

**Instituto Politécnico do Cávado e do Ave**

**Escola Superior de Tecnologia**

**Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**

**Robótica**

**Manipulador Robótico – LEGO EV3**

Trabalho Prático Nº2

Tiago Carvalho nº18601

João Sampaio nº18611

Rui Ribeiro nº16419

**Janeiro 2023**

**Resumo**

O trabalho prático tem como objetivo a avaliação da componente prática da unidade curricular de Robótica, do curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

O presente relatório visa demonstrar e explicar o processo de desenvolvimento desse mesmo trabalho prático, que consolida os dois tópicos abordados ao longo da unidade curricular, mais propriamente, processamento de imagem e robótica.

Recorrendo à tecnologia da Lego Mindstorms contruímos um manipulador robótico de 3 graus de liberdade, que tem como objetivo deslocar-se para uma determinada posição e recolher um objeto (dentro do seu espaço de trabalho).

O projeto esta dividido em duas partes, na parte de processamento de imagem, que permite recolher a informação da posição do objeto, utilizamos uma webcam que captura a imagem, aplicando um thresholds referente à cor do objeto.

Segunda parte, através do centroide desse objeto na imagem, convertemos as medidas para o plano real, que de seguida serão convertidas novamente para os ângulos das juntas, permitindo ao robot chegar a esse ponto.

**Índice**

[**Introdução** 5](#_Toc124617176)

[**1 - Manipulador robótico** 6](#_Toc124617177)

[**2 - Parâmetros Denavit-Hartenberg** 7](#_Toc124617178)

[**3 - Espaço de Trabalho e Limites das Juntas** 10](#_Toc124617179)

[**3.1 - Espaço de Trabalho** 10](#_Toc124617180)

[**3.2 - Limite das Juntas** 11](#_Toc124617181)

[**4 -** **Cálculo da trajetória** 12](#_Toc124617182)

[**5 - Movimento das juntas** 13](#_Toc124617183)

[**6 - Processamento de Imagem** 14](#_Toc124617184)

[**6.1 - Posição no mundo** 16](#_Toc124617185)

[**7 - Resultado final** 17](#_Toc124617186)

[**Conclusão** 18](#_Toc124617187)

# **Introdução**

No âmbito da unidade curricular de Robótica do curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, da Escola Superior de Tecnologia IPCA, foi proposta a realização de um trabalho prático de modo a explorar técnicas de controlo robótico através da utilização de vários sensores/atuadores .

O trabalho prático tem como objetivo colocar em prática os conhecimentos adquiridos ao longo da unidade curricular, desenvolvendo também a programação em Matlab

O trabalho consiste na captura de imagem, e através da deteção de objetos presentes na imagem, controlar um braço robótico, para que este pegue no objeto e o separe de acordo com a cor selecionada, este braço deve ser movido automaticamente consoante a posição do objeto no mundo.

A imagem capturada e processada é de uma peça lego de uma determinada cor, e para alem da cor será também extraída a posição da peça.

O robô é uma variação da montagem do LEGO MINDSTORM EV3, que foi montado como um manipulador robótico de 3 graus de liberdade, e que será responsável pela separação das peças.

O presente relatório irá clarificar todo o processo de desenvolvimento realizado pelo grupo de trabalho.

Tem como objetivo também, trabalhar sobre alguns pontos importantes lecionados, tais como cinemática direta e inversa, espaço de trabalho, planeamento de trajetórias.

# **1 - Manipulador Robótico**

Um manipulador multifuncional reprogramável projetado para mover uma materiais peças ferramentas ou dispositivos especializados por meio de movimentos variados programados para o desempenho de uma variedade de tarefas que também adquirem informação do ambiente imóvel de forma inteligente em resposta ao mesmo.

Na nossa terminologia um robô será composto de um circuito eletrónico computorizado de controlo e um mecanismo articulado denominado manipulador que é composto pelo braço e pulso.

O braço consiste em elementos denominados elos e unidos por juntas. O punho conseguiste várias juntas próximas entre si que permitem orientação do órgão terminal.

O manipulador escolhido, foi o modulo EV3 que através da tecnologia da Lego Mindstorms contruímos o manipulador básico que o kit permitiu (H25).

