto P foi definido em função das coordenadas X , Y e Z , fixas e globais, tem sua velocidade expressa por \dot{X} , \dot{Y} , \dot{Z} , e forças desejadas F_x , F_y e F_z e é fixo ao órgão terminal. Nos atuadores, os ângulos dos motores são expressos por θ_1 , θ_2 , e a disposição da junta prismática por q_3 . Suas velocidades são expressas por $\dot{\theta}_1$, $\dot{\theta}_2$, \dot{q}_3 e seus torques, por T_1 , T_2 e T_3 . A matriz Jacobiana, é expressa por J . O diagrama de blocos a seguir visa ilustrar melhor o exposto, figura (4)

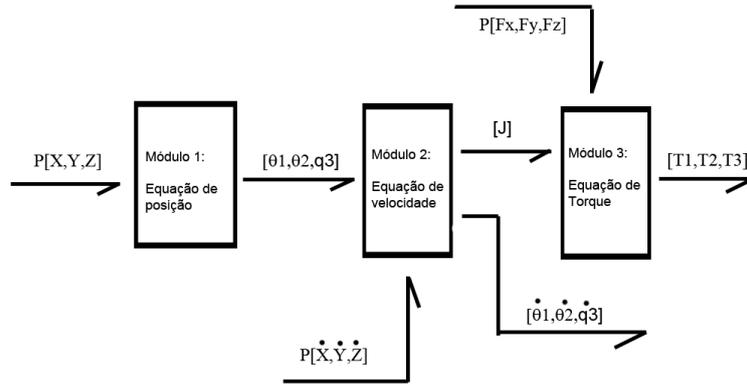


Figura 4. Diagrama de blocos do modelo matemático

O robô foi modelado da seguinte maneira: para esta etapa, considerou-se todas as barras e juntas rígidas e indeformáveis e peso nulo. Está ilustrado na figura (5). As dimensões $K1$, $L1$, D , $D1$ e L são constantes e conhecidas, e necessárias para se determinar a configuração do robô.

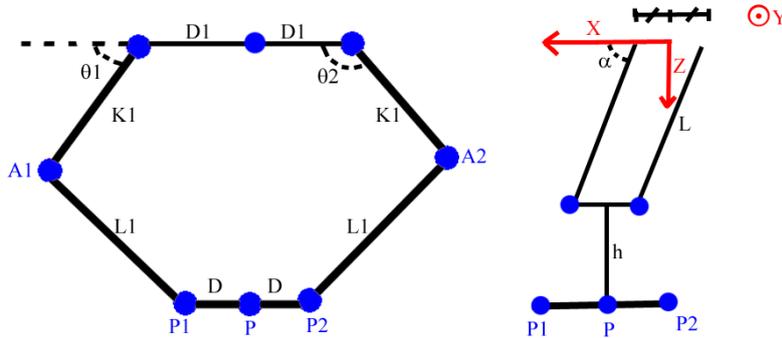


Figura 5. Esquema do robô

2.3.1 Equação de posição

Cadeia central

Devido à configuração do robô, a posição deste em Y , torna-se a própria posição Y da cadeia prismática central.

Lado esquerdo

Para o lado esquerdo (que contém o ponto $P1$ e $A1$), temos a Eq. (1):

$$(G1 - E1)u^2 + (2.F1)u + (G1 + E1) = 0 \quad (1)$$

Onde:

$$E1 = -2.K1.[X + (D - D1)]$$

$$F1 = -2.K1.Z$$

$$G1 = X^2 + Y^2 + Z^2 + K1^2 - L1^2 + (D - D1)^2 + 2.(D - D1).X$$

$$\cos \theta 1 = \frac{1 - u^2}{1 + u^2}$$

$$\sin \theta 1 = \frac{2u}{1 + u^2}$$

Lado direito

De modo análogo, obtém-se para o lado direito (que contém o ponto $P2$ e $A2$) a Eq. (2):

$$(G2 - E2)u^2 + (2.F2)u + (G2 + E2) = 0 \quad (2)$$

Onde:

$$E2 = -2.K1.[X + (-D + D1)]$$

$$F2 = -2.K1.Z$$

$$G2 = X^2 + Y^2 + Z^2 + K1^2 - L1^2 + (-D + D1)^2 + 2.(-D + D1).X^2$$

$$\cos \theta 2 = \frac{1 - u^2}{1 + u^2}$$

$$\sin \theta 2 = \frac{2.u}{1 + u^2}$$

Desta maneira, dado um ponto P conhecido, basta resolver as equações para obter-se os ângulos relacionados.

