



Utilização do MATLAB como ferramenta de simulação da movimentação dos eixos de um Robô.

Tabacow RP

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP, São Paulo, Brasil.

Resumo. Com o avanço da globalização, veio a necessidade das indústrias se tornarem mais competitivas, buscando diminuir custos, e gerenciar melhor os seus recursos. Para isso, o investimento em automação vem crescendo, na intenção de garantir estabilidade do processo, diminuir a intervenção humana para garantir a qualidade, diminuindo assim refugo e retrabalho, diminuir mão de obra, aumentar a produtividade, elevar o nível de segurança no trabalho e otimizar o espaço físico. Com a instalação de processos automatizados, os robôs acabam sendo utilizados em larga escala nas indústrias. Assim, nestas empresas a simulação assume um papel preponderante na forma como implementam os seus processos nos diferentes robôs industriais, de forma a obter sucesso nos seus produtos. Isto estabelece uma análise prévia nas soluções que se pretende alcançar, tornando a simulação algo que fornece à empresa aplicações de estratégia no mercado. Recorrendo à simulação, a qual se tornou uma área inovadora capaz de auxiliar as mais diversas áreas de atividade humana, é possível utilizar o modelo que representa um sistema qualquer, um robô, e simular o seu comportamento de forma a poder-se efetuar uma avaliação antecipada do seu desempenho. Este artigo tem como objetivo, demonstrar a utilização da ferramenta Toolbox Robotics do software Matlab, através da modelagem de um braço robótico, e elaboração da sua programação para simulação da movimentação dos seus eixos. Para esta demonstração, foi considerada uma situação real de transporte de materiais, e criado a programação que simula a movimentação do robô, demonstrando todos os parâmetros e funções utilizadas para gerar o programa. Esta ferramenta nos possibilita análise dos parâmetros de controle das juntas do equipamento, verificação da sua funcionalidade e sua movimentação no ambiente de trabalho, permitindo uma prévia análise de viabilidade do sistema automatizado em questão.

Palavras Chaves. *Robótica, Toolbox Robotics, Matlab.*

Introdução. Robô industrial é definido como um "manipulador multifuncional reprogramável projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, através de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas" (1).

Este tipo de equipamento está sendo utilizado em larga escala na indústria, pois meios de produção industrial necessitam de um contínuo desenvolvimento, de forma a poderem corresponder com as necessidades de um mercado globalizado e bastante competitivo, exercendo uma pressão para uma personalização de produtos, menor consumo de materiais e diminuição de custos. Os sistemas de manufatura atualmente aplicados nestes meios de produção têm de ser mais flexíveis e adaptados a ponto de conseguirem acompanhar a constante evolução do mercado (2). Além disso, estes equipamentos vêm realizando atividades que apresentam algum tipo de risco ao ser humano ou que necessitam alto grau de precisão e repetibilidade. Além disso, o uso de robôs industriais no chão de fábrica de uma empresa está diretamente associado aos objetivos da produção automatizada, a qual visa (3):

- Reduzir custos dos produtos fabricados, com a diminuição do número de pessoas envolvidas na produção, aumentando a produtividade, reduzindo perdas e retrabalho;
- Melhorar as condições de trabalho do ser humano, por meio da eliminação de atividades perigosas ou insalubres de seu contato direto;
- Melhorar a qualidade do produto, através do controle mais racional dos parâmetros de produção;
- Realizar atividades impossíveis de serem controladas manualmente ou intelectualmente, como por exemplo, a montagem de peças em miniatura, a coordenação de movimentos complexos e atividades muito rápidas (deslocamento de materiais).

Porém com a implantação de sistemas de automatizados, surgiu também a necessidade do uso de simulação, pois ela nos gera os seguintes benefícios; diminuição dos custos, economia de tempo e redução de risco. O uso de simulação por tecnologias que empregam informação e comunicação são recursos valiosos para o desenvolvimento de estratégias que visam melhorar o ensino e aprendizagem. (4)

Estrutura do Robô. Alguns manipuladores (ou braço robótico) possuem muitas similaridades com o corpo humano. A estrutura mecânica do robô, que corresponde ao esqueleto humano, consiste de braço, punho e órgão terminal. Estes componentes de um manipulador são constituídos de partes rígidas chamadas de elos (eixos), que são ligados entre si através das juntas, conforme fig. 1 (5).

