



universidade  
de aveiro

# Tele-Operação Integrada da Plataforma ROBONUC para Bin-Picking Móvel

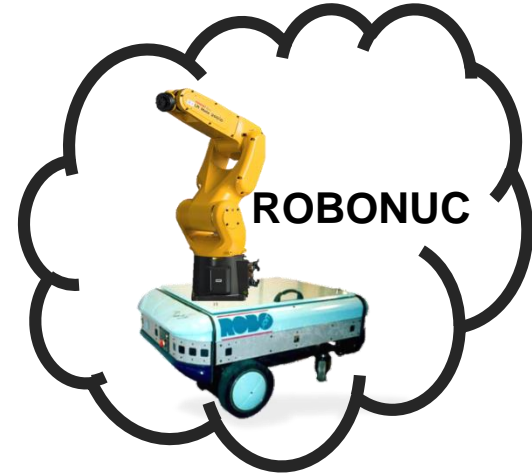
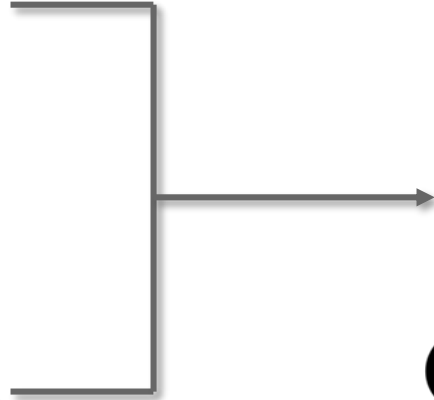
Tiago de Almeida Tavares