2.3.2 Equação de velocidade

Para determinar-se a equação de velocidade, é necessário derivar a equação de posição:

$$\dot{P} = \frac{d(P)}{dt} = [\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}]^T$$

Cadeia central

Devido à configuração do robô, a velocidade deste em Y , torna-se a própria velocidade Y ponto da cadeia prismática central.

Lado esquerdo e direito

A Eq. (3) fica:

$$[Jx] \cdot \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = [Jq] \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta} 1 \\ \dot{\theta} 2 \\ q 3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Onde:

$$Jx = \begin{bmatrix} Jx(1,1) & Jx(1,2) & Jx(1,3) \\ Jx(2,1) & Jx(2,2) & Jx(2,3) \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Jx(1,1) = -2.K1.\cos \theta 1 + 2.(D - D1) + 2.X$$

$$Jx(1,2) = 2Y$$

$$Jx(1,3) = -2.K1.\sin \theta 1 + 2.Z$$

$$Jx(2,1) = -2.K1.\cos \theta 2 + 2.(-D + D1) + 2.X$$

$$Jx(2,2) = 2.Y$$

$$Jx(2,3) = -2.K1.\sin \theta 2 + 2.Z$$

$$Jq = \begin{bmatrix} E1.\sin \theta 1 - F1.\cos \theta 1 & 0 & 0 \\ 0 & E2.\sin \theta 2 - F2.\cos \theta 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Desta maneira, para se determinar as velocidades no atuador, basta, para uma dada velocidade no ponto P , resolver a equação matricial apresentada.

2.3.3. Equação de torque

Para o robô, $F = [F_x, F_y, F_z]^t$ e $T = [T1, T2, T3]^t$, desta maneira, a relação entre a força atuante no órgão terminal e o torque nos órgãos terminais se dá pela Eq. (4):

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = [J]^t \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Onde a matriz Jacobiana J é igual a:

$$J = [Jq]^{-1} \cdot [Jx]$$

Através do vetor de força dado, e da matriz jacobiana determinada na equação de velocidade, determina-se os torques nos atuadores.

2.4. Estudo de Rigidez do Robô

2.4.1. Rigidez

Seja $T=[T_1, T_2, T_3, \dots, T_n]^t$ o vetor de torque exercido pelos atuadores, $\Delta q = [\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3, \dots, \Delta q_n]^t$ o vetor de deformação nos mesmos e $\Delta x = [\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_n]^t$ o vetor deformação no órgão terminal, existe a Eq. (5):

$$F = J^t \cdot \chi \cdot J \cdot \Delta x \quad (5)$$

Onde χ é uma matriz diagonal, que contém os coeficientes de rigidez k_1, k_2, \dots, k_n , onde cada um está associado a um atuador. Desta maneira, dado uma força atuante no órgão terminal, através da matriz Jacobiana e da matriz χ , acha-se o deslocamento no órgão terminal devido a não rigidez do acoplamento mecânico.

2.4.2. Aplicação da rigidez no robô

No projeto do robô, se prevê o uso de motores de passo nos seus 3 atuadores e em 2 deles, a cadeia está acoplada direto no eixo. A obtenção dos coeficientes da matriz χ para tais motores é difícil, e demandaria muitos testes, o que não necessariamente geraria resultados satisfatórios. Assim, decidiu-se fazer as seguintes considerações para o robô:

- A barra da cadeia (dimensão K_1) ativa é rigidamente fixa ao motor;
- O motor de passo é rígido;
- As constantes k_1 , e k_2 , referentes aos motores esquerdo e direito, passaram-se a se referir a flexão da barra da cadeia ativa, e o vetor Δq refere-se agora ao ângulo que as barras rotacionam devido as forças F aplicadas no órgão terminal.

Para a cadeia central, pretende-se usar uma correia presa ao motor de passo para a transmissão do movimento, sendo que para este, a aplicação da definição de rigidez é direta, sendo possível usar um coeficiente k_3 para a correia, que é de borracha e geralmente tem um coeficiente k conhecido.

Na nova abordagem da deformação Δq , o braço de dimensão K_1 foi modelado como uma barra engastada, de momento de inércia I e módulo de elasticidade E . Tomando o ângulo, no meio da barra em que $x=L/2$:

$$\theta\left(\frac{L}{2}\right) = \Delta q = \frac{K_1}{2 \cdot EI} \cdot F \cdot b \cdot K_1$$

$$\Delta q = k \cdot T$$

$$k = k_1 = k_2 = \frac{K_1}{2EI}$$

$$\chi = \begin{bmatrix} \frac{K_1}{2EI} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{K_1}{2EI} & 0 \\ 0 & 0 & k_3 \end{bmatrix}$$

Uma vez conhecida a matriz χ e a matriz jacobiana, para um dado vetor de força aplicada no ponto P, obtém-se a deformação neste.

