

Desenvolvimento de um Robô Delta para Fins Educacionais

Evandro F. dos Santos Jr.¹, Alejandro R. G. Ramirez²

¹Universidade do Vale do Itajaí (Univali) – Itajaí, SC – Brasil

²Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Florianópolis, SC – Brasil

evandrofsjr@gmail.com, ramirez@univali.br

Abstract. *In general, robots have high costs that make it difficult, and often unfeasible, to use them in the university. In contrast, there is a tendency to develop low-cost teaching structures, supporting educational robotic. This project aimed to construct a parallel manipulator, Delta type, to serve as a didactic tool. The structure, dimensions and components of the manipulator were developed using a CAD software and the pieces were made using a 3D printer. After completing the steps of modeling and acquisition of components, the robot was assembled and tested.*

Resumo. *Em geral, os robôs possuem custos elevados que dificultam, e muitas vezes inviabilizam, sua utilização no meio acadêmico. Em contraposição, existe uma tendência a desenvolver estruturas didáticas de baixo custo nas universidades, apoiando a robótica educacional. Este projeto visou construir um manipulador paralelo, do tipo Delta, como ferramenta didática. A estrutura, dimensões e componentes do manipulador foram desenvolvidas utilizando CAD e as peças foram confeccionadas usando uma impressora 3D. Após finalizadas as etapas de modelagem e aquisição de componentes, foi realizada a montagem do robô e os testes iniciais de funcionamento.*

1. Introdução

A robótica, traz novas formas de interação entre professor e aluno, a fim de transformar a aula em um processo mais prático, utilizando novas formas de se compreender o processo de ensino e aprendizagem [Lima et al. 2012].

Porém, um empecilho para tratar a Robótica em sala de aula são os custos envolvidos. A aquisição de um robô Delta, de porte industrial mais simples, com capacidade de carga de 1kg, do fabricante ABB custa £13,000 - aproximadamente R\$ 55.112,6 - comercializado pela Global Robots¹. Este tipo de ferramenta auxiliaria o acadêmico a colocar em prática o que viu em sala de aula e a fixar o conteúdo tendo um contato direto com um robô de porte industrial. Por outro lado, a utilização de recursos mais simples e de menor custo em relação aos modelos existentes no mercado, poderiam tornar viável o desenvolvimento deste tipo de robô, formando parte de uma tendência o desenvolvimento de estruturas didáticas de baixo custo nas universidades, utilizando softwares e hardwares livres.

A robótica educacional procura se basear em elementos da robótica industrial e trazê-los para a sala de aula, buscando meios que estimulem o aprendizado [Fiorio et. al.

¹ Disponível em: <<http://www.globalrobots.com/robots.aspx?brand=1>>. Acesso em 19 out 2018.

2014]. Como na indústria o aumento da produtividade é algo que se busca constantemente, robôs de arquitetura paralela, como o Delta, ganham a atenção principalmente por possuírem elevada velocidade e precisão. Este trabalho trata o projeto e construção de um robô Delta didático de baixo custo, que possui 3 graus de liberdade (GDL) rotacionais.

O manipulador é controlado a partir da plataforma Arduino e sua modelagem matemática foi desenvolvida usando o software Scilab, sendo ambos os recursos de código aberto. O projeto dimensional foi criado e modelado em CAD e materializado em uma impressora 3D disponível do laboratório da universidade. O baixo custo foi buscado através dos materiais utilizados para a construção dos mecanismos do robô.

2. Arquitetura Paralela Tipo Delta

Merlet (2006) define os robôs paralelos como sendo mecanismos de cadeia cinemática fechada no qual o efetuador final está ligado à base por diversas cadeias cinemáticas independentes, que atuam de forma cooperada.

A arquitetura tipo Delta, em particular, é composta por três cadeias cinemáticas fechadas e idênticas. Estas cadeias cinemáticas são compostas por juntas, que podem ser estruturadas de diferentes formas. Conforme proposto por Pierrot (1991), uma maneira de representar a estrutura das juntas do robô é por forma de grafos, para melhor visualização. A Figura 1 representa em grafos a estrutura e organização das juntas, onde estas aparecem na mesma sequência em que o robô é montado.