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho de 2019

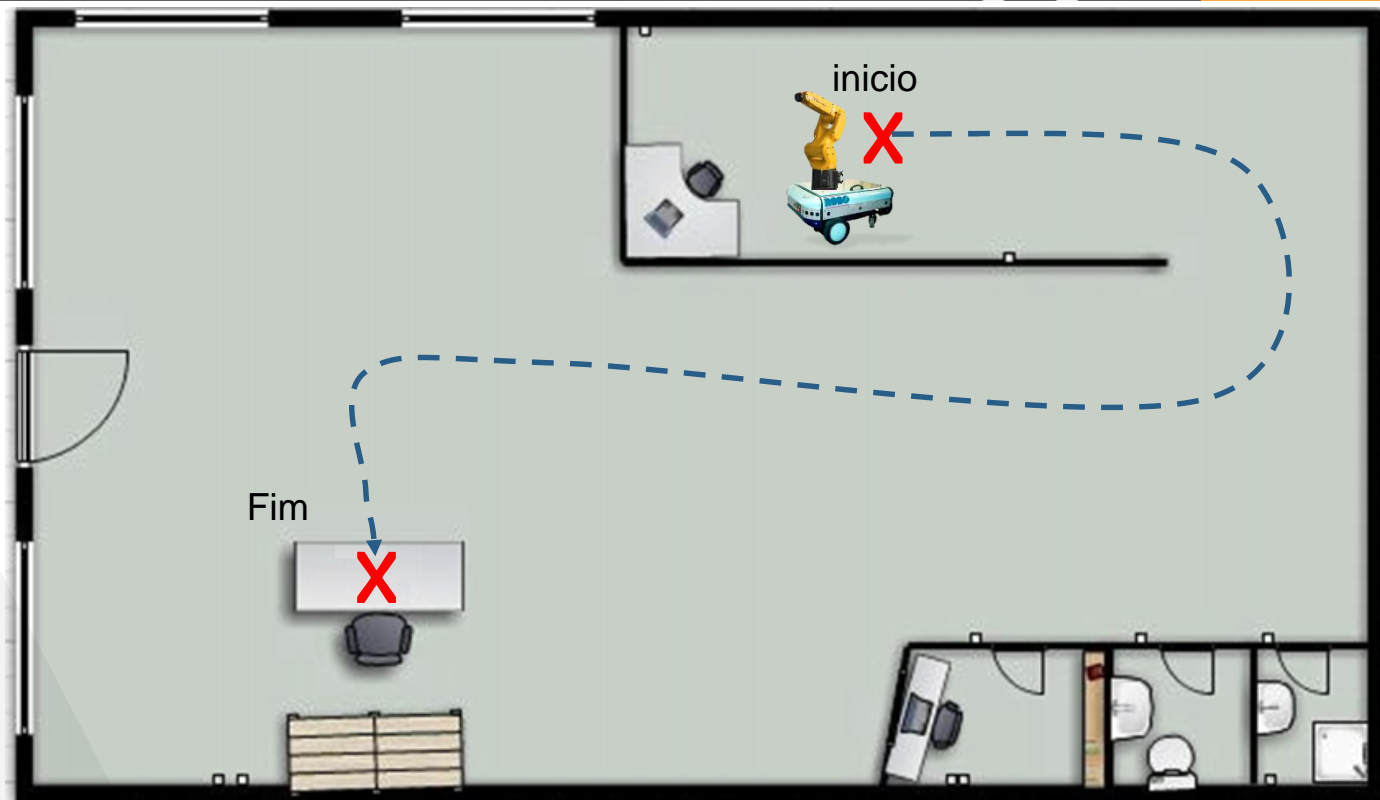
Orientador: Prof. Doutor Vítor Santos

# Enquadramento



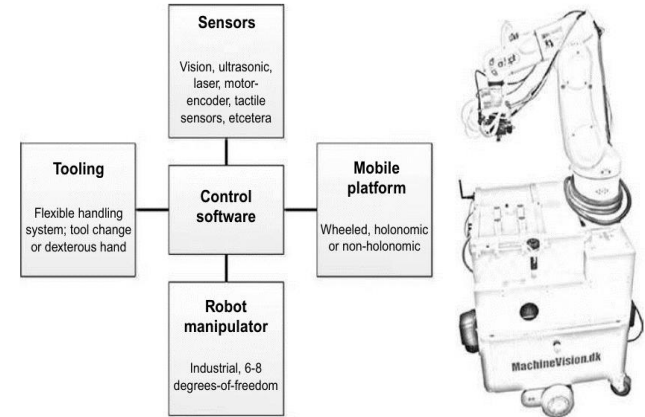


- **Integração** dos sistemas para realizar uma **missão tele-operada** do manipulador móvel para tarefas de **Bin-Picking**.



# Manipulação Móvel e Bin-Picking

➤ O que é um manipulador móvel?



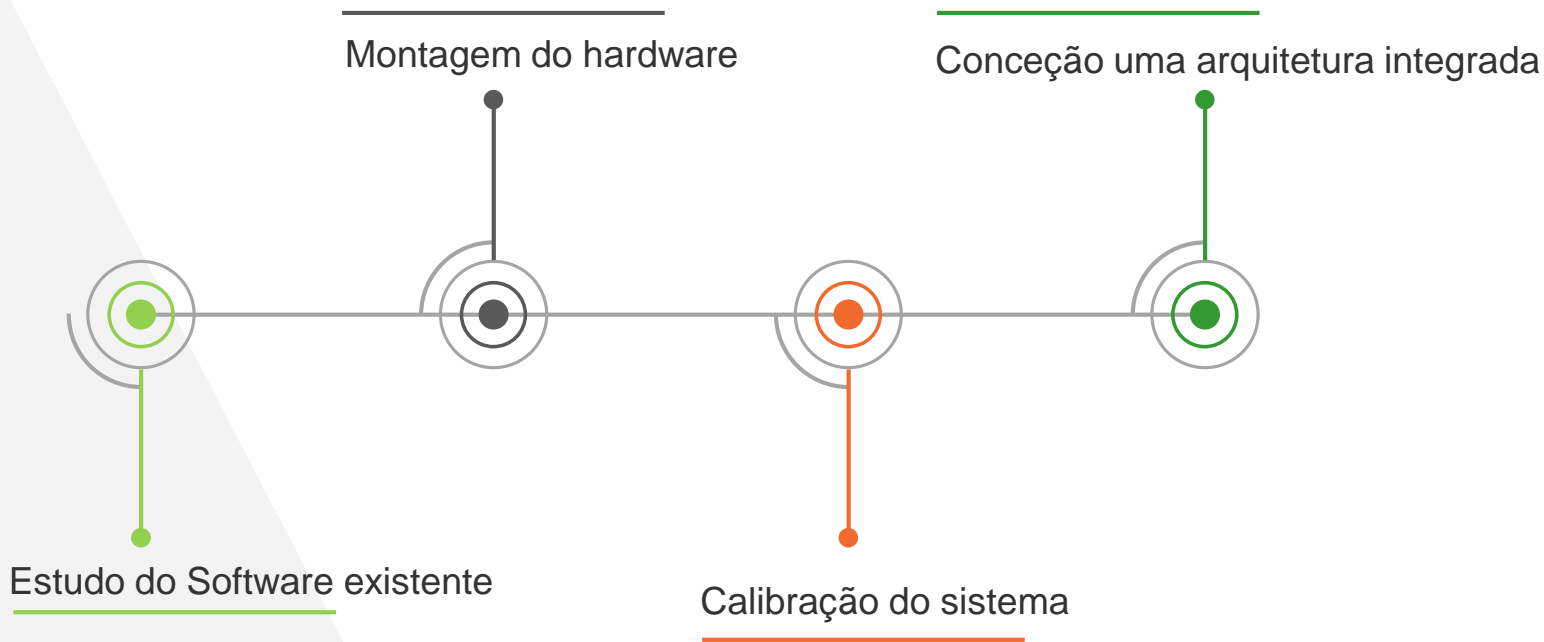
➤ O que é o Bin-Picking?