2.5. Otimização das dimensões do robô

Para o algoritmo de otimização das dimensões do robô, é necessário alguns dados que podem ser obtidos por meio dos diversos módulos do modelo matemático do robô já definidos anteriormente e um módulo capaz de calcular o volume do espaço de trabalho.

2.5.1. Volume do espaço de trabalho

O espaço de trabalho compreende os pontos possíveis de serem alcançados pelo órgão terminal do robô.

Define-se número de pontos A_x , A_y e A_z e um passo f e considerando que existam M pontos complexos ao final da varredura do paralelepípedo B , o volume $= A_x.A_y.A_z.f^3$ do espaço de trabalho Vol pode ser definido pela Eq. (6):

$$Vol = (A_x.A_y.A_z - M).f^3 \quad (6)$$

Por se tratar de uma aproximação numérica, quanto maiores os valores de A_x , A_y e A_z e menor o valor de f , mais refinado é o resultado.

Vale ressaltar que especificamente para o caso do R3T, o paralelepípedo B representa apenas $\frac{1}{4}$ do volume total de trabalho, representado na figura (6).

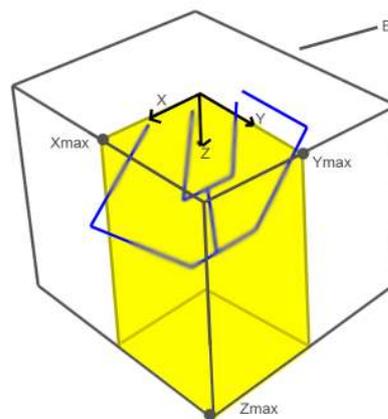


Figura 6. Representação do paralelepípedo B

2.5.2. Otimização

Numa primeira etapa, a otimização se deu apenas no quesito do espaço de trabalho, não levando em conta o torque, que será levado em conta posteriormente. Escolheu-se duas variáveis representativas para as dimensões do robô. A partir destas variáveis, plotou-se um gráfico do volume de espaço de trabalho em função destas. A combinação de variáveis que apresentou maior volume de espaço de trabalho foi a escolhida.

Para o R3T escolheu-se como variáveis dois adimensionais, o $coef1 = K1/L1$ e $coef2 = D1/D$. Assim, dado um valor fixo e conhecido de $L1$ e D , tem-se os valores de $K1$ e $D1$ e, portanto, define-se o robô.

Definiu-se uma constante $Cte1$ e $Cte2$ de tal forma que:

$$K1 + L1 = Cte1$$

$$D1 + D = Cte2$$

Assim, temos a Eq (7) e (8)

$$coef1 = \frac{K1}{L1} = \frac{Cte1 - L1}{L1}$$

$$coef2 = \frac{D1}{D} = \frac{Cte2 - D}{D}$$

Assim, o algoritmo de otimização encontra o espaço de trabalho para cada combinação $Coef1$ e $Coef2$, e arquiva este valor em uma matriz, que posteriormente será plotada, gerando uma curva de superfície.

2.6. Protótipo real

Foi construído um protótipo com motores em seus atuadores que pode ser controlado. As medidas utilizadas, já respeitam as proporções encontradas no estudo de otimização do espaço de trabalho do robô.

Como vantagens de se construir um protótipo, podemos citar o melhor entendimento do funcionamento do robô, a detecção de problemas mecânicos, de ordem construtiva e funcional, o que trará uma rica experiência para a fabricação de um robô real.

Sua fixação se deu em uma base de madeira. Para o deslocamento no eixo Y, foi utilizado um sistema de fuso, rosca M10 SAE 1020, onde em sua extremidade foi utilizado um rolamento de apoio miniatura 697 da empresa HCH. A porca utilizada neste fuso foi usinada em bronze. Os dois eixos guias foram usinados em aço prata com diâmetro de 10 mm. Para o deslocamento sobre estes eixos, utilizou-se um bloco deslizante utiliza dois rolamentos lineares KH1026 da empresa PPK. Para o deslocamento no eixo Z, foram utilizados dois rolamentos lineares KH0824 da empresa PPK. O eixo na qual o rolamento corre foi feito em aço prata. As demais peças foram usinadas em alumínio AL6061 devido à leveza deste material, e utilizaram processos comuns de usinagem, como fresa, torneamento entre outros.