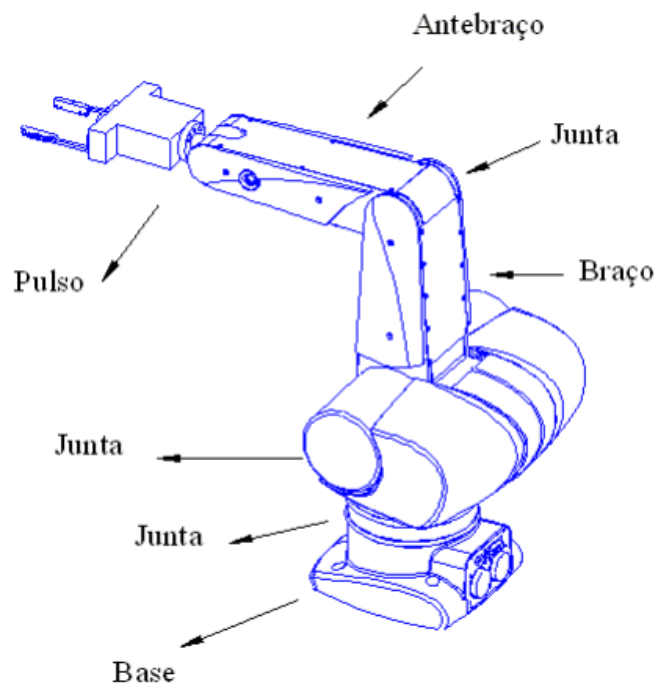


Figura 1: Anatomia do Robô (3)

As juntas unem as partes rígidas do robô podendo ser do tipo prismática, rotacional (ou linear), esférica, cilíndrica, planar e parafuso e constituem uma das partes fundamentais na cinemática do robô (5).

- Junta prismática ou linear: move-se em linha reta. São compostas de duas hastes que deslizam entre si;
- Junta rotacional: gira em torno de uma linha imaginária estacionária chamada de eixo de rotação. Ela gira como uma cadeira giratória e abrem e fecham como uma dobradiça;
- Junta esférica: funciona com a combinação de três juntas de rotação, e permite rotações em torno de três eixos distintos;
- Junta cilíndrica: é composta por duas juntas, uma rotacional e uma prismática;
- Junta planar é composta por duas juntas prismáticas, e realiza movimentos em duas direções;
- Junta tipo fuso ou parafuso: é constituída de um parafuso e uma rosca que executa um movimento semelhante ao da junta prismática, porém, com movimento de rotação no eixo central (movimento do parafuso). (6)

São as juntas que permitem a movimentação dos eixos do robô.

Cinemática de Movimentação do Robô. A evolução no tempo das coordenadas das juntas de um robô representa o modelo cinemático de um sistema articulado no espaço tridimensional.

Denavit e Hartenberg propuseram um algoritmo para atribuir um sistema de coordenadas ortonormal, sendo um para cada elo em uma cadeia cinemática aberta de elos. Logo, a descrição dos parâmetros de orientação e posição do manipulador torna-se um problema de orientação e



descrição de um sistema de coordenadas. (7). Esta tem por objetivo obter a posição e orientação do manipulador em relação à referência (base).

A notação de *Denavit Hartenberg* é uma ferramenta utilizada para sistematizar a descrição cinemática de sistemas mecânicos articulados com n graus de liberdade (8)

Para descrever a translação e rotação entre dois eixos adjacentes, Denavit e Hartenberg propuseram um método matricial para estabelecimento sistemático de um sistema de coordenadas fixo para cada eixo de uma cadeia cinemática articulada.

A representação de Denavit-Hartenberg (D-H) resulta na obtenção de uma matriz de transformação homogênea 4×4 , representando cada sistema de coordenadas do eixo na junta, em relação ao sistema de coordenadas do eixo anterior. Assim, a partir de transformações sucessivas, podem ser obtidas as coordenadas do elemento terminal de um robô (último eixo), expressas matematicamente no sistema de coordenadas fixo a base.

Assim sendo, um sistema de coordenadas cartesianas ortonormal (X_i, Y_i, Z_i) pode ser estabelecido para cada eixo, onde $i = 1, 2, \dots, N$ (N número de graus de liberdade) mais o sistema de coordenadas da base. Assim, uma junta rotacional tem somente 1 grau de liberdade, e cada sistema de coordenadas (X_i, Y_i, Z_i) do braço do robô corresponde a junta $i+1$, sendo fixo no eixo i .