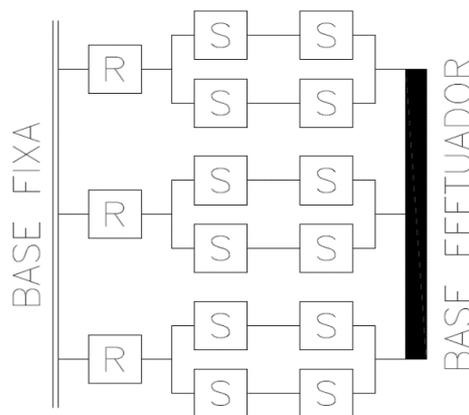


Figura 1. Organização das Juntas do Robô Delta

Observa-se que o robô Delta tem as juntas rotativas (representadas pela letra “R”) presas à base fixa, seguidas de juntas esféricas (representadas pela letra “S”) que, por sua vez, são ligadas aos elos e à base do efetuador respectivamente.

Neste tipo de manipulador, as três cadeias cinemáticas formam paralelogramos que restringem o espaço de atuação do robô. Os elos de entrada do paralelogramo estão ligados diretamente ao motor, executando o movimento rotativo (juntas ativas). Os elos seguintes são interligados por juntas esféricas passivas. Já o efetuador final pode ser de variados tipos tais como garras, eletroímãs, ventosas, entre outros, dependendo do tipo de aplicação a que o manipulador estará sujeito [Onã e Muzo 2016].

3. Cinemática Inversa

Obter a cinemática inversa é algo primordial para o posicionamento e controle de robôs paralelos. O intuito da cinemática inversa é projetar os movimentos do efetuador final para atender determinada posição e orientação. Para isso se faz necessário saber quais serão os comprimentos de elos e os ângulos das articulações, por exemplo, para que o efetuador alcance a posição e orientação desejadas [Niku 2013]. Em outras palavras, a cinemática inversa visa encontrar a relação inversa das equações diretas a fim de projetar os valores articulares que façam o efetuador final chegar com sucesso ao seu destino [Merlet, 2006].

Para calcular a cinemática inversa do robô Delta, Brinker, Corves e Wahle (2015) realizaram um estudo geométrico, utilizando uma matriz de transformação para se obter a relação de ângulo de rotação do eixo do motor em função dos comprimentos dos elos. O presente trabalho baseou-se neste método geométrico para aplicá-lo no protótipo construído e assim validar seu funcionamento.

4. Desenvolvimento do Projeto

O projeto iniciou-se modelando o robô Delta em CAD, utilizando o software SolidWorks. As dimensões do robô foram concebidas a fim de criar um protótipo para uso didático, sempre levando em conta o custo, considerando tornar possível que a maior parte das peças fossem produzidas por impressão 3D. Após pesquisas de viabilidade da fabricação das peças, o projeto CAD adaptou-se à escolha e aquisição de dos elos que já viriam montados de fábrica com dimensões fixas.

Depois de criado o modelo CAD, iniciou-se a análise cinemática inversa para a arquitetura Delta. Nesta etapa é necessária para encontrar o ângulo do eixo de saída de cada motor, representado por φ_{1i} , para mover o ponto central de uma base móvel, inicialmente situada no centro da estrutura, para o ponto desejado $P(x, y, z)$. A Figura 2 ilustra algumas das variáveis envolvidas no cálculo da cinemática. Cabe salientar que a análise da cinemática se realiza em apenas uma das três cadeias cinemáticas, as quais são replicadas posteriormente, já que as três cadeias cinemáticas são idênticas. As variáveis com índice 'i' correspondem a cada cadeia cinemática ($i = 1, 2$ e 3).

