

Design e simulação dos movimentos de um braço robótico de 4 graus de liberdade

Matheus Adriano Godoy Ramos (FATEB – Faculdade de Telêmaco Borba) matheus_agr1997@hotmail.com

Resumo:

O desenvolvimento tecnológico vem sendo cada vez mais um ponto de grande importância, não apenas por inovar, mas por facilitar a vida humana e propor recursos viáveis em diversas áreas de concentração. O presente trabalho visa relacionar a robótica industrial com a tecnologia de simulação a partir da simulação de movimentos de um braço robótico de 4 graus de liberdade criado no *software* Autodesk Inventor. O estudo apresenta um manipulador de pequeno porte, para fins didáticos e com uma estrutura que o possibilita não apenas ser simulado, mas também ser impresso em impressora 3D para posterior programação dos movimentos das juntas, com a utilização de servo motores. Além disso, o conteúdo abordado permite ao leitor compreender como se comportam o deslocamento angular, a velocidade angular e a aceleração angular ao programar um braço robótico para executar movimentos específicos.

Palavras chave: Braço robótico, Simulação, Inovar.

Design and simulation of the movements of a 4-degree-of-freedom robotic arm

Abstract

Technological development is becoming increasingly important, not only for innovating, but for facilitating human life and proposing viable resources in various areas of concentration. The present work aims to relate industrial robotics with simulation technology from the simulation of movements of a robotic arm with 4 degrees of freedom created in Autodesk Inventor software. The study presents a small manipulator, for didactic purposes and with a structure that allows it not only to be simulated, but also to be printed in 3D printer for later programming of movements of the joints, with the use of servo motors. In addition, the content covered allows the reader to understand how angular displacement, angular velocity, and angular acceleration behave when programming a robotic arm to perform specific movements.

Key-words: Robotic arm, Simulation, Innovate.

1. Introdução

A robótica pode ser definida como o estudo, planejamento e uso de sistemas robóticos para fabricação. Os robôs usualmente são utilizados para realizar tarefas inseguras, arriscadas, repetitivas e desconfortante, como por exemplo: manuseamento de materiais, montagem,

alguns tipos de soldagem, carga de ferramentas de máquinas e funções de descarga, pintura, pulverização, entre outros (KATO, 2015).

Nesse âmbito, de acordo com Graig (2017) há sobretudo dois tipos de robôs: um robô de serviço e um robô industrial. O robô de serviço é um robô que atua de forma parcial ou totalmente autônoma para executar serviços pertinentes para o bem-estar das pessoas e dos equipamentos, excluindo as operações de manufatura. O robô industrial, em contrapartida, é oficialmente definido pela ISO como um manipulador multifuncional controlado automaticamente e programável em três ou mais eixos.

Os robôs industriais que atualmente são muito utilizados em indústrias são criados e projetados para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos preestabelecidos, programados para operar diferentes tarefas. Um sistema de robôs industriais contém não apenas robôs industriais, mas também dispositivos e/ou sensores essenciais para o robô realizar suas tarefas, bem como sequenciar ou monitorar interfaces de comunicação (CABRAL, 2013).

A partir desse grande avanço tecnológico, para acompanhar as grandes exigências, principalmente relacionadas à precisão e velocidade na execução de tarefas, fez-se necessário o desenvolvimento de técnicas de controle capazes de identificar a trajetória do manipulador a fim de obter êxito no posicionamento do órgão terminal. A técnica mais utilizada é a cinemática inversa que é um processo pelo qual os ângulos das juntas de um atuador são calculados a partir da posição em que se deseja colocar o órgão terminal. O cálculo desses ângulos possibilita a construção de sistemas de controle tendo no seu desenvolvimento as matrizes jacobianas, em conjunto com as pseudo-inversas (PINHEIRO, 2013).

Contudo, não somente a cinemática inversa é importante nos projetos relacionados aos robôs, mas também o estudo do comportamento das variáveis deslocamento, velocidade e aceleração durante o movimento automatizado das juntas, o qual será analisado no decorrer desse trabalho.