Quando o acionador ativa a junta i , o eixo i deve mover-se com relação ao eixo $i-1$. Assim, o i -ésimo sistema de coordenadas é solidário ao eixo i , se movimentando junto com o mesmo. Assim, o n -ésimo sistema de coordenadas se movimentará com o elemento terminal (eixo n). As coordenadas da base são definidas como o sistema de coordenadas 0 (X_0, Y_0, Z_0) , também chamado de sistema de referência inercial. Os sistemas de coordenadas são determinados e estabelecidos obedecendo três regras:

- O eixo Z_{i-1} é colocado ao longo do eixo de movimento da junta i .*
- O eixo X_i é normal ao eixo Z_{i-1} , e apontando para fora dele.*
- O eixo Y_i completa o sistema utilizando a regra da mão direita.*

Através destas regras podemos observar que:

A escolha do sistema de coordenadas é livre, podendo ser colocada em qualquer parte da base de suporte, enquanto que a posição do eixo Z_0 deverá ser a do eixo de movimento da primeira junta.

O último sistema de coordenadas (n -ésimo) pode ser colocado em qualquer parte do elemento terminal, enquanto que o eixo X_i é normal ao eixo Z_{i-1} .

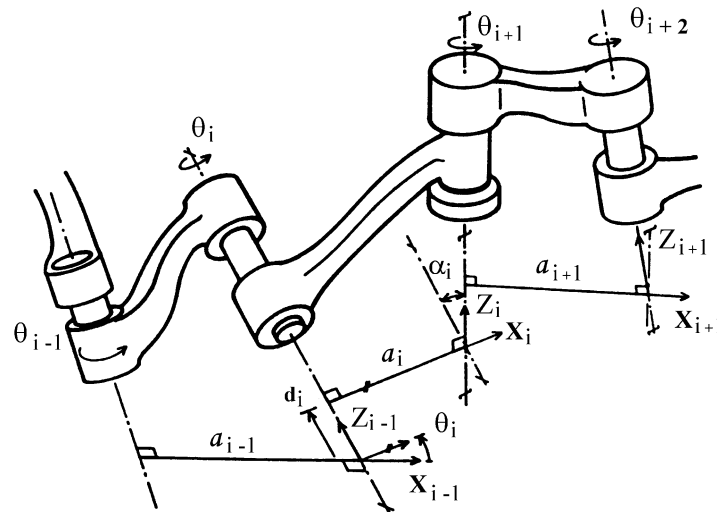


Figura 2: Organização dos referenciais associados a um sistema articulado.

A representação D-H de um eixo rígido dependerá de quatro parâmetros associados ao eixo. Estes parâmetros descrevem completamente o comportamento cinemático de uma junta prismática ou revoluta (figura 2). Estes quatro parâmetros são definidos a seguir:

- θ_i : é o ângulo de junta obtido entre os eixos X_{i-1} e X_i no eixo Z_{i-1} (usar a regra da mão direita).
- d_i : é a distância entre a origem do $(i-1)$ -ésimo sistema de coordenadas até a interseção do eixo Z_{i-1} com o eixo X_i ao longo do eixo Z_{i-1} .
- a_i : é a distância (off-set) entre a interseção do eixo Z_{i-1} com o eixo X_i até a origem do i -ésimo sistema de referência ao longo do eixo X_i (ou a menor distância entre os eixos Z_{i-1} e Z_i).
- α_i : é o ângulo offset entre os eixos Z_{i-1} e Z_i medidos no eixo X_i (usando a regra da mão direita).

Para uma junta rotacional, d_i , a_i , e α_i são os parâmetros da junta, variando o seu valor na rotação do eixo i em relação ao eixo $i-1$. Para uma junta prismática θ_i , a_i e α_i são os parâmetros da junta, enquanto d_i é a variável de junta (deslocamento linear). (9)

Projetar e testar algoritmos para aplicações de robótica. O Robotics Toolbox para Matlab, desenvolvido por Peter Corke, é composto por um conjunto de ferramentas para simulação de robôs manipuladores e de robôs móveis.

Para utilização desta ferramenta, além do software Matlab, é necessário instalar em seu computador a ferramenta Robotics Toolbox.

Para simulação deste robô, tomamos como base a estrutura dos braços robóticos, que realizam movimentação de materiais na indústria. Estes equipamentos ficam fixos em uma

estrutura, e deslocam seus eixos através da rotação das juntas realizando deslocamentos até pontos determinados, coletando o material e os depositando em outro determinado ponto.

Na elaboração do programa utilizaremos como base a teoria de Denavit-Hartenberg.

