



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
DCA0414 - INTRODUÇÃO À ROBÓTICA - T01
PROFESSOR Dr. PABLO JAVIER ALSINA

**PLOTAGEM GRÁFICA 3D DE POLIEDRO A PARTIR DA POSIÇÃO E
ORIENTAÇÃO DO BRAÇO MANIPULADOR ROBÓTICO
LYNXMOTION AL5D**

Deborah Victória Lima Moreira
Kaike Castro Carvalho
Marcos Henrique Fernandes Marcone

Natal/RN. 2019.

1 INTRODUÇÃO

Robôs podem ser definidos como um grupo de dispositivos eletromecânicos ou biomecânicos, que são capazes de realizar tarefas pré-programadas de maneira autônoma ou por meio do controle humano. Nos últimos anos, nota-se um crescente investimento por parte das indústrias na área de automatização com robôs, visando assim cada vez mais a otimização dos seus processos (PIMENTA, 2009).

No mercado e na indústria, um dos principais tipos de robôs comercializados e utilizados são os braços manipuladores robóticos. Esses dispositivos são caracterizados por emular a função de um braço humano, isto é, por meio do seu movimento eles conseguem manipular diferentes objetos, como ferramentas e peças, que estão contidos no seu espaço de trabalho (PIMENTA, 2009).

Basicamente, um braço manipulador possui como componentes: uma base fixa, elos, juntas, que são rotacionais ou prismáticas, e um órgão terminal, que pode ser um efetuador, uma garra ou uma ferramenta. Esses elementos são combinados da seguinte forma: os elos (corpos rígidos) são interligados em uma cadeia cinemática através das juntas, as quais são acionadas de modo a posicionar a extremidade livre da cadeia (órgão terminal) em relação à outra extremidade, que é a base fixa (ALSINA, 2019).

Na indústria, os braços manipuladores robóticos são usados em diferentes aplicações, como por exemplo: na carga e descarga de objetos; no processo de paletização; no armazenamento automático de produtos; na montagem automatizada de veículos; na soldagem; na pintura; e na usinagem. Assim como, é preciso ressaltar que, além das aplicações industriais, existem também kits educacionais com braços robóticos para que os estudantes possam desenvolver suas habilidades em robótica, como é o caso, por exemplo, do braço Lynxmotion AL5D.

Ao manipular um desses dispositivos existem importantes propriedades que precisam ser determinadas, uma delas é a cinemática direta do robô. O problema da cinemática direta consiste em determinar a localização (posição e orientação) do órgão terminal e de cada elo do manipulador a partir do valor atual das variáveis de junta, que são os ângulos ou descolamentos de cada junta (ALSINA, 2019).

Assim, dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho foi reconstruir um tetraedro disposto no laboratório em um software 3D usando um modelo matemático de cinemática direta para o braço manipulador robótico *Lynxmotion* AL5D, obtido por Moreira, Carvalho e Marcone (2019). Para isso, foi desenvolvido um programa em Python que movimenta o braço e calcula

a posição e orientação de sua garra à partir dos ângulos das juntas. Ao colocar a garra em contato com os quatro vértices do objeto foram aferidas as suas coordenadas e com isso foi possível reconstruí-lo usando a linguagem Processing.

O trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2 é apresentada a fundamentação teórica, que se baseia na descrição do braço manipulador robótico Lynxmotion AL5D e seu o modelo de cinemática direta, bem como as características técnicas do sistema projetado; a Seção 3 contém a metodologia do trabalho que consiste na descrição processual de como obtivemos as coordenadas dos vértices do tetraedro; na Seção 4 são apresentados os resultados. Por fim, na Seção 5, são feitas as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