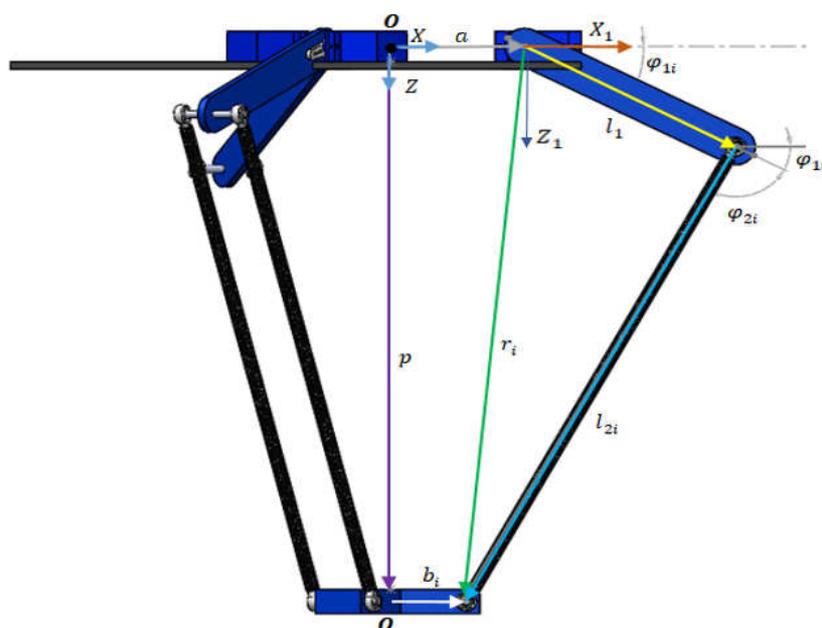


Figura 2. Modelo da estrutura Delta e variáveis para o cálculo de cinemática.

Algumas destas variáveis foram definidas como:

$$l_1 = 90\text{mm}$$

$$l_2 = 216\text{mm}$$

$$a = 50,46\text{mm}$$

$$b = 35,77\text{mm}$$

Considerou-se ainda que os motores estão dispostos 120° entre si, representados por α_i , ver Figura 3(a), bem como a inclinação dos antebraços do robô em relação ao eixo Z, foi representada por φ_{3i} , ver Figura 3(b).

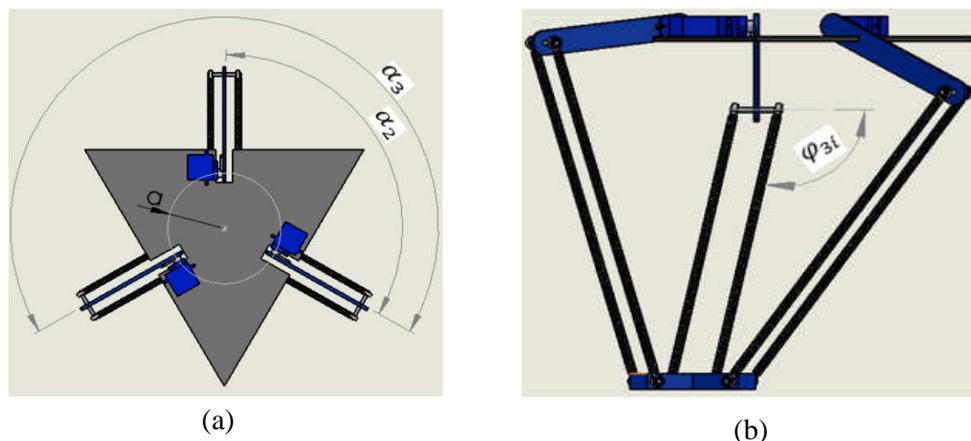


Figura 3. Considerações geométricas: (a) ângulos entre motores; (b) ângulo das pernas em relação ao eixo Z.

Realizadas as análises matemáticas, foi possível fazer um estudo mais abrangente aplicando os ângulos calculados via Scilab, ver Apêndice A, ao modelo CAD, previamente desenhado, tornando possível comparar o ponto $P(x,y,z)$ desejado informado pelo usuário no código, com o ponto alcançado pelo desenho CAD.

4.1. Prototipagem

Após o estudo virtual, foi selecionado o tipo de material de cada peça que mais se adequaria ao projeto, levando em conta sempre o custo e a qualidade, com a finalidade de montar a estrutura robótica.