Após contruída essa base, replicamos eficientemente as instruções da segunda junta, criando assim um robot com 3 juntas(3DOF) revolutas, consequentemente aumentando as capacidades do robot. Esta junta permite um espaço de trabalho maior do que o robô original

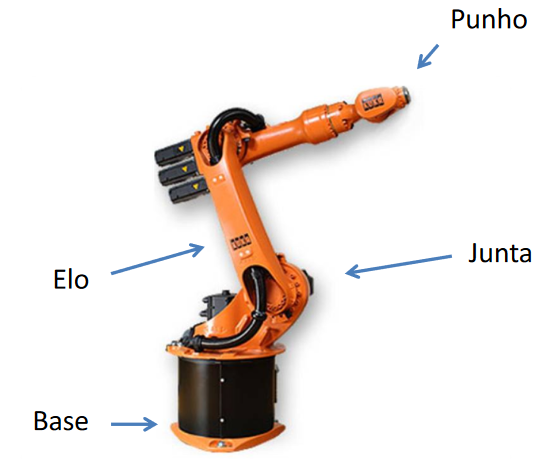


Figura 1 – Manipulador robótico H25

# **2 - Parâmetros Denavit-Hartenberg**

O método de calculo da cinemática direta ou inversa, pode ser feito através dos parâmetros de denavit-hartenberg, que é um método para calcular a posição e orientação do end-effector do manipulador, relativo a base em função das variáveis das juntas. É um método sistemático para atribuir sistemas de eixos de coordenadas a cada elo de uma cadeia articulada. Qualquer robô pode ser descrito cinematicamente através das quatro quantidades dos links, onde dois descrevem o próprio elo e os outros a ligação ao próximo.

Para a elaboração da tabela dos parâmetros de hartenberg, começou-se por marcar os eixos do mesmo, colocando o robô numa posição que seria a posição “base”, depois pelas regras da definição dos eixos, começou-se a definir os eixos para depois se retirar os parâmetros corretos.