Os parâmetros iniciais do robô são criados no início da programação, utilizando a função “Link” (10) que nos permite a criação de cada eixo e junta do robô.

L(1) – Indica o eixo e junta de número um.

Na equação $L(_) = \text{Link}([\theta_i \ d_i \ a_i \ \alpha_i \ \Sigma])$ (10) definiremos os ângulos e dimensões dos eixos e juntas conforme fig. 2, sendo os ângulos descritos em radianos e as medidas em metros.

Abaixo uma ilustração da programação para determinar os parâmetros iniciais do robô, conforme fig.3.

```
close all
clear all
close all
startup_rvc;

% A função Link é usada para criar cada elo.
% Os parâmetros da função Link são exatamente os parâmetros
% de Denavit-Hartenberg do elo em questão, nesta ordem:
% theta = ângulo da junta (rad)
% d = deslocamento do elo (m)
% a = comprimento do elo (m)
% alpha = torção do elo (rad)
% sigma = tipo de junta (0: rotativa ou 1: prismática)

L(1) = Link([0 1 0 pi/2 0]);
L(2) = Link([pi/2 0 1 0 0]);
L(3) = Link([pi/2 0 1 0 0]);
L(4) = Link([0 0 1 0 0]);

% Em seguida, a função SerialLink cria o robô
% utilizando os elos criados anteriormente.

robo=SerialLink(L, 'name', 'Roboart')
q=[0 0 0 0];
```

Figura 3: Determinando parâmetros iniciais do robô

A função “SerialLink” (10) cria o robô utilizando os elos determinados na programação anterior, no espaço “q”. Lembrando que cada “Link” descrito na fig.3 corresponde a um eixo do Robô, portanto o robô desta simulação terá quatro eixos conforme fig. 4.

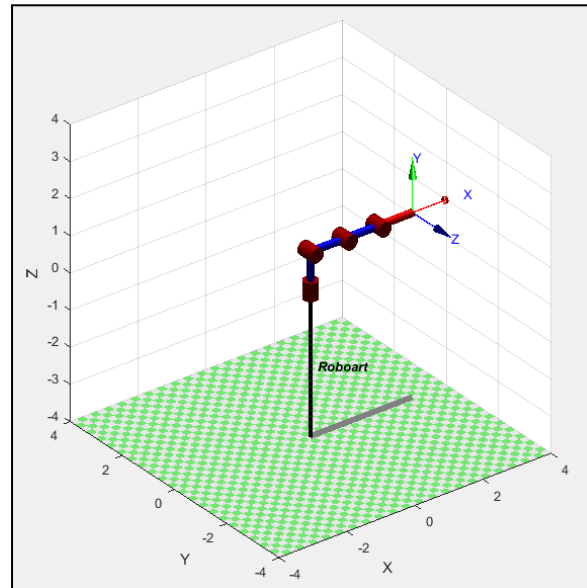


Figura 4: Imagem robô dimensionado

Após determinar os eixos do robô, iniciaremos a programação da sua trajetória, determinando os pontos para onde o robô deve se deslocar. Para isso utilizaremos a equação “qf” que determina os ângulos (em radianos) de cada junta de cada posição estabelecida.

Sendo $qf_ = [L1\ L2\ L3\ L4]$.(10) O ângulo de L2 tem como referencia a posição de L1, sendo a notação em radianos, conforme fig.5.

```

% Trajetoria: qf_=[L1, L2, L3, L4]
qf0=[0 pi/3 -pi/3 -pi/2];
qf1=[pi/3 pi/3 -pi/3 -pi/2];
qf2=[pi/3 -pi/3 -pi/6 0];
qf3=[pi/3 pi/3 -pi/3 -pi/2];
qf4=[0 pi/3 -pi/3 -pi/2];
qf5=[0 -pi/3 -pi/6 0];
qf6=[0 pi/3 -pi/3 -pi/2];
    
```