Para reproduzir os movimentos, levando em conta as dimensões e restrições do robô e pela disponibilidade no laboratório da universidade, foram escolhidos três micro servo motores 9g SG90 do fabricante Tower Pro, ver Figura 4, que possuem um torque de 1,8kgf/cm ao aplicar 4,8V de tensão. Estes servo-motores, foram fixados na base fixa do robô e são responsáveis por transmitir os movimentos aos braços.



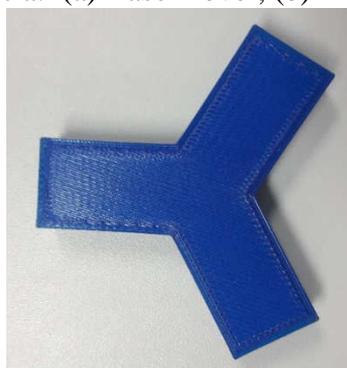
Figura 4. Micro Servo 9g SG90

Os antebraços foram adquiridos comercialmente e são componentes da impressora 3D Multimaker, que possui arquitetura Delta. Eles são compostos de fibra de carbono e vem montados de fábrica com dois terminais rotulares, cada um em uma extremidade, totalizando 216mm de comprimento, medido entre os centros dos terminais, conforme Figura 5. Foram utilizados no projeto seis destes antebraços, contendo, portanto, doze terminais rotulares.



Figura 5. Antebraço do robô

As peças foram confeccionadas a partir do desenho criado previamente no SolidWorks, salvos em formato "STL" e impressos utilizando filamento de PLA. A Figura 6 mostra: (a) Base móvel; (b) Braço.



(a)



(b)

Figura 6. Peças em PLA

A base fixa foi projetada para que os motores ficassem com um ângulo de 120° entre eles. Foi desenhada em CAD, e cortada em uma chapa de aço carbono 1020 com 3mm de espessura a fim de fornecer estabilidade e robustez à estrutura. A chapa foi fornecida e cortada por uma empresa que utiliza máquina de corte a plasma, e o material foi escolhido a fim de garantir o baixo custo com qualidade satisfatória.



Figura 7. Base fixa do robô

5. Resultados

Os terminais rotulares das hastes de fibra de carbono (ilustrada anteriormente na Figura 5) ficaram livres para as rotações e torções exigidas pelos movimentos. Nos testes, os terminais rotulares rotacionaram até 13° na direção axial (φ_{3i}), os quais foram medidos com o auxílio de um transferidor.

Na Figura 8 estão numeradas as partes do robô e na Tabela 1 é possível observar a lista de materiais com os componentes e seus custos.

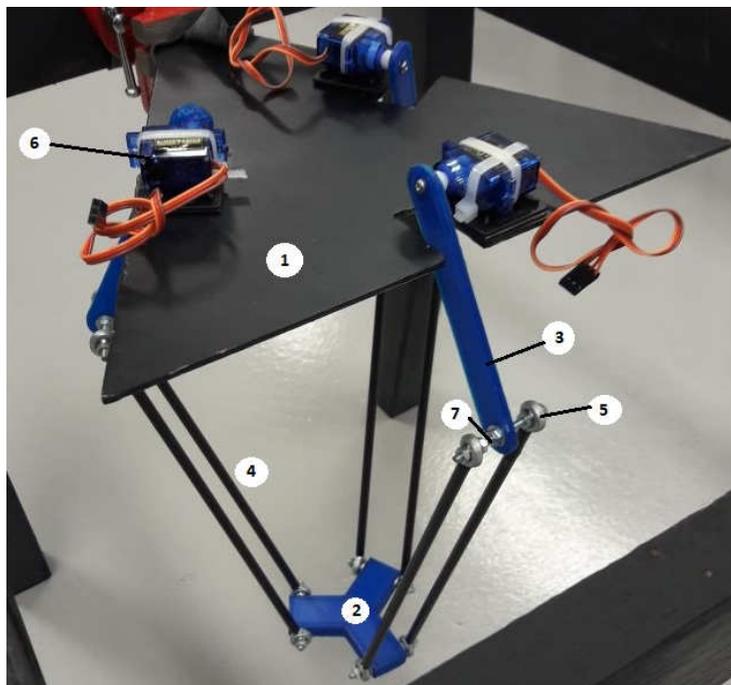


Figura 8. Protótipo montado indicando itens da Lista de Materiais.