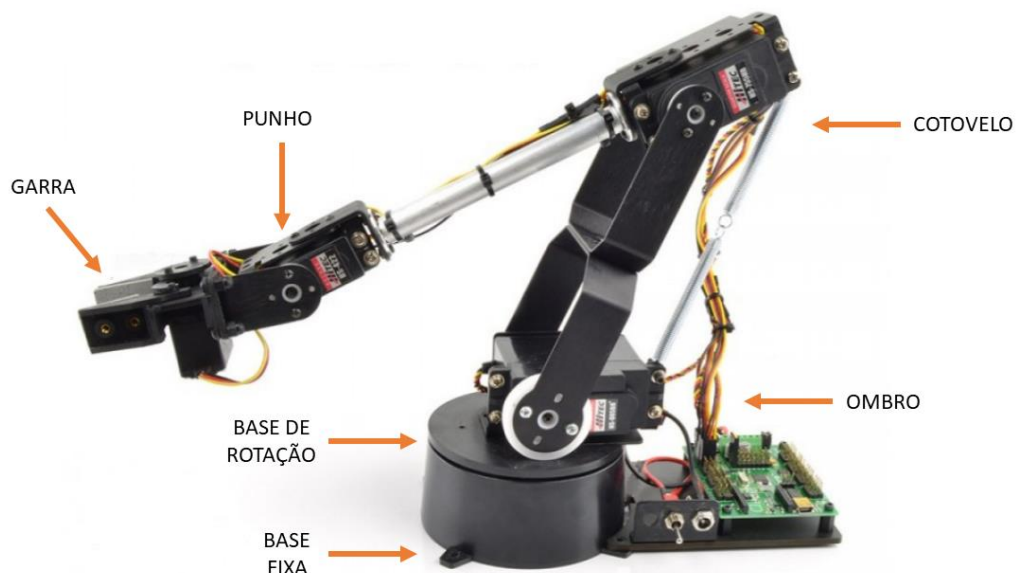
Aqui são apresentadas as principais características do braço manipulador robótico Lynxmotion AL5D, ferramenta base de trabalho, e seu modelo de cinemática direta obtido a partir de suas configurações estruturais. Tal modelo foi imprescindível para o desenvolvimento de um sistema, que será descrito adiante, capaz de movimentar o braço e calcular a localização da garra em relação ao referencial da base fixa.

2.1 O BRAÇO ROBÓTICO

Segundo a empresa Lynxmotion (2018), o braço manipulador robótico Lynxmotion AL5D é um robô que oferece rapidez, precisão e repetibilidade nos movimentos. Como mostra a Figura 1, esse manipulador possui como composição uma base de rotação, um ombro que se movimenta em um único plano, um cotovelo, um punho e uma garra funcional.

O braço Lynxmotion AL5D é um robô com quatro graus de liberdades, pois possui ao todo quatro juntas rotacionais: 1x HS-645MG Servo Motor (punho); 1x HS-755HB Giant Scale Servo Motor (cotovelo); 1x HS-805BB Giant Scale Servo Motor (ombro) e 1x HS-485HB Servo Motor (base rotacional).

Figura 1- Braço manipulador robótico Lynxmotion AL5D



Fonte: Lynxmotion (2018).

Segundo o fabricante, o braço Lynxmotion AL5D possui as seguintes propriedades:

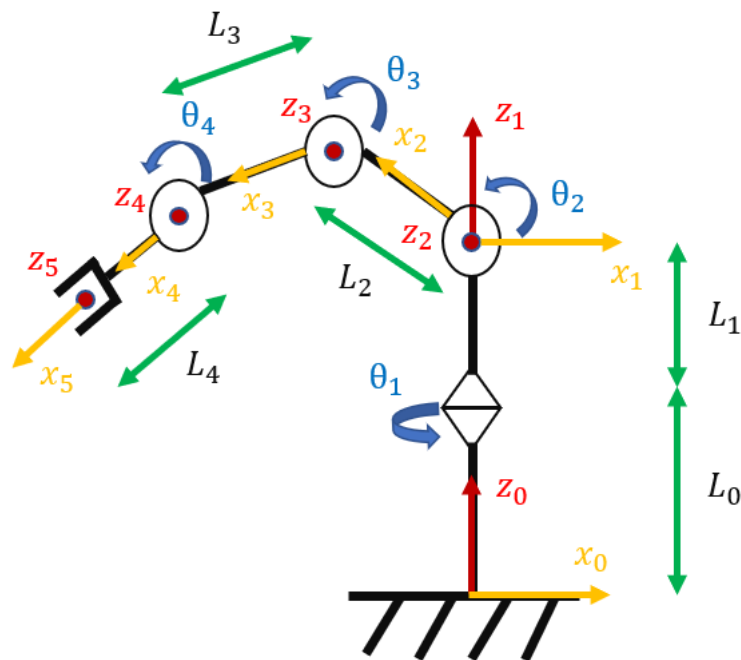
- A distância, L_0 , da base fixa até a base de rotação é de 4,3 cm;