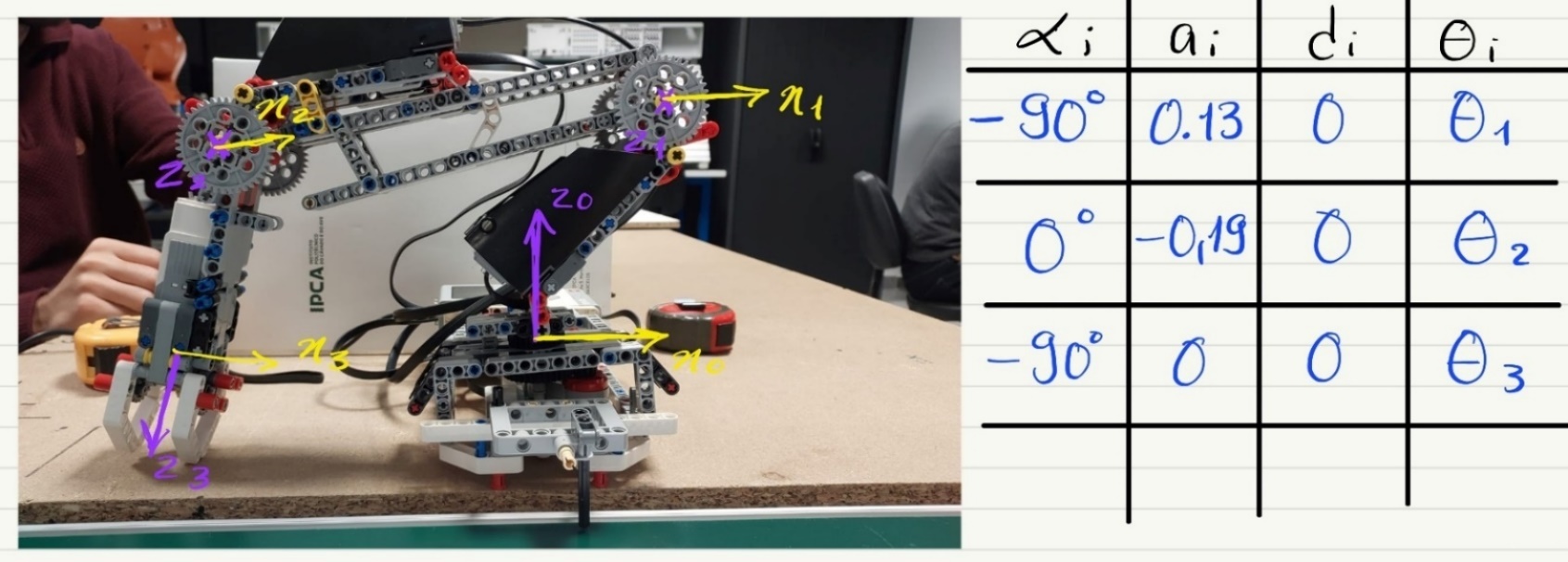


Figura 2 - Imagem Auxiliar para Extração dos Parâmetros de Denavit-Hartenverg

Após a marcação dos eixos, como se pode ver pela imagem 2, colocou-se na seguinte tabela os valores correspondentes aos parâmetros de Hartenberg. Respeitando a tabela dos parâmetros, que definem as regras para a dedução dos parâmetros do robô.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Juntas | Alpha | a | d | Theta |
| 1 | -90 | 0.13 | 0 | Θ1 |
| 2 | 0 | -0.19 | 0 | Θ2 |
| 3 | -90 | 0 | 0 | Θ3 |

Os parâmetros da tabela acima são usados em uma matriz homogénea que que se pode observar pelo exemplo da figura X, esta matriz permite saber sempre as posições e os ângulos das juntas dos elos ligados.

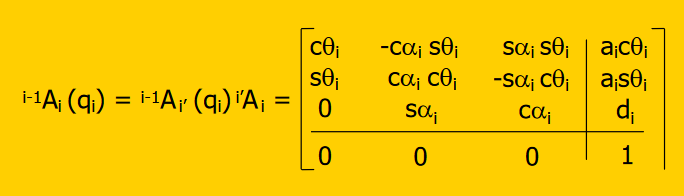


Ilustração 1 -Matriz Denavit-Hartenberg

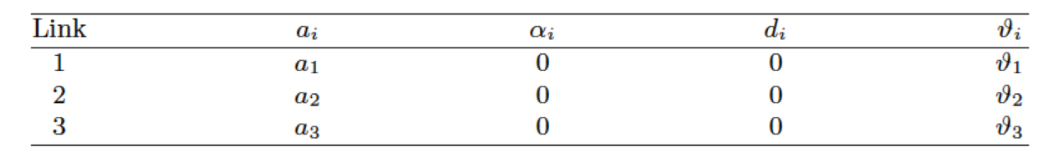
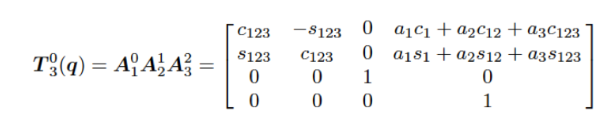
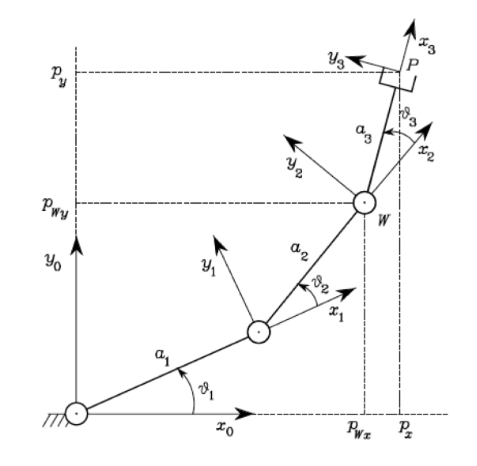


Ilustração 2 Exemplo

# **3 - Espaço de Trabalho e Limites das Juntas**

## **3.1 - Espaço de Trabalho**

O espaço/volume de trabalho é o termo que se refere ao espaço que um determinado braço consegue posicionar o seu pulso. Este volume, em geral, é estabelecido conforme os limites impostos pelo projeto estrutural do braço, ou seja, a configuração física do braço robótico, os limites dos movimentos das juntas e o tamanho dos componentes do corpo, braço e pulso. Na maior parte deles, o volume é altamente dependente de detalhes construtivos e raramente se aproxima do volume teórico.

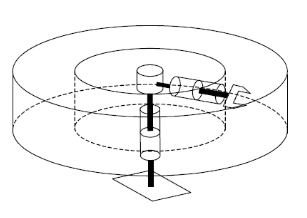


Ilustração 3 - Espaço Trabalho Robot Cilindrico

Para delimitar o espaço de trabalho, o robô deve ser colocado em todas as posições onde o end effector consegue ter acesso com apenas um movimento e assim é possível saber o espaço de trabalho total do robô.