Tabela 1. Lista de materiais

Item	Componentes	Materiais	Qtd	Custo (R\$)
1	Base fixa	Aço carbono 1020	1	40,00
2	Base móvel efetuator	PLA	1	1,48
3	Braços	PLA	3	1,62
4	Antebraços	Fibra de carbono	6	47,00
5	Terminal rotular	Aço Inoxidável	12	
6	Servo-motores	TowerPro SG90	3	50,70
7	Barra roscada M3 + porcas e arruelas	Aço galvanizado	1	7,00
-	Tinta e anticorrosivo	-	1	20,00
-	Placa controladora Arduino Uno	-	1	44,90
-	Protoboard	-	1	14,90
-	Fixador com fita dupla face	-	3	1,50
Custo Total:				229,10

5.1. Mobilidade

Para dar início aos testes de movimentos foi necessário efetuar os ajustes de posição dos motores. O fabricante informa que os eixos de saída dos motores atingem de 0° à 180° , porém ao testar os limites foi constatado que em 180° o motor tinha dificuldades de posicionar-se. Por este motivo, a posição inicial foi fixada em 80° , limitando-se a 40° a amplitude dos movimentos no sentido horário e anti-horário, deixando uma margem de segurança.

Os limites dimensionais do robô foram calculados via Scilab. No cálculo cinemático inverso, quando a posição excedia o limite físico da estrutura, o ângulo retornava um número imaginário. Foram então extraídos primeiramente os seguintes valores, desconsiderando os limites físicos dos movimentos:

- Limite em +Z: 119mm
- Limite em -Z: 60mm
- Limite em $\pm X$: 200mm
- Limite em $\pm Y$: 193mm

Por sua vez, os limites calculados através do Scilab, garantindo que os ângulos dos motores não passem de $\pm 40^\circ$ são:

- Limite em +Z: 71mm
- Limite em -Z: 45mm
- Limite em $\pm X$: 116mm
- Limite em $\pm Y$: 96mm

Estes são os limites extremos que o robô alcança, que, ao serem testados no modelo real, o mesmo respondeu adequadamente.

Após montado o protótipo, iniciaram-se os testes da estrutura. Estes testes foram realizados em seis etapas:

1. Informar as coordenadas (x, y, z) desejadas no Scilab;
2. Copiar do Scilab os ângulos calculados e aplicar no Solidworks;
3. Transferir os ângulos para o código no processador da plataforma Arduino;
4. Compilar o código e transferir ao processador;
5. Observar a trajetória executada pelo robô.
6. Comparar o movimento real com o movimento em CAD.

Para exemplificar, a Figura 9 mostra o comportamento do modelo em CAD, comparando com o modelo real, ao aplicar as coordenadas: $P_x = 50\text{mm}$; $P_y = 50\text{mm}$; $P_z = 20\text{mm}$.