2. Metodologia

A metodologia consistiu em duas etapas, apresentadas a seguir.

2.1 Construção das peças

A primeira etapa foi a construção das peças no *software* Autodesk Inventor. Essa etapa consistiu em criar o *design* do manipulador robótico, levando em consideração que o mesmo será futuramente impresso em impressora 3D para sua programação.

Pensou-se em um braço leve com no máximo 1,5 kg (uma vez que o intuito é a construção de um braço robótico de baixo custo para fins didáticos), com 4 graus de liberdade, além de possuir um suporte e um órgão terminal que possa ser trocado conforme a aplicação. Com base nessas considerações, suas medidas são de um braço de pequeno porte, a base possui um diâmetro externo de 150 mm; o elo 2 (conectado diretamente com a base) possui um comprimento de 85 mm; os elos 3 e 4 possuem ambos um comprimento de 120 mm; e o elo 5 (elo conectado ao órgão terminal) possui um comprimento de 34 mm. Vale ressaltar que os elos 3 e 4 são compostos pela união de duas peças como mostra a Figura 1.

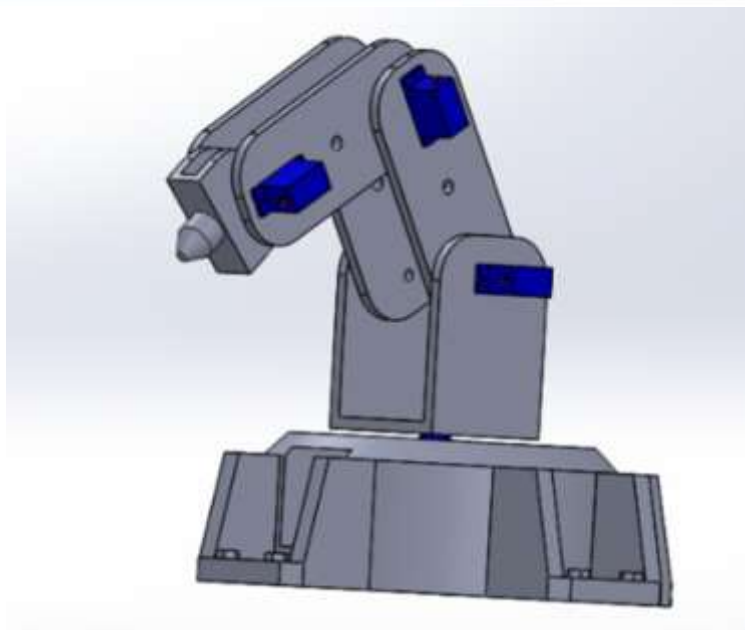


Figura 1 – Braço robótico projetado no *software* Inventor.

Essa estrutura com 5 elos possibilita que o braço execute um movimento rotacional em 4 juntas, sendo, portanto, um braço de 4 graus de liberdade.

2.2 Simulação

A segunda etapa baseou-se na simulação. O intuito principal desse manipulador robótico é ser utilizado para movimentar objetos após sua impressão, porém, primeiramente desejou-se simular seus movimentos no *software* Autodesk Inventor para analisar como suas juntas se comportam, isto é, a partir de um movimento específico qual será o deslocamento, a velocidade e a aceleração angular em função do tempo.

Primeiramente, tomou-se como base o braço estático com as seguintes condições iniciais:

- a) Elo 1 (base) – Posicionado a 0° em relação ao eixo horizontal;
- b) Elo 2 – Posicionado a 90° em relação ao elo 1;
- c) Elo 3 – Posicionado a 150° em relação ao elo 2;
- d) Elo 4 – Posicionado a 90° em relação ao elo 3;
- e) Elo 5 – Desconsiderado a angulação deste para a simulação em questão.

Uma vez que o braço esteja posicionado a próxima etapa resumiu-se em inserir “motores ocultos” nas juntas especificando os deslocamentos angulares desejados, para que as mesmas possam efetuar os movimentos, essa condição é possível a partir da ferramenta “Estudo de movimento”. A Tabela 1 apresenta os deslocamentos que cada junta irá realizar durante uma trajetória de 5 segundos.