No caso o espaço de trabalho pode ser observado pela imagem x, para saber este espaço de trabalho, foram colocadas as juntas nas posições máximas e observou-se até onde chegava o end effector, e para saber o espaço de trabalho mínimo, todas as juntas foram recolhida ate a posição mínima e registadas as posições onde o end effector consegue chegar.

FOTO DO ESPAÇO DE TRABALHO

## **3.2 - Limite das Juntas**

Quanto aos limites das juntas, estes são importantes para o calculo da trajetória, isto pois é necessário saber até onde o robô pode rodar, por exemplo, a base senão por exemplo o robot para atingir a posição 270°, pode girar entre 0° e 270°, segundo o arco trigonométrico, ou girar -60°, que é a trajetória mais curta, mas pode ser fisicamente impossível para o robô girar -60°, por isso que é necessário ter em atenção os valores das juntas, quer mesmo para se quisermos limitar o robot no espaço de trabalho.

Nesta situação, os valores das juntas foram retirados manualmente, movendo os motores para as suas posições máximas, desde o ponto inicial, 0°, e foram registados os seguintes valores.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Junta | Mínimo | Máximo |
| 1 – “Base” | 0° | -180° |
| 2 – “Cotovelo” | 0° | -90° |
| 3 – “Pulso” | 0° | -120° |

NOTA: Para os motores da LEGO, 180°corresponde na base a aproximadamente 600°, no cotovelo 300° e no pulso 250 °.

# **4 -** **Cálculo da Trajetória**

Após definidos os parâmetros de Hartenberg corretamente, procedemos ao cálculo das trajetórias, enviando o robô para um ponto no plano, de forma a testá-lo.

Inicialmente o robô é colocado na sua posição inicial que corresponde ao 0 em todas as juntas, sendo de seguida calculada a cinemática direta. Este passo vai permitir resolver a posição cartesiana e a orientação de todas as juntas, dado o conhecimento da estrutura cinemática e das coordenadas dessas mesmas juntas.

Para calcular a trajetória, é necessário ter duas posições e um intervalo de tempo, sendo o intervalo de tempo dez segundos, e de forma a suavizar a trajetória, cada movimento será feito de 50ms em 50ms, num total de 200 intervalos, onde cada um deles terá um valor de velocidade distinto.

Quanto as posições, a primeira posição será a base, onde o valor das juntas é igual a zero, para saber a posição cartesiana, aplica-se a cinemática direta.

O calculo da cinemática direta baseia-se no calculo das matrizes rotação e ou transformação que multiplicadas são expressas pela matriz de transformação homogenia, mencionada anteriormente.

Quanto a segunda posição, já são conhecidos os valores cartesianos, pois é o valor que a função de processamento de imagem retorna.

Em seguida e através da função jtraj, pode-se calcular as trajetórias, assim como todas as posições cartesianas do end effector para cada intervalo de tempo.

Para converter da posição cartesiana do end effector para a posição das juntas, utiliza-se a cinemática inversa que através da posição do end effector nos diz os ângulos de cada junta.

Estes valores são da cinemática inversa e direta são feitos através da matriz homogenia inversa.

# **5 - Movimento das Juntas**

Para se mover as juntas do robot, acede-se a matriz resultante do calculo da trajetória, e usa-se o valor que foi calculado para cada junta, em ângulos, para calcular a velocidade dos motores, onde a velocidade vai ser igual ao angulo da base menos a posição anterior, a dividir pelo intervalo de tempo, no caso 50ms, ou seja.

Posto isto basta passar para o robô a velocidade calculada, para ele se mover durante o intervalo de tempo, que é de 10 segundos, dividio em intervalos de 50ms, o que da um total de 200 iterações.

Pelo facto de a velocidade ser muito pequena para o robô da LEGO se mexer, devido ao peso, foi necessário encontrar um novo método para a movimentação do robô.

O novo método de movimentação do robô, foi baseado na velocidade manual do motor e na comparação da posição final e a atual, ou seja, sabendo a posição, em ângulos, para a qual o robô se tem de mexer, foi-se movendo o motor a uma velocidade constante á qual o robô consiga suportar o seu peso e consiga chegar a posição dentro do tempo referido. Durante o movimento lê-se a posição atual do robô, em ângulos, se essa posição for menor que a desejada a robô continua a mexer-se, quando esta for atingida, a velocidade do motor passa a ser zero, indicando que chegou ao objetivo.

Para retomar a posição inicial o processo é mais simples, pois com o recurso a três fins de curso, provenientes do kit, o robô vai mexer-se a uma velocidade constante, até que os fins de curso sejam pressionados, quando todos estes fins de curso tiverem o valor verdadeiro, o robô atingiu a posição “home”, e está preparado para realizar mais trabalho.