Figura 5: Definição das posições do Robô

A trajetória de deslocamentos do robô começa no ponto zero (posição qf0). Ao iniciar sua movimentação o robô parte de qf0 para qf1, posteriormente se desloca de qf1 para qf2, assim sucessivamente, até chegar em qf6 e retornar para sua posição inicial qf0 para iniciar novo ciclo, podendo ser analisado na fig.6

```
% A função fkine permite obter a matriz de transformação
% homogênea que relaciona o referencial da base com o do
% efetuador (cinemática direta) para uma dada configuração.

T0=robo.fkine(qf0)
T1=robo.fkine(qf1)
robo.plot(qf1)
T2=robo.fkine(qf2)
T3=robo.fkine(qf3)
T4=robo.fkine(qf4)
T5=robo.fkine(qf5)
T6=robo.fkine(qf6)

tempo=0:2:10;
q=jtraj(qf0,qf1,tempo);
robo.plot(q)
pause(1)
q=jtraj(qf1,qf2,tempo);
robo.plot(q)
pause(1)

q=jtraj(qf2,qf3,tempo);
robo.plot(q)
pause(1)

q=jtraj(qf3,qf4,tempo);
robo.plot(q)
pause(1)

q=jtraj(qf4,qf5,tempo);
robo.plot(q)
pause(1)

q=jtraj(qf5,qf6,tempo);
robo.plot(q)
pause(1)

q=jtraj(qf6,qf1,tempo);
robo.plot(q)
```

Figura 6: Definição da Trajetória do robô

Abaixo, seguem as figuras 7 e 8 ilustrando dois pontos determinados da trajetória do robô.

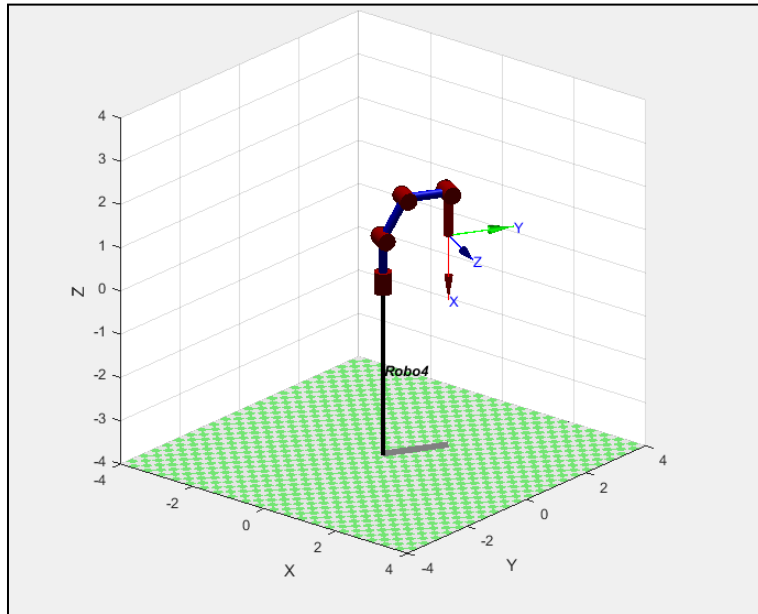


Figura 7: Ponto zero do robô.

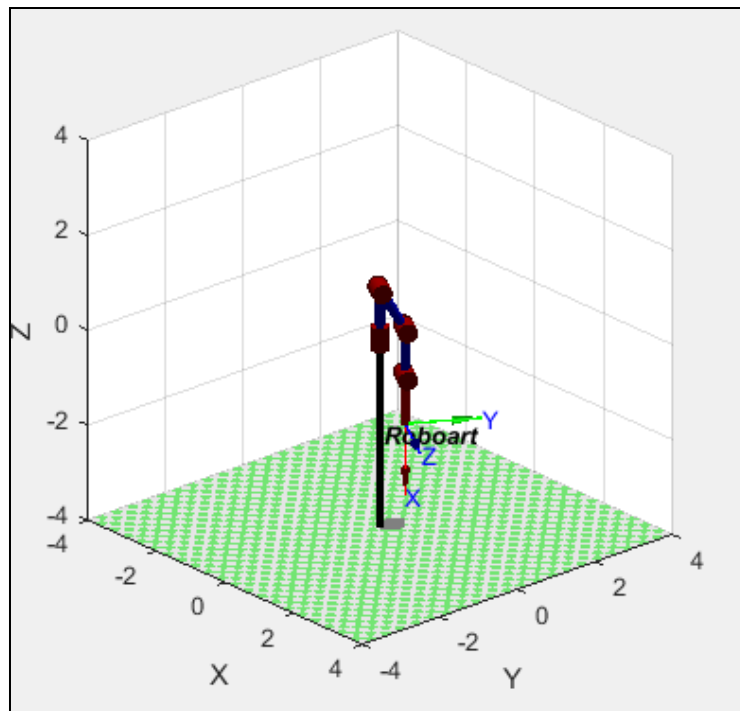


Figura 8: Ponto de pega do material



Ao simularmos a programação elaborada, é possível verificar a movimentação do robô e seu comportamento na sua área de atuação. Sua programação pode ser facilmente alterada e simulada novamente.