Tempo (s)	Junta 1	Junta 2	Junta 3	Junta 4
0	0	0	0	0
1	9,3	20	10	0
2	31,5	10	-10	0
3	58,5	0	-30	0
4	80,6	-10	-10	0
5	90	-20	10	0

Fonte: Autor (2018)

Tabela 1 – Deslocamentos angulares das juntas em função do tempo

Vale ressaltar que os deslocamentos angulares apresentados na Tabela 1 partem todos da sua própria origem (0°), logo, percebe-se que não foi atribuído movimentos para a junta 4, a mesma não varia sua angulação do começo ao fim da simulação. Outra observação é que para as juntas 2 e 3 foram estabelecidos 5 movimentos diferentes partindo da inércia até o instante de 5 segundos (cada um com duração de 1 segundo), diferentemente da junta 1, para a qual estabeleceu-se apenas um movimento partindo desde o repouso até o instante de 5 segundos. Essas considerações justificam o porquê de os valores da junta 1 apresentarem um comportamento diferente das demais.

3. Análise dos resultados

Após a simulação dos movimentos das juntas obteve-se os dados disponibilizados pelo *software*. Como mencionado anteriormente, a junta 1 percorre uma trajetória angular sem alterar o sentido, uma vez que especificou-se apenas um comando de movimento, de 0° até 90° . Caso fossem especificados 5 movimentos para a junta 1 a partir de 0° até 90° , o deslocamento não seria contínuo, ou seja, a junta estacionaria por alguns milissegundos para iniciar o próximo movimento, causando dessa forma, uma aceleração e desaceleração a cada novo movimento.

3.1 Análise do comportamento da junta 1

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os gráficos de deslocamento, velocidade e aceleração em função do tempo para a junta 1, obtidos a partir da simulação.

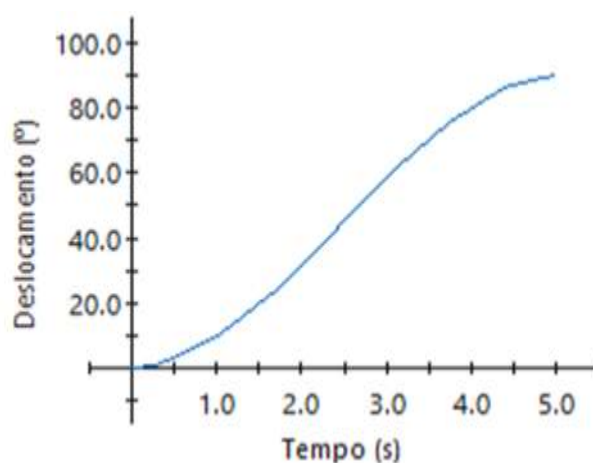


Figura 2 – Deslocamento angular da junta 1

Percebe-se pela Figura 2 que o comportamento da junta é equivalente a um movimento real, visto que ao partir da inércia a velocidade varia de acordo com o tempo, gerando uma curva

não linear de deslocamento.

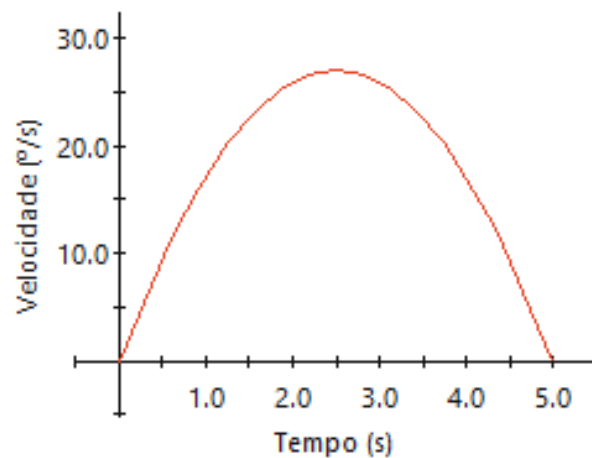


Figura 3 – Velocidade angular da junta 1

Pela Figura 3 verifica-se que a maior velocidade é atingida no meio do trajeto, isso ocorre devido ao movimento ser realizado em um curto espaço de tempo e, portanto, a junta tende a acelerar até atingir o tempo médio e após isso desacelerar até completar o movimento estabelecido.