# Problemas



# Plano de ataque



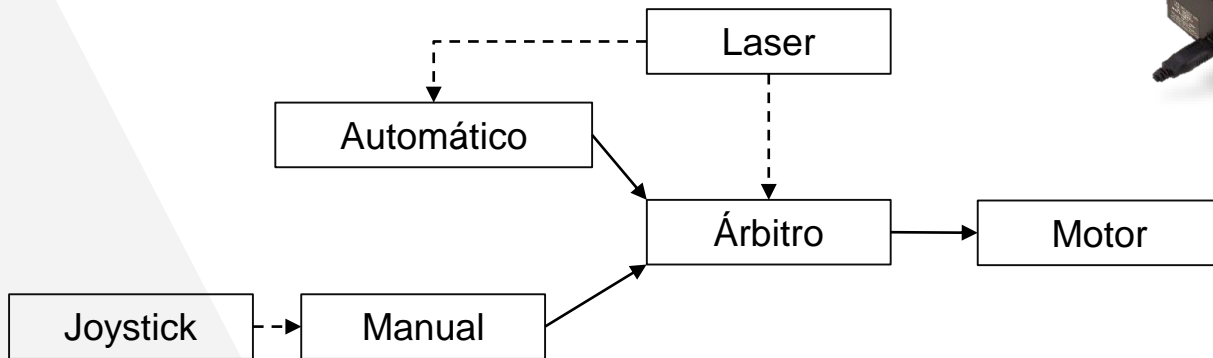
# Infraestrutura experimental: Software

- **Compreender, instalar e atualizar** as ferramentas desenvolvidas.



# Software: Plataforma Móvel

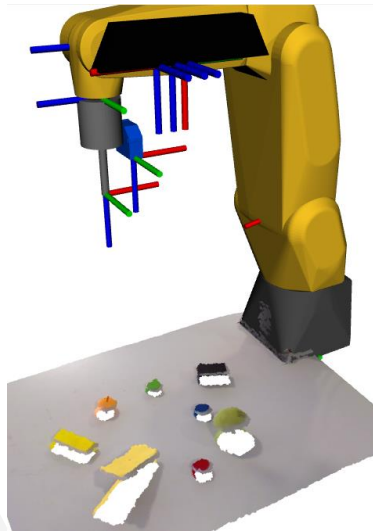
- Mapeamento
- Sistema de Localização
- Modo Automático e Semi-Automático