- A distância, L_1 , da base de rotação até o ombro é de 2,5 cm;
- A distância, L_2 , do ombro até o cotovelo é de 14,605 cm;
- A distância, L_3 , do cotovelo até o punho é de 18,325 cm;
- A distância, L_4 , do punho até a ponta da garra é de 8,5725 cm;
- Cada junta possui uma faixa de variação angular de 0° a 180° ou -90° a 90° .

2.2 CINEMÁTICA DIRETA

O modelo da cinemática direta do robô utilizado neste trabalho foi detalhado em (MOREIRA; CARVALHO; MARCONE, 2019), portanto aqui será relatado apenas do que se trata este modelo e sua configuração final. A Figura 2 mostra a distribuição dos eixos referenciais para a obtenção do modelo de cinemática direta para o braço manipulador Lynxmotion AL5D.

Figura 2 - Esquemático do manipulador Lynxmotion AL5D



Fonte: Moreira, Carvalho e Marccone (2019).

Para a construção do modelo foi utilizado como base a Notação de Denavit Hartenberg, assim como o conceito de Transformações Homogêneas para representar a localização de cada elemento do manipulador. A orientação e a posição da garra em relação à base fixa dependem de 4 variáveis, que são os ângulos de juntas: $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$. Isto é, basta determinar os valores para cada ângulo que é possível saber a localização da garra em relação ao referencial da base fixa de acordo sistemas de eixos adotados.

2.2.1 A FUNÇÃO DA CINEMÁTICA DIRETA

O modelo de cinemática direta para o braço manipulador Lynxmotion AL5D obtido em (MOREIRA; CARVALHO; MARCONE, 2019) é descrito pela Equação 1:

$${}^0T_5 = \begin{bmatrix} c_1 c_{234} & -c_1 s_{234} & s_1 & c_1(c_{234}L_4 + c_{23}L_3 + c_2L_2) \\ s_1 c_{234} & -s_1 s_{234} & -c_1 & s_1(c_{234}L_4 + c_{23}L_3 + c_2L_2) \\ s_{234} & c_{234} & 0 & (s_{234}L_4 + s_{23}L_3 + s_2L_2 + L_1 + L_0) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Notações:

$$s_1 = \text{sen}(\theta_1) \quad c_2 = \text{cos}(\theta_2) \quad s_{234} = \text{sen}(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$$c_1 = \text{cos}(\theta_1) \quad c_{23} = \text{cos}(\theta_2 + \theta_3) \quad c_{234} = \text{cos}(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$$s_2 = \text{sen}(\theta_2) \quad s_{23} = \text{sen}(\theta_2 + \theta_3)$$

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Inicialmente, foi desenvolvida uma interface, usando a linguagem Python utilizando a biblioteca Tkinter, para controlar cada servo; descobrir os ângulos θ , que de acordo com a Notação de Denavit-Hartenberg são formados entre os eixos X de cada junta; calcular a função da cinemática direta e, conseqüentemente, a posição espacial da garra a partir do referencial base para cada configuração estrutural que o robô apresentasse.

Para encontrar a posição mais precisa possível da garra do braço robótico foi preciso calibrá-lo através da definição de uma função linear para cada junta, que relaciona o ângulo θ e a largura do pulso enviado. Esse ajuste foi necessário porque havia uma diferença entre o valor real e o teórico exibido no sistema desenvolvido devido à incerteza das medidas geradas pela montagem do robô de forma incorreta ou simplesmente o seu desgaste.