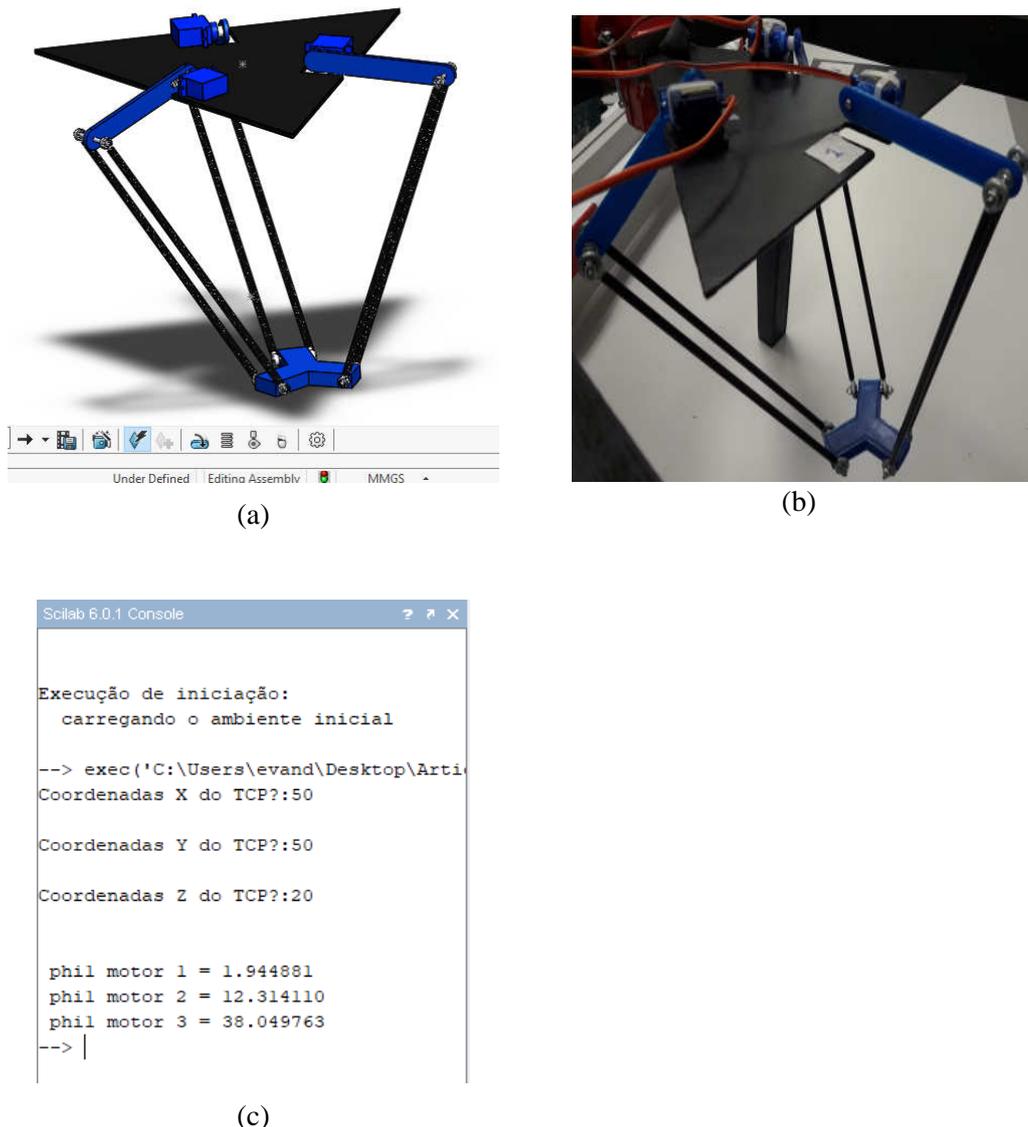


Figura 9. Comparação entre o modelo real e virtual: (a) Deslocamento aplicado no CAD; (b) Deslocamento aplicado no modelo real; (c) Janela de comando Scilab.

Com estes testes foi possível concluir que os cálculos da cinemática inversa estão coerentes com o modelo real.

Também, para comparar o modelo real e o virtual, as posições foram obtidas através de uma caneta fixada na ponta do efetuador, que traçou a trajetória percorrida nos eixos X, Y e em Z. As medidas obtidas forneceram um valor próximo ao desejado, tanto no modelo real quanto no virtual.

5.2. Capacidade de Carga

Para saber qual o limite de carga que o motor poderá suportar, levou-se em conta o torque máximo fornecido pelo motor, que segundo os dados do fabricante é de 1,8kgf/cm. Como o momento estará aplicado diretamente no braço acoplado no motor a distância utilizada no cálculo foi o seu comprimento (9cm), ver Figura 10.