# **6 - End-Effector / Garra**

Na robótica órgão terminal é usado para descrever a mão ou ferramenta que está acoplada ao pulso como por exemplo uma garra pulverizadoras tinta entre outros.

O órgão terminal é responsável por realizar manipulação de objetos em diferentes tamanhos formas e materiais porém esta manipulação depende da aplicação ao qual se destina.

É de salientar que o end effector requer cuidados ao ser dimensionado pois é necessário controlar a força que será aplicada no objeto e a forma como este irá pegar no mesmo.

O modelo escolhido para end effector foram os grippers, que consiste em uma garra de dois dedos, modelo que proporciona pouca versatilidade na manipulação dos objetos, visto que existe limitação na abertura da garra, como no caso os obejetos a serem agarrados são peças lego encaixadas em uma roda lego, os limites da garra nunca são alcançados.

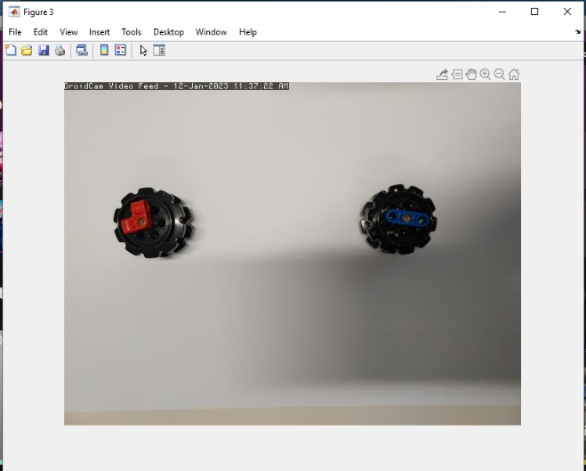
Esta mesma garra, que se pode observar na imagem seguinte, é montada em lego dispõem também de duas “traves”, nos “dedos” paralelos, para melhorar a aderência dos objetos, como se observa.

FOTO DO END-EFFECTOR

# **7 - Processamento de Imagem**

Neste projeto a incorporação do processamento de imagem, é uma implementação que que serve para identificar as cores das peças, e consoante a cor, o robô coloca a peça na caixa devida.

A função de captura de imagem irá possibilitar tirar uma foto ao espaço onde existem as peças, que por sua vez será processada identificando a posição da peça escolhida no mundo.



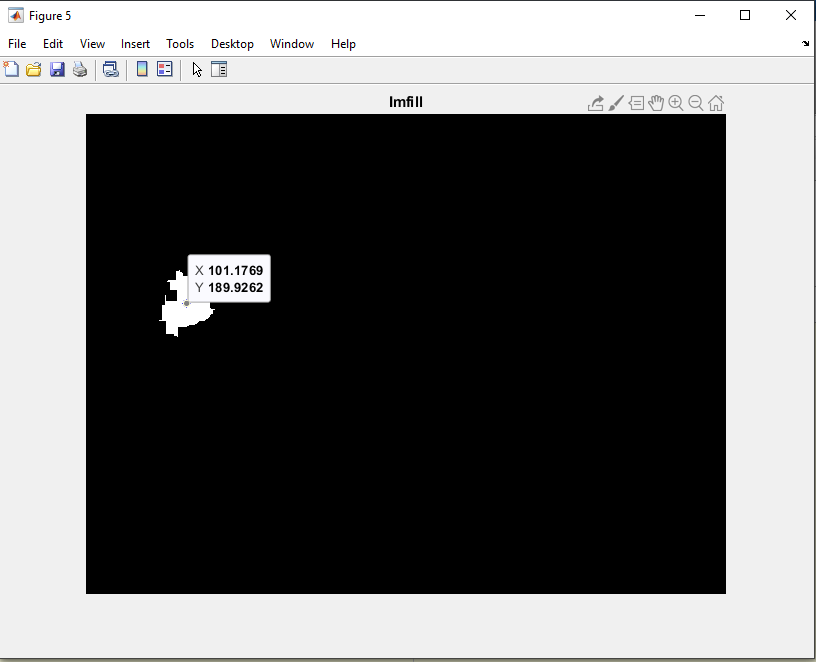
Inicialmente a imagem é capturada e é feita uma segmentação por cor, no exemplo vermelha, em seguida, através da função imclose, é feito um fecho morfológico(dilatação e uma erosão), para delinear melhor o objeto, depois através da função infill, preencher o interior do objeto, para que possa ser etiquetado.