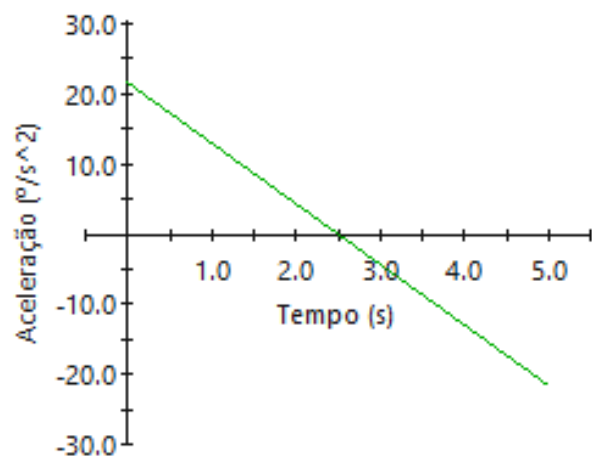


Figura 4 – Aceleração angular da junta 1

Com base na Figura 4 fica inteligível o que foi mencionado anteriormente. A junta tem sua aceleração máxima no início e final da trajetória, mudando o sentido logo que é atingido a velocidade máxima.

A seguir a Tabela 2 apresenta os valores de deslocamento, velocidade e aceleração obtidos a partir dos gráficos das Figuras 2, 3 e 4.

Tempo (s)	Deslocamento (°)	Velocidade (°/s)	Aceleração (°/s ²)
0	0	0	21,55
1	9,30	17,27	12,95
2	31,45	25,93	4,30
3	58,50	25,93	- 4,30
4	80,60	17,27	- 12,95
5	90	0	- 21,55

Fonte: Autor (2018)

Tabela 2 – Deslocamento, velocidade e aceleração para a junta 1

3.2 Análise do comportamento da junta 2

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam os gráficos de deslocamento, velocidade e aceleração em função do tempo para a junta 2, obtidos a partir da simulação.

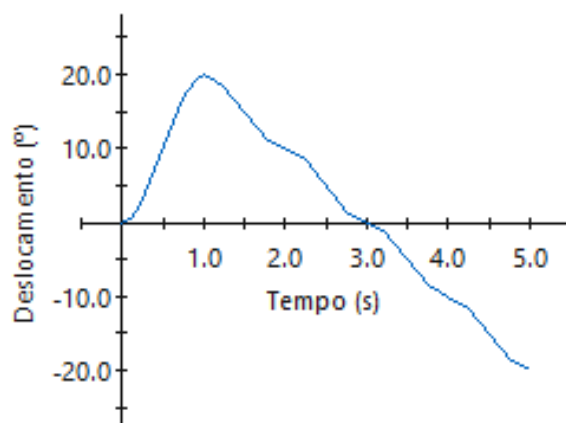


Figura 5 – Deslocamento angular da junta 2

Percebe-se pela Figura 5 que o fato de definir 5 movimentos diferentes durante o trajeto da junta fez com que a mesma não se deslocasse linearmente, mesmo quando o movimento seguinte mantém o mesmo sentido, como é o caso dos movimentos que vão desde o instante 1 até o instante 5. Esse fato acontece porque a cada início e fim de movimento há uma aceleração e desaceleração, respectivamente.