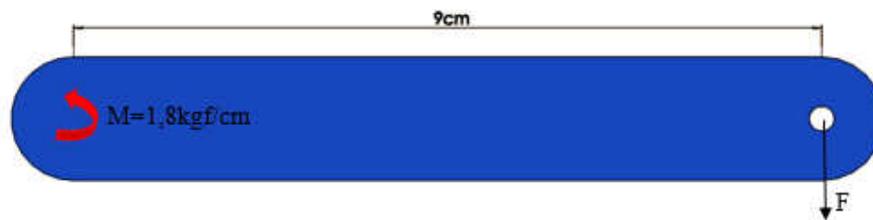


Figura 10. Vista lateral do braço para cálculo de carga

Sendo assim:

$$F = \frac{M}{d}$$

$$F = \frac{1,8kgf/cm}{9cm}$$

$$F = 0,2kgf$$

Desta forma, é possível observar que os motores não são adequados para cargas elevadas, portanto sua aplicação deve ser limitada ao uso em laboratório, como ferramenta de estudo.

6. Considerações Finais

O alto custo na aquisição de robôs para escolas e universidades são um empecilho para que o aluno se aproxime destas tecnologias. Por esse motivo, este projeto foi direcionado ao desenvolvimento de um robô manipulador, de arquitetura do tipo Delta, de baixo custo, de programação simples, para uso em laboratório. Para atingir este objetivo os esforços foram concentrados no projeto em CAD da estrutura do robô, na análise cinemática, a montagem e os testes de funcionamento do protótipo.

Em particular, os alcances (ângulos máximos e mínimos) da estrutura foram calculados e diversos movimentos testados no robô real e comparados com os calculados efetuados via Scilab. Também foram realizados testes de movimento, no qual foi possível observar a trajetória modelo real comparada com o modelo CAD. Os testes mostraram resultados satisfatórios, pois a estrutura Delta executou os movimentos desejados, conforme a análise virtual. Também foi calculada a capacidade de carga, limitada a 0,2kgf. O custo total da estrutura, de 229,10 Reais, demonstrou que com um investimento baixo é possível projetar um robô tipo Delta para fins didáticos.

A construção deste protótipo promove diversas oportunidades de aplicações e melhorias para o aluno ver, na prática, o que é visto em sala de aula, tais como: a criação de uma interface computacional que possibilite o controle do robô, mostrando na tela uma prévia do movimento no modelo virtual; o estudo da precisão e repetitividade; a análise do volume de trabalho, dentre outras aplicações.

Referências

- BRINKER, J.; CORVES, B. WAHLE, M. A Comparative Study of Inverse Dynamics based on Clavel's Delta robot. In: IFToMM World Congress, 14th, 2015, Taipei, Taiwan. Proceeding. <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=58bcfa195b4952e6307a85ee&assetKey=AS%3A468790606602241%401488779798981>. Acesso em 20 abr. 2018.
- FIORIO, Rosaine; ESPERANDIM, Rauany J.; SILVA, Flávio A.; VARELA, Paulo J.; LEITE, Maici D.; REINALDO, Francisco A. F. Uma experiência prática da inserção de robótica e seus benefícios como ferramenta educativa em escolas públicas. In: Simposio Brasileiro de Informática na Educação, 25, 2014, Dourados. Anais 25° Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Porto Alegre: SBC, 2014, p. 1223-1232.
- LIMA, W. F.; CARMO, J. P. S.; CARDOSO, T. M. G.; LOPES, P. A. M.; DIAS, A. S. D.; SOARES, M. H. F. B. A robótica educacional no ensino de Química, elaboração, construção e aplicação de um robô imóvel no ensino de conceitos relacionados à tabela periódica. In: XVI ENEQ e X EDUQUI, 2012, Salvador. <http://docplayer.com.br/15963761-Laboratorio-de-educacao-quimica-e-atividades-ludicas-instituto-de-quimica-ufg-walex-lequal-com-br-1.html>. Acesso em 18 mar. 2018.
- MERLET, J. P. Parallel Robots. Book Solid Mechanics and Its Applications. Ed. Springer. Volume 128. 2006.
- NIKU, S. B. Introdução à Robótica. Análise, Controle e Aplicações. 2ª. Ed. LTC. 2013.
- OÑA, Wladimir Christian Pachacama; MUZO, Juan Fernando Salazar. Diseño Y Construcción de un Prototipo de Robot Delta Para Aplicaciones Pick & Place. 2016. 133 f. Curso de Engenharia Eletrônica e de Controle, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, Quito, 2016. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16931>. Acesso em: 28 mar. 2018.