Após a calibragem ter sido feita, foram encontradas as coordenadas do tetraedro ao colocar a garra em contato com seus quatro vértices e, com os dados da localização espacial do objeto, utilizou-se a linguagem Processing para sua plotagem em 3D. A seguir serão descritos os detalhes de todo o processo.

3.1 INTERFACE PARA CONTROLAR O BRAÇO ROBÓTICO

Para controlar o braço manipulador robótico de forma mais fácil foi desenvolvida uma interface gráfica, que é mostrada pela Figura 3, utilizando a biblioteca Tkinter da linguagem de programação Python. Essa interface possui como princípio de funcionamento o controle dos ângulos de junta por meio de incrementos e decrementos.

Como cada ângulo de junta, θ_1 , θ_2 , θ_3 e θ_4 , é associado a um membro do braço, a interface os divide, de forma a permitir o controle individual de cada servo. Além disso, a medida que cada ângulo é alterado, é calculado na parte inferior as coordenadas X , Y e Z da posição da garra em relação à base fixa do robô por meio da aplicação da cinemática direta.

Um importante aspecto a ser ressaltado no desenvolvimento dessa interface foi a calibração, para cada servo, do pulso elétrico enviado ao robô em função do ângulo de junta. A descrição desse processo é detalhada na seção 3.2.

Figura 3 - Interface gráfica para manipular o robô Lynxmotion AL5D

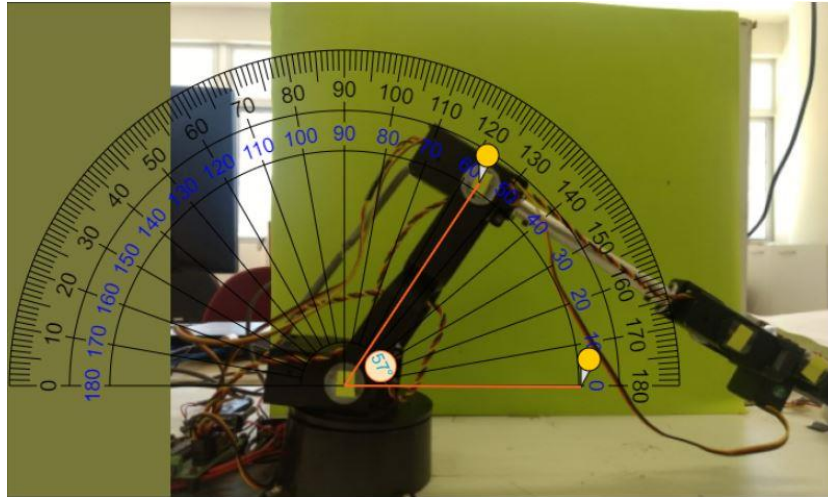
Fonte: Acervo dos Autores (2019).

3.2 CALIBRAGEM DA FERRAMENTA

A interface desenvolvida para o controle dos servos tem a cinemática direta implementada para calcular, entre outros, o ângulo theta entre eixos X , como mencionado anteriormente. Porém, se fez necessário corrigir a referência entre ângulos e pulsos encontrada no manual do braço, pois a montagem incorreta ou desgaste na estrutura do braço causaram discrepância entre o valor real e o apresentado no programa. Por exemplo, a Figura 4 mostra a posição da junta rotacional “ombro” ao ser solicitada para uma rotação, a interface inicialmente apresentou um valor para θ_2 de 65° , mas o valor real foi de 57° .