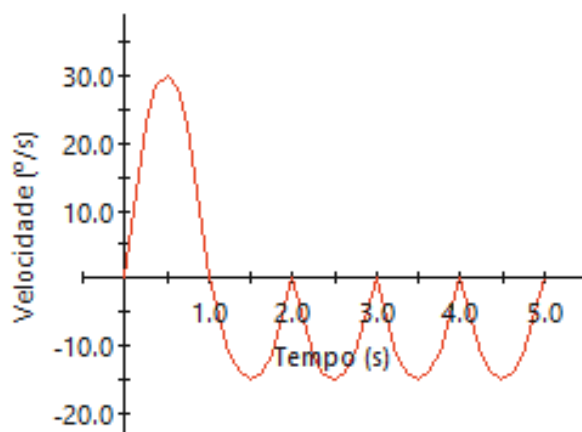


Figura 6 – Velocidade angular da junta 2

Pela Figura 6 verifica-se que há picos de velocidade durante a trajetória dessa junta em consequência da realização de um movimento por vez, gerando dessa forma, uma ligeira parada entre os movimentos. Nota-se também que a maior velocidade é atingida no intervalo de tempo onde o deslocamento requerido é maior, exigindo, dessa forma, uma velocidade maior durante esse período.

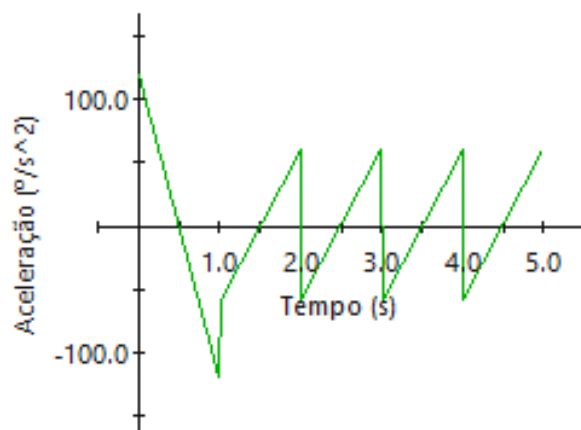


Figura 7 – Aceleração angular da junta 2

Com base na Figura 7 observa-se que nos instantes em que velocidade atinge o valor máximo para cada movimento a aceleração é nula. Matematicamente descobre-se o instante em que há a velocidade máxima derivando a equação da mesma e igualando a 0, uma vez que a derivada da velocidade é equivalente a aceleração compreende-se que os valores apresentados estão coerentes com a realidade.

A seguir a Tabela 3 apresenta os valores de deslocamento, velocidade e aceleração no início e fim de cada movimento, obtidos a partir dos gráficos das Figuras 5, 6 e 7. Nota-se que a velocidade é nula em todos pontos, devido a ligeira parada da junta para executar o próximo movimento.

Tempo (s)	Deslocamento (°)	Velocidade (°/s)	Aceleração (°/s ²)
0	0	0	120
1	20	0	-120
2	10	0	60
3	0	0	60
4	-10	0	60
5	-20	0	60

Fonte: Autor (2018)

Tabela 3 – Deslocamento, velocidade de aceleração para a junta 2

3.3 Análise do comportamento da junta 3

As Figuras 8, 9 e 10 apresentam os gráficos de deslocamento, velocidade e aceleração em função do tempo para a junta 3, obtidos a partir da simulação.

Constata-se pelo gráfico da Figura 8 que, os deslocamentos seguem a mesma fundamentação dos realizados pela junta 2, isto é, a cada segundo foi solicitado um novo movimento, fazendo

com que a curva apresente oscilações durante o trajeto. A diferença é o fato de, nesse caso, a junta inverter o sentido duas vezes.

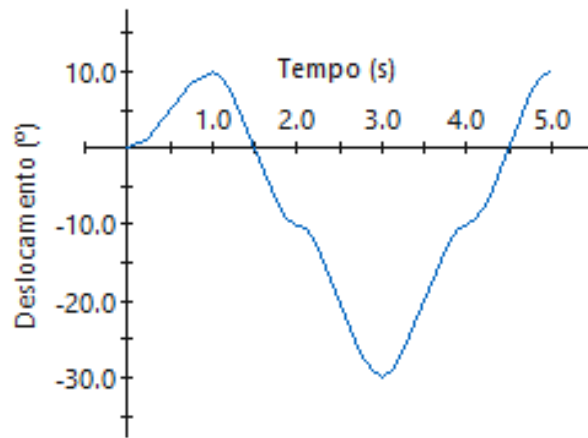


Figura 8 – Aceleração angular da junta 2

Constata-se pelo gráfico da Figura 8 que, os deslocamentos seguem a mesma fundamentação dos realizados pela junta 2, isto é, a cada segundo foi solicitado um novo movimento, fazendo com que a curva apresente oscilações durante o trajeto. A diferença é o fato de, nesse caso, a junta inverter o sentido duas vezes.