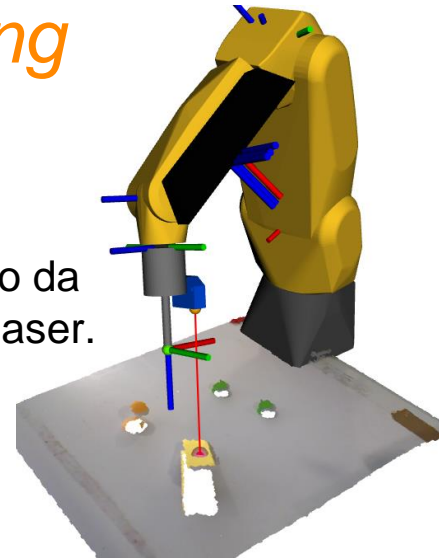


# Software: Manipulador para *Bin-Picking*

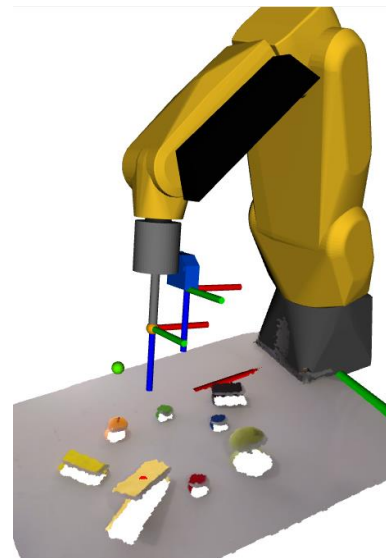
1. Análise do espaço de trabalho e calcula o centroide de cada objeto.



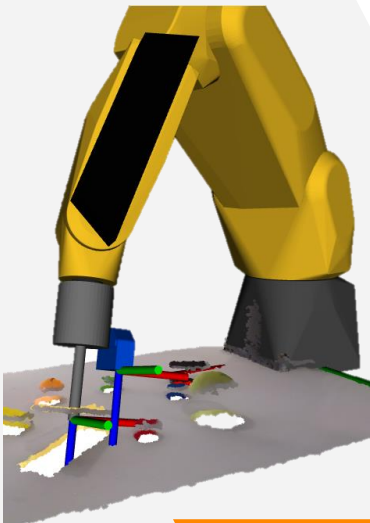
2. Medição da distancia laser.



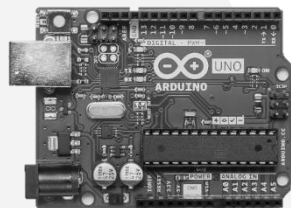
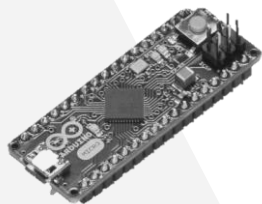
3. Movimento para o ponto de aproximação.



4. Picking.



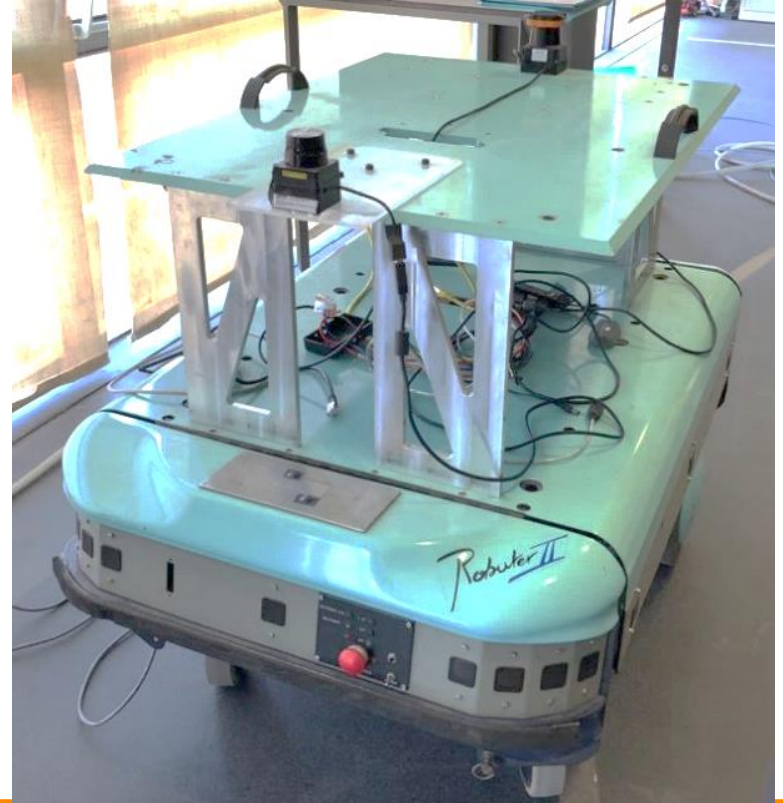
# Infraestrutura Experimental: Hardware



# Infraestrutura Experimental: Hardware



E agora?