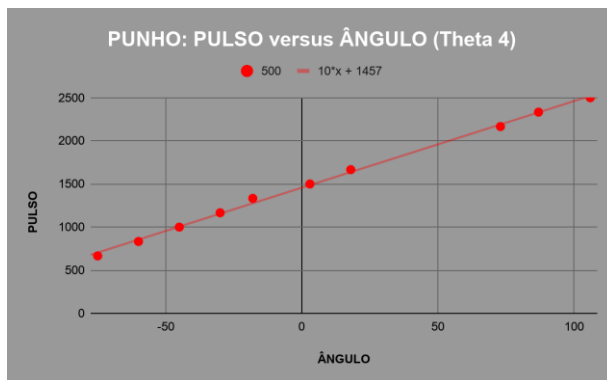
A calibragem do equipamento se deu da seguinte forma: fotografou-se várias vezes as juntas imputando diferentes rotações e para cada nova configuração tomava-se nota do valor do pulso. Em seguida, usando o software online chamado *Measuring Angle from Picture* (ANGLE MEASUREMENT, 2019), foi possível obter os ângulos verdadeiros e os relacionar com os pulsos registrados e dispô-los em gráficos de dispersão para que, após um ajuste linear, se obtivesse uma função que representasse corretamente a relação entre ângulos e pulsos para cada junta. A Figura 5 mostra as relações ângulo *versus* pulso para **a)** punho, **b)** cotovelo, **c)** ombro e **(d)** base.

Figura 4 - Medição do ângulo da junta ombro

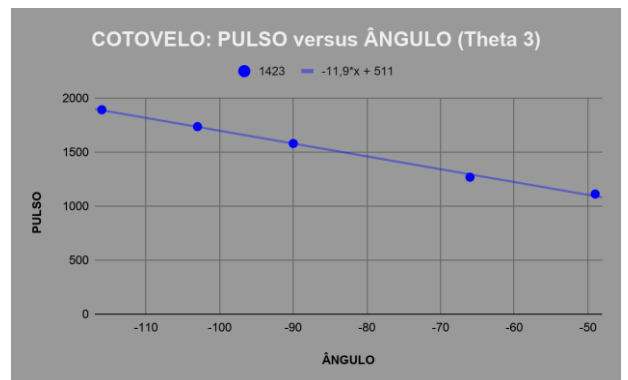


Fonte: Angle Measurement (2019).

Figura 5 - Calibração da ferramenta relacionando os ângulos, em graus, com os pulsos, em milissegundos.



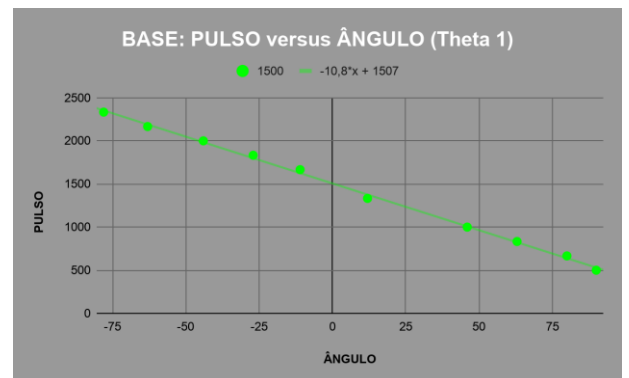
(a)



(b)



(c)



(d)

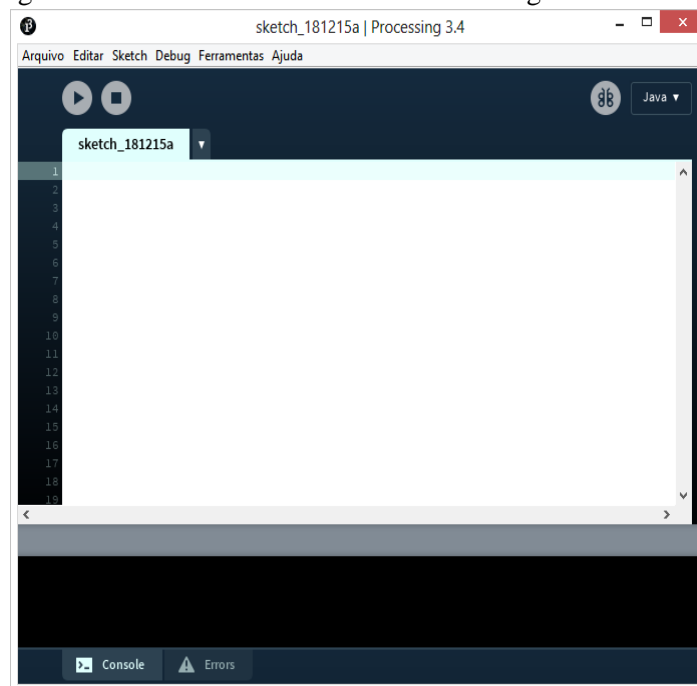
Fonte: Acervo dos Autores (2019)

Essa relação foi implementada na interface e com isso se diminui consideravelmente o erro entre valores reais e teóricos, atividade essencial para uma aproximação mais precisa dos resultados na obtenção da posição, em coordenadas X-Y-Z, da garra.