Para sua fabricação, as seguintes medidas foram escolhidas:

- D=100 mm
- D1= 100 mm
- K1=100 mm
- L1= 200 mm
- L= 160 mm
- h=90 mm

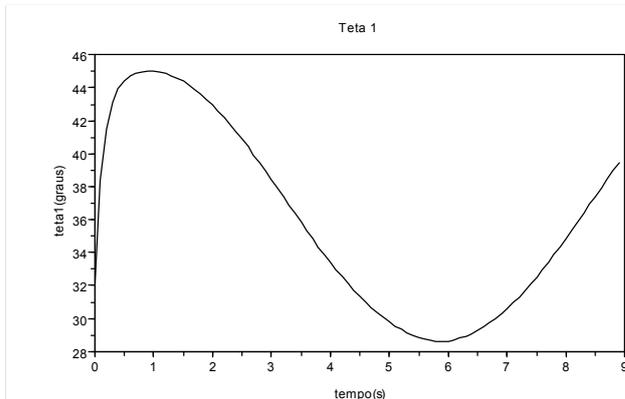
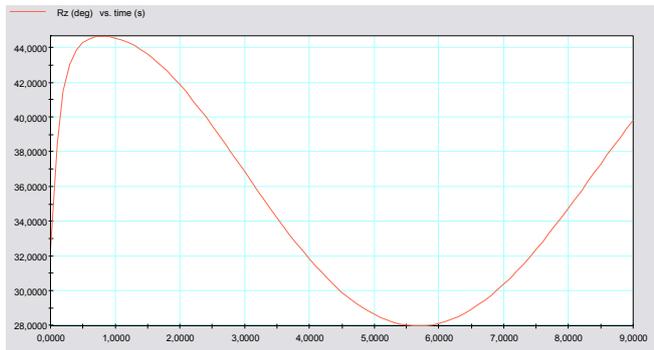
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Fabricação das peças

Existem os desenhos de fabricação e de conjunto referentes aos braços fixos ao motor (cujas dimensões é K1).

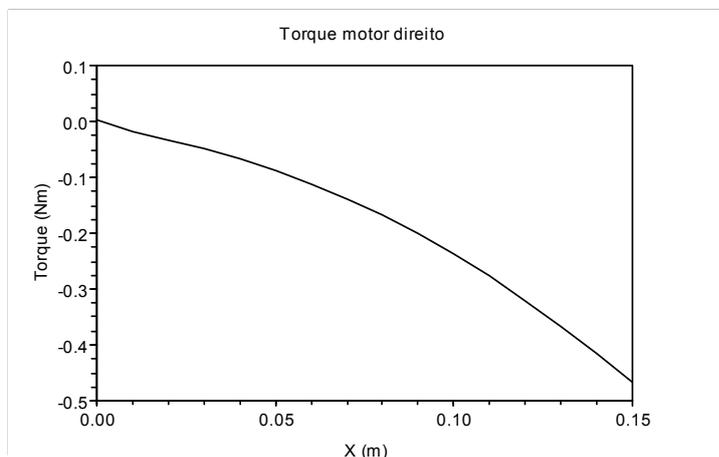
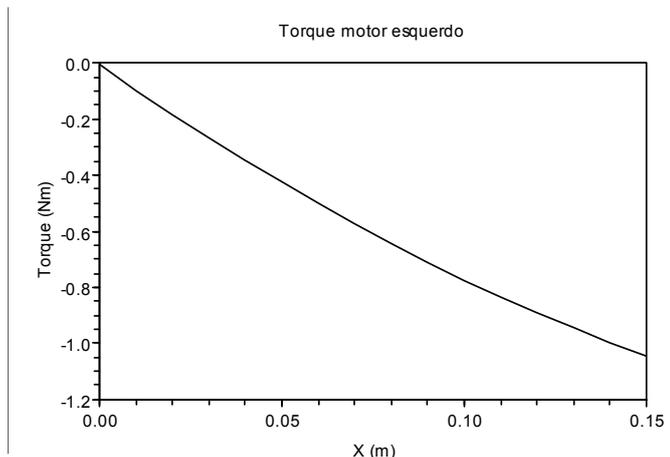
3.2. Programa em Scilab - Modelo matemático