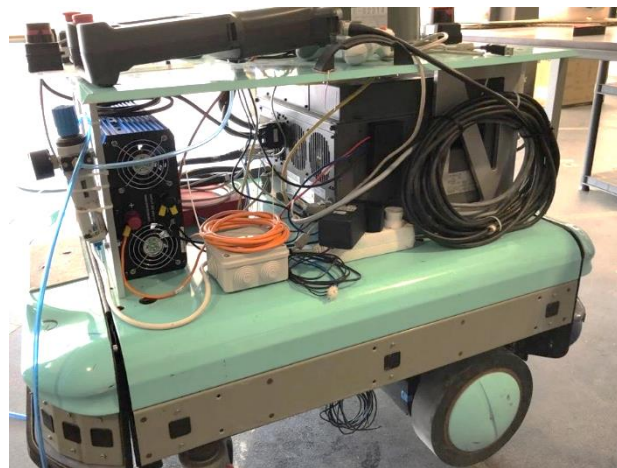
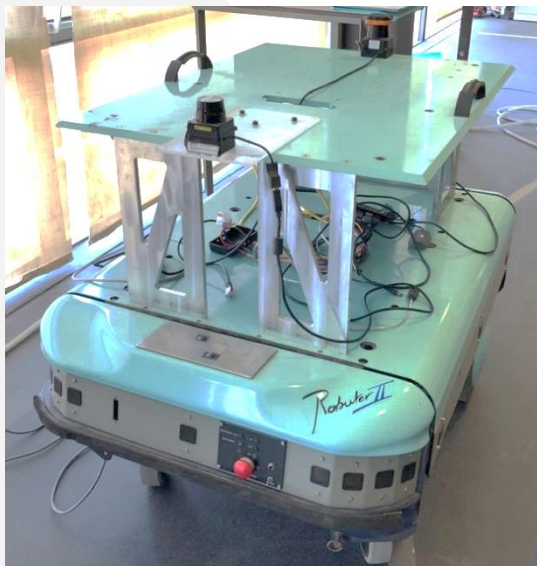
Mini-PC



HUB USB

Inversor DC-AC  
48-230V

Transformador 230-12V



# Calibração

O que é a calibração?