3.3 PLOTAGEM

O software utilizado para plotagem dos pontos do tetraedro foi o Processing, que é uma linguagem de programação de código aberto e um ambiente de desenvolvimento integrado, que utiliza uma linguagem de programação próxima ao C++. Ela tem como objetivo ensinar noções básicas de programação de computadores com uso de recursos visuais. A Figura 7 mostra o ambiente de desenvolvimento integrado do Processing.

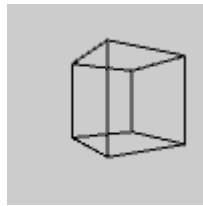
Figura 7- Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Process



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/64/ProcessingIDE.png/300px-ProcessingIDE.png>

A construção do algoritmo para representação em 3D do objeto tetraedro baseou-se em transformar a unidade de centímetro para pixel, que o ambiente utiliza como referência. Em seguida, foi aplicado a função *vertex()* que conecta os pontos formando arestas entre eles, mas é necessário está entre as funções *beginShape()* e *endShape()*. A Figura 8 exemplifica a sintaxe do Processing, juntamente com o resultado visual sendo um cubo transparente.

Figura 8 - Sintaxe associada à representação



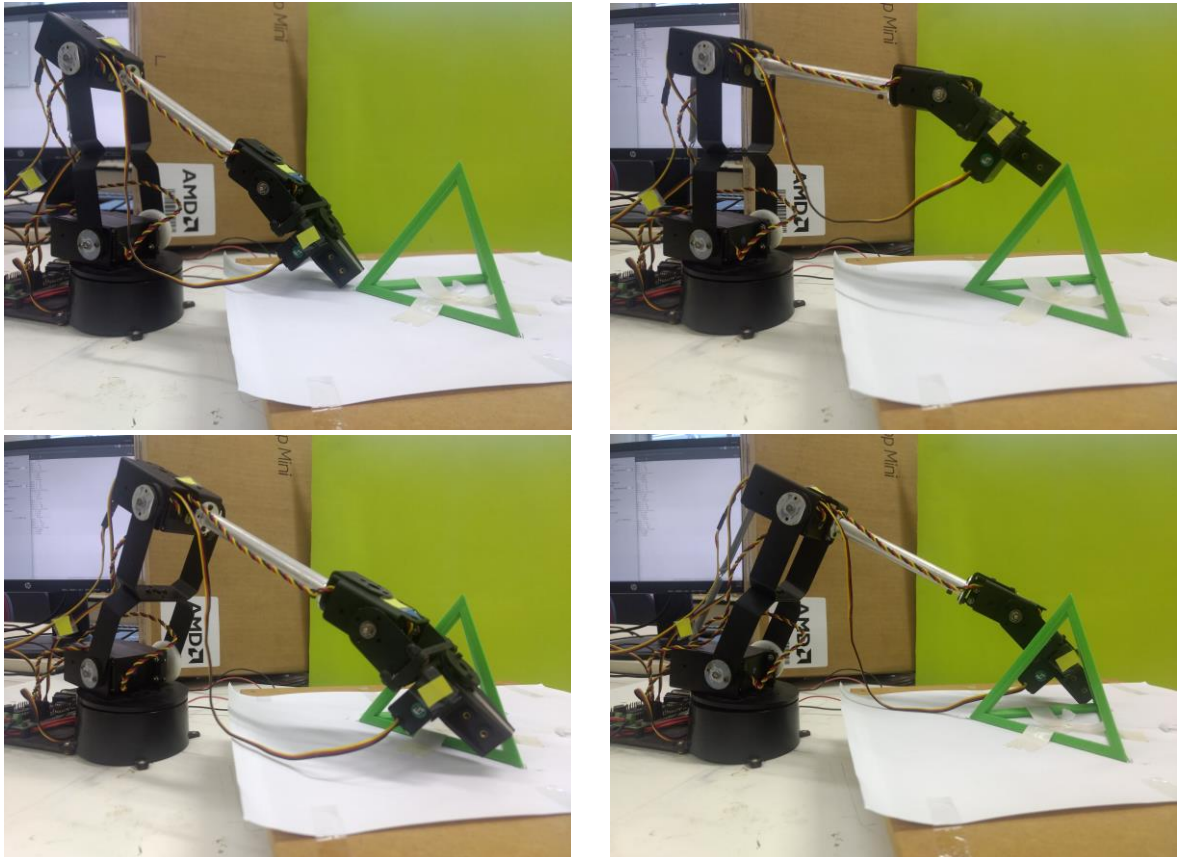
```
size(100, 100, P3D);  
translate(58, 48, 0);  
rotateY(0.5);  
noFill();  
box(40);
```