A simulação visou comparar os resultados obtidos no modelo matemático com os resultados obtidos em simulações no modelo inicial, construído no *Visual Nastran*. Configurou-se o modelo matemático para ter as mesmas dimensões do modelo virtual. Os resultados para esta simulação no *Visual Nastran 4D* estão nas figuras (7) e (8):



Figuras 7 e 8. θ_1 em função do tempo (esquerda, *Visual Nastran 4D*), θ_1 em função do tempo (direita, *Scilab*)

A seguir, o gráfico do torque estático para um deslocamento ao longo do eixo X, com Y=0 e Z=100, figuras (9) e (10):



Figuras 9 e 10. Torque estático esquerdo em função de X (esquerda), Torque estático direito em função de X (direita)

3.3. Programa em Scilab - Estudo sobre a rigidez

Pode-se fazer o estudo sobre a rigidez do robô considerando as dimensões dos desenhos de fabricação, referentes ao modelo virtual. Para a barra de dimensão K1, o momento de inércia I e o módulo de elasticidade podem ser dados por:

$$AL6061- E=70 \text{ Gpa}$$

$$I = 8.286 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

O componente $k3$ da matriz χ , por ser relacionado à correia, a qual não foi definida, terá o mesmo valor de $k1$ e $k2$. A deformação para uma força aplicada de 50N é:

$$[\Delta X, \Delta Y, \Delta Z] = [0, 0, 0.0035782]$$

Na simulação, o órgão terminal do modelo encontrava-se em $Z=524$ mm. Para estes 524 mm, houve um deslocamento de 3.58 mm no eixo Z. Este valor em porcentagem equivale a uma imprecisão de 0.68% na coordenada Z.

3.4. Programa em Scilab - Otimização das dimensões do robô

O gráfico do volume da área de trabalho plotado em função de $coef1$ e $coef2$ está na figura 10

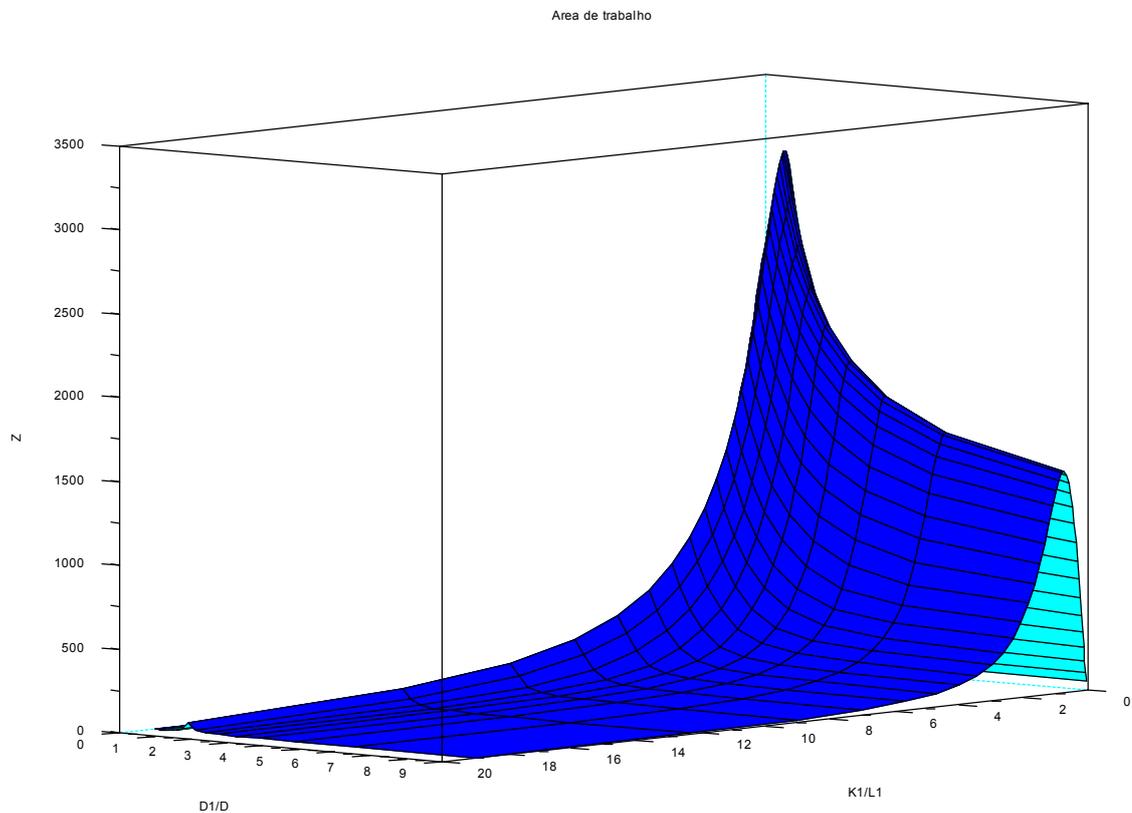
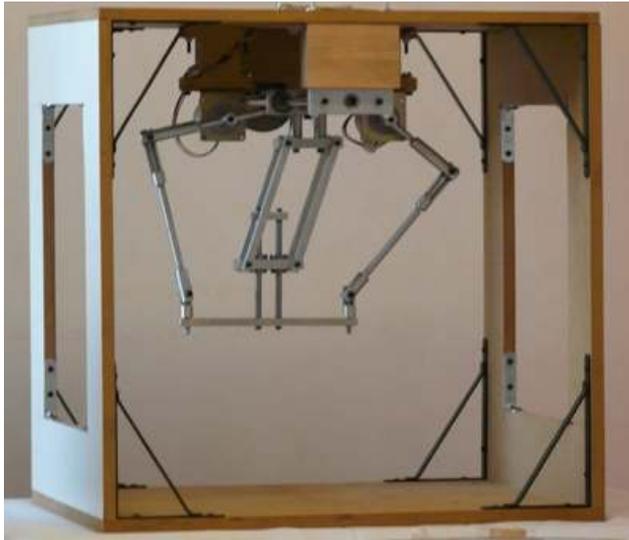