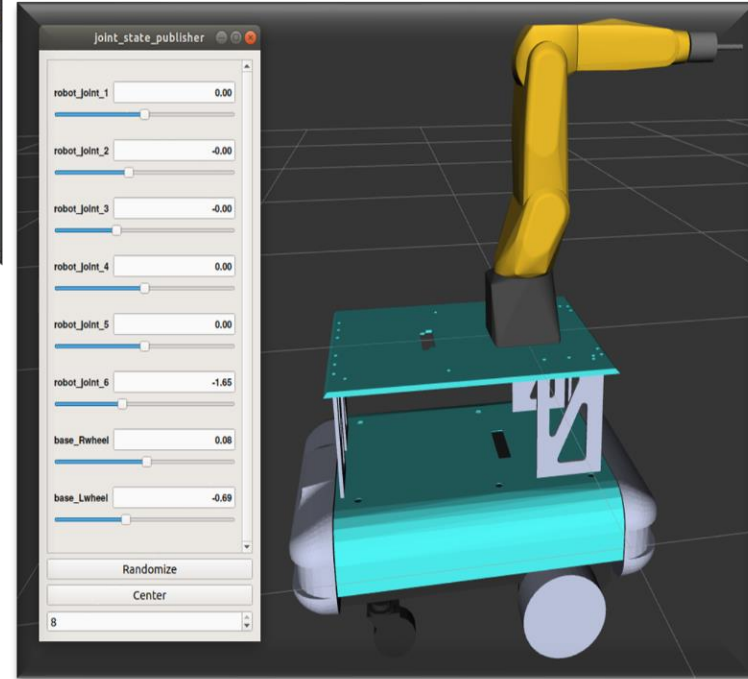
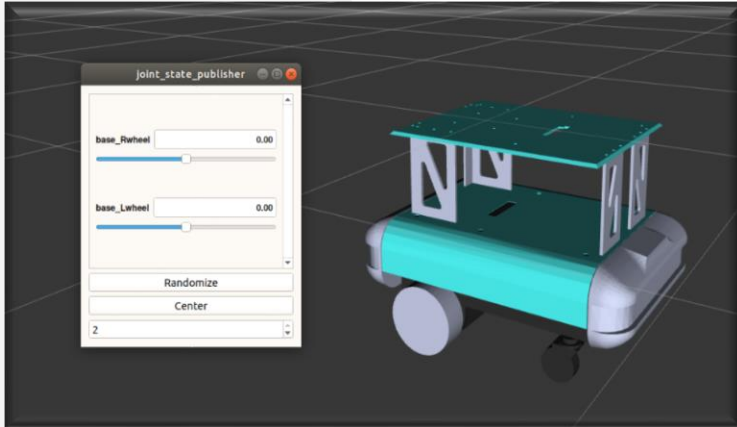
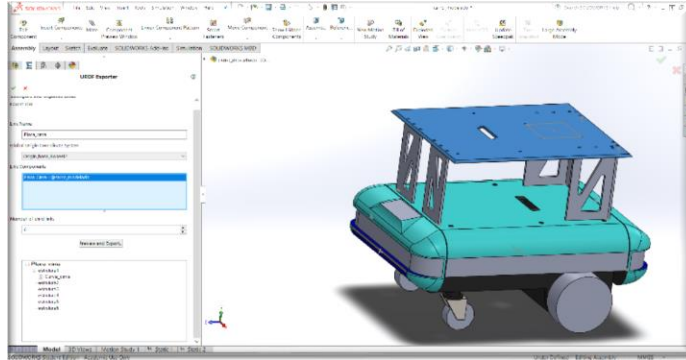
Para que serve?