Fonte: https://processing.org/reference/images/box_0.png

4 RESULTADOS

Colocando a garra próxima aos vértices do tetraedro, um de cada vez como mostra a Figura 9, obteve-se a posição dos mesmos em relação à base do robô, por meio da cinemática direta, e esses dados foram inseridos no *Processing* para realizar a plotagem.

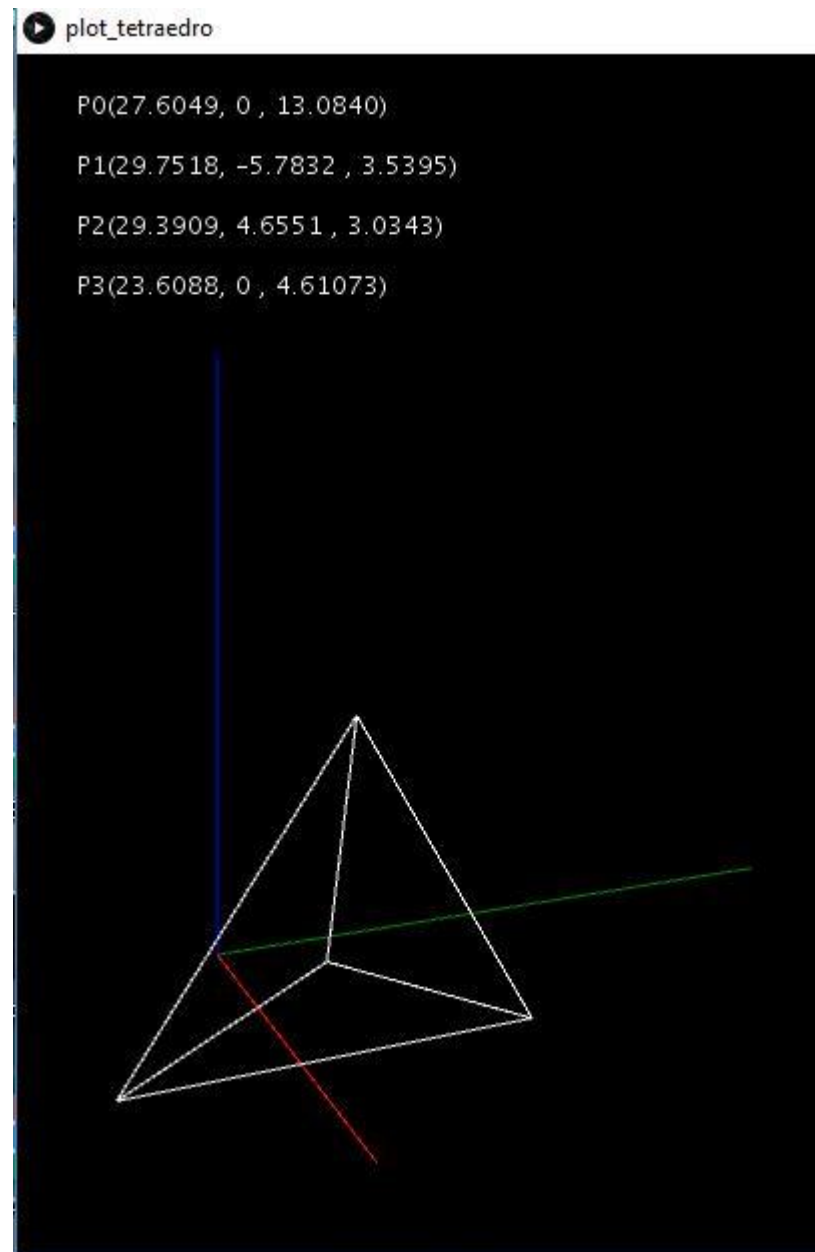
Figura 9 - Braço robótico em contato com os vértices do tetraedro