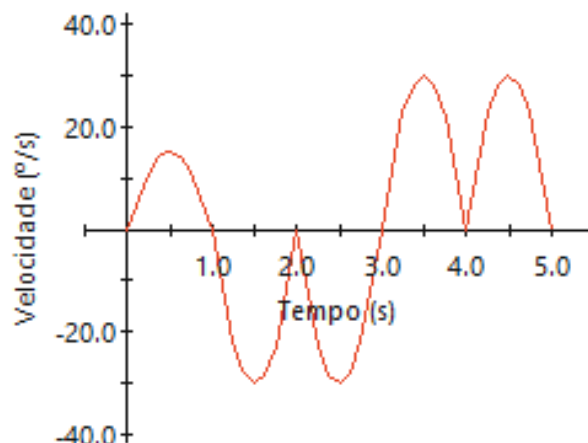


Figura 9 – Aceleração angular da junta 2

Da mesma forma, no gráfico da Figura 9 a velocidade segue o padrão apresentado no tópico anterior, onde a velocidade máxima de cada movimento é atingida no meio do trajeto. Para a junta 3, entretanto, a velocidade máxima do percurso como um todo ocorre em 4 situações, onde há um deslocamento angular de 20 graus durante 1 segundo.

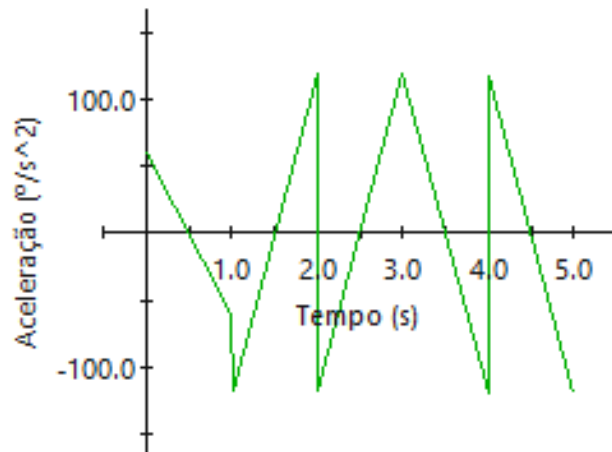


Figura 10 – Aceleração angular da junta 2

Em relação à aceleração durante os movimentos da junta 3 pela Figura 10 verifica-se que no instante de 1 segundo, logo após efetuar o primeiro movimento, a aceleração é comutada com dois valores distintos, apresentando uma aceleração negativa de 60 $^{\circ}/s^2$ e 120 $^{\circ}/s^2$. Tal fenômeno justifica-se pelo fato de a junta estar realizando um movimento que varia seu deslocamento em 10° entre os instantes 0 e 1 e em seguida partir para um novo movimento que realiza um deslocamento de 20° entre os instantes 1 e 2.

A Tabela 4 apresenta os valores de deslocamento, velocidade e aceleração no início e fim de cada movimento, obtidos a partir dos gráficos das Figuras 8, 9 e 10.

Tempo (s)	Deslocamento ($^{\circ}$)	Velocidade ($^{\circ}/s$)	Aceleração ($^{\circ}/s^2$)
0	0	0	60
1	10	0	- 60
2	-10	0	120
3	-30	0	120
4	-10	0	120
5	10	0	120

Fonte: Autor (2018)

Tabela 4 – Deslocamento, velocidade de aceleração para a junta 3

A partir das informações iniciais de simulação e dos dados obtidos após a mesma percebe-se que cada uma das juntas comportou-se de maneira diferente.