Uma imagem com texto, monitor, captura de ecrã, eletrónica

Descrição gerada automaticamente

O próximo passo é eliminar o ruido existente na imagem de forma a ficar apenas o objeto que queremos, e excluir pequenos pixéis que não tenham sido removidos na aplicação do filtro de cor.

Após eliminar todo o ruido, etiquetou-se os objetos detetados, e em seguida, extraiu-se as características necessárias para se poder saber a posição no mundo do nosso objeto, através da função regionprops, foi retirado o centro do objeto(centroid), dai obtivemos a posição x e y do mesmo.



## **7.1 - Posição no Mundo**

Para que as coordenadas correspondam as coordenadas do robot, foram medidas as distancias desde o eixo do robot, até ao limite da câmara, ou da folha como foi o caso. Depois a x e y foi adicionada essa compensação, e esses valores serão os usados para determinar a posição final do end effector. De notar que z é a altura da peça que é aproximadamente 9mm.

No próximo excerto pode-se observar como se faz a conversão.

imSize = size(im) )% Tamanho da imagem em x/y

%Tamnaho da folha A4 --> 21cm - 29.7

objPosX = (centroid(:,1)\*21) / imSize(:,1) % Posição na folha em cm

objPosY = (centroid(:,2)\*29.7) / imSize(:,2) % Posição na folha em cm

objPosX = objPosX + 3; % Compensação da distancia ate a folha

No nosso caso, estão a ser usadas posições fixas, e são colocados dois objetos na folha, depois em vez de ser retomadas as posições do objeto(xy), este é visto se a posição onde se encontra está á direita ou a esquerda do centro da folha, através da contagem do numero de pixéis existentes a esquerda e direita do centro da folha.

Caso esteja posicionado á esquerda é retornado a posição de colocação do objeto, na posição 2, caso seja direita, é a posição 1 de deposito do objeto.

# **8 - Resultado final**

**Comentando os resultados obtido, pode-se observar que o robot pode executar as operações que lhe foram implementadas, mesmo apesar de a abordagem ter sido feita da maneira não correta, visto que essa estava a dar muitos problemas no calculo das velocidades dos motores, devido ao peso dos elos.**

**Pode-se observar também que apesar de não estar implementado é possível verificar no código que a coordenadas dos objetos foram calculadas corretamente e podiam ser aplicadas no robot, no caso do problema da trajetórias fosse resolvido.**

# **Conclusão**

Com a realização deste trabalho prático, foram aplicados diversos conhecimentos obtidos no decorrer da unidade curricular.

O trabalho contribuiu para o desenvolvimento de novas competências, tais como, aplicação de técnicas de processamento de imagem, estruturação de um manipulador robótico, assim como perceber como este opera, e também foram desenvolvidas competências no software MATLAB.

Ao longo do desenvolvimento tornou-se cada vez mais evidente que o aspeto mais importante para a movimentação do robot era a definição correta dos parâmetros de hartenberg, definir corretamente os limites do robot e perceber como funcionam as cinemáticas direta e inversa.

Como foi feita uma abordagem diferente daquela que é a correta, podemos observar também que tem de existir uma relação entre o peso do robot, a velocidade e a movimentação do robot.

Fora esse aspeto, o grupo foi capaz de implementar uma boa solução, objetivando sempre a simplificação do processo, a clareza e funcionalidade do código criado, completando os objetivos propostos.

**Bibliografia**

Bruno Oliveira – PowerPoint, “Robôs Manipuladores” – Consultado 2022/2023

Bruno Oliveira – PowerPoint , “Robôs Manipulador Industrial“– Consultado 2022/2023

Bruno Oliveira – PowerPoint , “Posição e Orientação de Corpos Rígidos” – Consultado 2022/2023

Bruno Oliveira – PowerPoint , “Cinemática e Dinâmica de Manipuladores” – Consultado 2022/2023

Bruno Oliveira – PowerPoint , “Cinemática Inversa de Manipuladores“ – Consultado 2022/2023

Bruno Oliveira – PowerPoint ,” laneamento de Trajetórias” – Consultado 2022/2023

Michael Thompsom, Victoria Serrano, Jordan Noriega, Vanessa Martinez - “Learning Robotic Concepts with a 3R Lego NXT Robotic Arm” - Consultado 2022/2023