Fonte: Acervo dos autores (2019).

A Figura 10 mostra o gráfico tetraedro plotado no Processing. Nota-se que, não foi possível representar perfeitamente o tetraedro, isso ocorreu devido à imprecisão das medidas feitas ao manipular o braço robótico. É preciso ressaltar que mesmo sendo feito o ajuste da relação entre os ângulos de junta e os pulsos enviados para cada servo, ainda existe um certo erro ao inserir os ângulos obtidos na função de cinemática direta, proveniente do funcionamento não regular do robô. Devido a esse fato, os pontos obtidos acabam sofrendo uma certa distorção interferindo no resultado obtido.

Figura 10 - Plotagem 3D do tetraedro.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

5 CONCLUSÃO

Desde os primórdios, no estudo das ciências exatas existem diferenças relativas entre valores reais e teóricos. No contexto atual de constante industrialização e automação, para gerar maior eficácia, são criadas ferramentas que realizam medidas para os equipamentos, seja de eficiência, tamanho, peso ou outros. Para que esse processo seja feito de forma correta se faz necessária a calibragem frequente de seu sistema de medição, pois algumas variáveis como desgaste ou manuseio incorreto do equipamento podem alterar suas configurações originais, que na maioria das vezes estão bem próximas da teoria.

Esse procedimento de calibragem foi realizado neste trabalho para que seu objetivo se conclua com um mínimo de erros, ou seja, para que a partir dos ângulos das juntas, usando a cinemática direta para o braço manipulador robótico Lynxmotion AL5D, fosse computada a posição de cada vértice no espaço 3D de um tetraedro e com isso usar essas coordenadas obtidas para plotar na tela do computador uma representação gráfica 3D do poliedro.

Concluimos que sempre se faz necessária a calibragem em equipamentos que sirvam para mostrar medidas, a fim de que tenham o máximo de precisão possível e, mesmo após esse procedimento, ainda haverá certo erro entre medidas reais e teóricas.

6 REFERÊNCIAS

- ANGLE MEASUREMENT. **Measuring Angles**. Disponível em: <https://www.ursupplier.com/tools/angle_measurement/>. Acesso em: 23 set. 2019;
- ALSINA, Pablo Javier. **INTRODUÇÃO À ROBÓTICA**. Natal, 2019. 70 slides, P&B;
- MOREIRA, Deborah Victória Lima; CARVALHO, Kaike Castro; MARCONE, Marcos Henrique Fernandes. **MODELO MATEMÁTICO DA CINEMÁTICA DIRETA DO BRAÇO MANIPULADOR LYNXMOTION AL5D**. Natal, 2019;
- PIMENTA, Thiago Tavares. **Controle de Manipuladores Robóticos**. 2009. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Departamento de Engenharia de Controle e Automação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://meggi.usuarios.rdc.puc-rio.br/teses/TFC09_Thiago_Pimenta.pdf>. Acesso em: 03 set. 2019;
- LYNXMOTION. **Assembly & User Guide for AL5D-PLTW Arm**. 2018. Disponível em: <<https://www.lynxmotion.com/images/document/PDF/PLTW%20-%20AL5D%20Guide.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2019.