Este tipo de simulação pode ser elaborado para robôs utilizados no mercado, permitindo uma simulação previa de sistemas automatizados, sendo possível assim, realizar uma análise se sua implantação é viável ou não.

Conclusão. A automação de processos fabris utilizando robôs vem sendo cada vez mais utilizado na intenção de executar tarefas insalubres, que exijam grandes esforços ou grande repetibilidade de produção.

Com a inserção deste novo universo de equipamentos, também faz-se necessário a determinação de suas rotinas e sub rotinas de programação para execução das tarefas estabelecidas.

Buscando facilitar a visualização dos movimentos programados, a ferramenta Robotics Toolbox do software Matlab foi criada e é muito interessante para simulação de robôs móveis, principalmente pela facilidade de utilização, pela possibilidade de alteração dos modelos e pelas funções de planejamento de trajetórias, localização e mapeamento.

Através desta simulação conseguimos visualizar o comportamento do equipamento quando executada a programação estabelecida, sendo possível quaisquer alterações até mesmo na fase inicial do projeto, conseguindo assim, determinar se aquele determinado equipamento conseguirá atender as necessidades de utilização.

Referências Bibliográficas.

- (1) Rivin, E. I., 1988, "Mechanical Design of Robots", McGraw-Hill, USA.
- (2) Carrasquinho, F. C., "Ferramenta de simulação para robô industrial". 2015 Diss. Mestrado na Universidade Nova de Lisboa.
- (3) Bouteille, D., Bouteille, N., Chantreul, S., et al., 1997, "Les Automatismes Programables. Cépaduès-éditions", 2 ed., Toulouse
- (4) Duroña, E. C., Ramírezb, A. F., Barraza, E. U., & Andrade, R. G. "Simulador de Comportamiento Cinemático de Robots Manipuladores utilizando Matlab". 2015 – XII Encuentro Participación de La Mujer en La Ciencia
- (5) Carrara, V. "Apostila de Robótica", 1999. Universidade de Braz Cubas. Mogi das Cruzes. Disponível em: <http://www.valcar.net/cursos/rb_apostila.pdf>. Acesso em junho de 2017.
- (6) Carrara, Valdemir. "Introdução à robótica industrial." INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (2015).
- (7) Spong, M. W. and Vidyasagar, M. "Robot, Dynamics and Control", John Wiley and Sons., 1989.



- (8) Silva, J. C. S.; Linder, M.; Irmão, M. A. S.; Silva, R. P. S. “Modelagem Cinemática de um Robô Manipulador”. XXXIV COBENGE, Universidade de Passo Fundo, 2006.
- (9) Schilling, Robert Jr. “Fundamentals of Robotics Analysis and Control”. Estados Unidos. Englewood Cliffs Prentice Hall, 1990
- (10) Corke, P. “Robotics Toolbox for Matlab Release 10”. Manual de utilização do software. Junho 2017.
-

Abstract. With the advancement of globalization, there has been a need for industries to become more competitive, seeking to reduce costs, and better manage their resources. For this, the investment in automation has been growing, with the intention of guaranteeing stability of the process, reducing human intervention to guarantee quality, reducing waste and rework, reducing labor, increasing productivity, raising the level of safety at work and optimize the physical space. With the installation of automated processes, the robots end up being used in a large scale in the industries. Thus, in these companies the simulation assumes a preponderant role in the way they implement their processes in the different industrial robots, in order to be successful in their products. This establishes a prior analysis of the solutions that are intended to be achieved, making simulation something that provides the company with strategic applications in the market. Using the simulation, which has become an innovative area capable of assisting the most diverse areas of human activity, it is possible to use the model that represents any system, a robot, and simulate its behavior in order to be able to make an evaluation Anticipated performance. This paper aims to demonstrate the use of the Robotics Toolbox of the Matlab software, through the modeling of a robotic arm, and elaboration of its programming to simulate the movement of its axes. For this demonstration, it was considered a real situation of transport of materials, and created the programming that simulates the movement of the robot, demonstrating all the parameters and functions used to generate the program. This tool allows us to analyze the control parameters of the equipment joints, verify their functionality and their movement in the work environment, allowing a previous feasibility analysis of the automated system in question

Keywords. *Robotics, Robotics Toolbox, Matlab*