Figura 10. Volume do espaço de trabalho em função de $Coef1$ e $Coef2$

A partir do gráfico, nota-se que há um pico no valor para $K1/L1 = 0.5037594$, e $D1/D=1$, sendo esta a relação de barras que gera o maior espaço de trabalho. É curioso notar que esta proporção assemelha-se a outros robôs semelhantes.

3.5. Protótipo real

O protótipo real foi construído, e foi controlado com placas (drivers) em interface LINUX CNC, tema de trabalho final de outro integrante do grupo. A seguir algumas figuras de seus detalhes, nas figuras 11 e 12.



Figuras 11 e 12. Protótipo do R3T em vista frontal (esquerda) e vista inferior (direita)

O modelo ajudou a detectar alguns pontos a serem melhorados, como a cadeia central, que poderá ter sua arquitetura refeita de forma a aumentar o espaço de trabalho útil, além de mostrar pontos de colisão na movimentação do robô. A solução construtiva obtida na junta foi satisfatória. A guia responsável pelo movimento no eixo Z mostrou-se de difícil fabricação e não tão eficaz. De forma geral o protótipo teve resultado satisfatório, pois gerou experiência para a construção de um robô real futuro.

5. Referências

Hess-Coelho, T. A. ; Branchini, D.; Malvezzi, F. A new family of 3-dof parallel robot manipulators for pick-and-place operations. In: Proc. of 18th International Congress of Mechanical Engineering, Nov 6-11, Ouro Preto, 2005.

Malvezzi, F. Avaliação do comportamento cinemático de um mecanismo paralelo tridimensional, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

Merlet, J. P., *Parallel robots*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.

Karouia, M. ; Hervé, J. M. A Family of Novel Orientational 3-Dof Parallel Robots. In Proceedings of RomanSy'2002, Udine, Italy, July 1-4, pp. 359-368, 2002.

ABB (Asea Brown Boveri Ltd) In: Parallel arm robots: IRB 340, FlexPicker, 2003, disponível em <http://www.abb.com>.

6. Direitos autorais

PARALLEL ROBOT DEVELOPMENT

Victor Danilo Kumazawa

Universidade de Sao Paulo Escola Politecnica Departamento de Engenharia Mecanica
E-mail: vkumazawa@gmail.com

Abstract. The industrial and the academic community have expressed a growing interest by the use of a kinematic structure called parallel, which is characterized by the presence of several "members" or "legs", acting in parallel or simultaneous on the terminal part. This non-conventional architecture presents a number of potential advantages when compared to the traditional serial. In this study, a model of virtual parallel robot "pick-and-place" that can perform three translations is developed: The R3T. The math model based on the inverse kinematics method, the robot rigidity analysis and the work space volume optimization were made for the robot. The simulations were developed in the software Scilab 4.1.2. and the virtual model on MSC-Visual Nastran 4D.

Keywords. *Parallel architectures, Kinematic, Robots (mathematics models), Software (simulation), Mechanical manipulators*