A junta 1 teve um deslocamento contínuo e apenas um pico de velocidade, pois foi atribuído só um movimento para esta junta; A junta dois por sua vez não apresentou uma trajetória contínua, isso se deve ao fato da atribuição de mais de um movimento dentro do intervalo especificado de 5 segundos. Além disso, a junta 2 apresentou uma maior velocidade durante o primeiro deslocamento pois variou 20° , 10° a mais do que nos demais intervalos de tempo; E por fim, a junta 3 apresentou um comportamento semelhante ao da junta 2, entretanto, nesse caso a velocidade no primeiro intervalo de tempo foi menor do que nos outros 4, nos quais os picos de velocidade obtiveram o mesmo valor em função da igualdade de deslocamento angular entre esses 4 movimentos.

A Tabela 5 apresenta o deslocamento máximo, a velocidade máxima e a aceleração máxima para cada uma das juntas ao finalizar os movimentos estabelecidos.

Junta	Deslocamento (°)	Velocidade (°/s)	Aceleração (°/s ²)
Junta 1	90	25,9	21,6
Junta 2	20	30	120
Junta 3	30	30	120
Junta 4	0	0	0

Fonte: Autor (2018)

Tabela 5 – Valores máximos para deslocamento angular, velocidade angular e aceleração angular de cada junta

4. Conclusão

Os resultados obtidos através da simulação foram muito satisfatórios e coerentes com a realidade, demonstrando dessa forma, que a montagem do braço está bem estruturada. A partir da análise dos dados de deslocamento, velocidade e aceleração percebe-se que os gráficos apresentam uma visão real do que, de fato, ocorre com um braço industrial. Isto é perceptível ao verificar os instantes em que os deslocamentos das juntas 2 e 3 invertem o sentido, pois há uma leve inclinação nos gráficos de velocidade x tempo e deslocamento x tempo.

Além disso, pelos dados obtidos verificou-se que os mesmos condizem realmente com os conceitos matemáticos e, portanto, demonstra a eficiência do *software* Autodesk Inventor nesse âmbito.

Como os dados foram satisfatórios e as juntas perfeitamente movimentadas o braço está pronto para ser impresso, montado e programado com um micro controlador, a fim de executar movimentos de deslocamento de peças, substituindo, é claro, o órgão terminal apresentado nesse trabalho por uma garra.

Referências

- CABRAL, E.L.L.** *Análise de Robôs*, ch.5. Disponível em: <www.poli.usp.br/p/eduardo.cabral/Cinemática_Direta.pdf>. Acesso em 28 de Agosto de 2018.
- CARRARA, V.** *Apostila de Robótica*. Disponível em <http://www.dem.inpe.br/val/homepage/cursos/rb_apostila.pdf>. Acesso em 20 de Setembro de 2018.
- CRAIG, J. J.** *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*, Vol.3, Pearson Prentice Hall, New York, pp. 62-164, 2005.
- GRAIG, J.** *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. (4th Edition). Pearson, 2017.
- KATO, L.** *Projeto de um braço robótico para fins didáticos*. Universidade Federal de Santa Catarina. Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a aprovação na disciplina. Florianópolis, 2015.
- PINHEIRO, T., PANTOJA, B.** *Cinemática Inversa de um Manipulador Robótico de quatro Graus de liberdade utilizando método numérico iterativo da jacobiana pseudo-inversa*. Instituto de Estudos Superiores da Amazônia, Belém-PA, 2013.
- TOLIS, C.** *An experimental mechatronic design and control of a 5 DOF Robotic arm for identification and sorting of different sized objects*. Laboratory of Robotics and Applied



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

Control Systems Dept. Of Electrical Engineering Western Macedonia Univ. of Applied Sciences ,Kozani, Hellas. November 13, 2017.

ANEXO A – LICENÇA DO SOFTWARE AUTODESK INVENTOR



Autodesk Inventor Professional 2019
Independente : versão de estudante [Alterar tipo de licença](#)

Detalhes hardware ⓘ	Nome do dispositivo DESKTOP-BJK613U
Detalhes da licença ⓘ	Número de série Atualizar 901-04860926
	Comportamento da licença Extensível
Modelos de licença Padrão	Data de expiração da licença Terça-feira, Agosto 3, 2021