# URDF Plataforma + Manipulador

\*URDF - Unified Robot Description Format

  
SOLIDWORKS

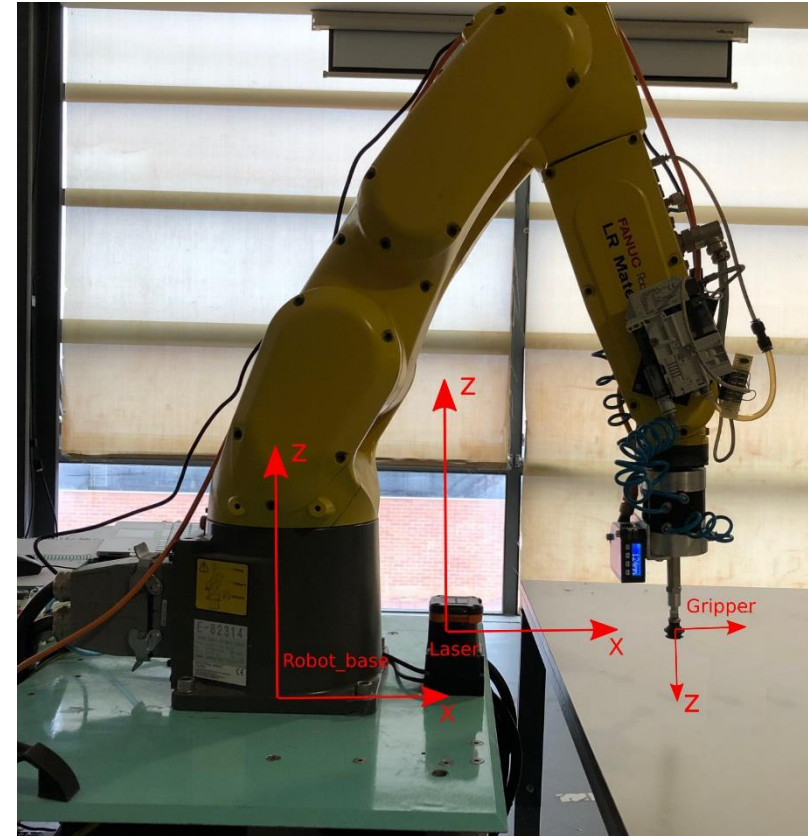
sw\_urdf\_exporter



# Calibração: Lasers Hokuyo-Manipulador

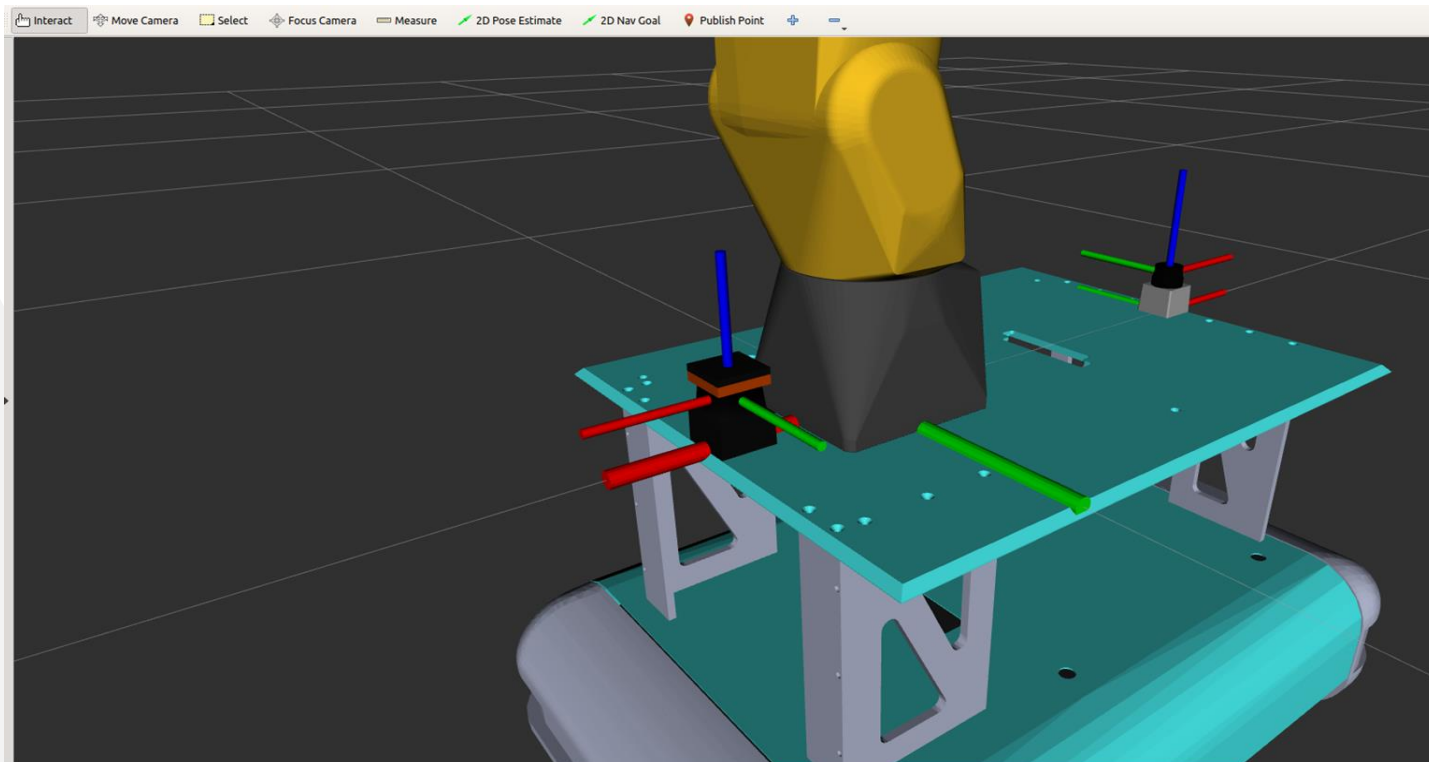
## Processo:

1. Ponta do *gripper* perpendicular à plataforma;
2. Movimento vertical até a detecção pelo laser;
3. Registo da coordenada Z dada pelo braço.
4. Medição manual do desfasamento em X.





# URDF do Sistema com os Lasers

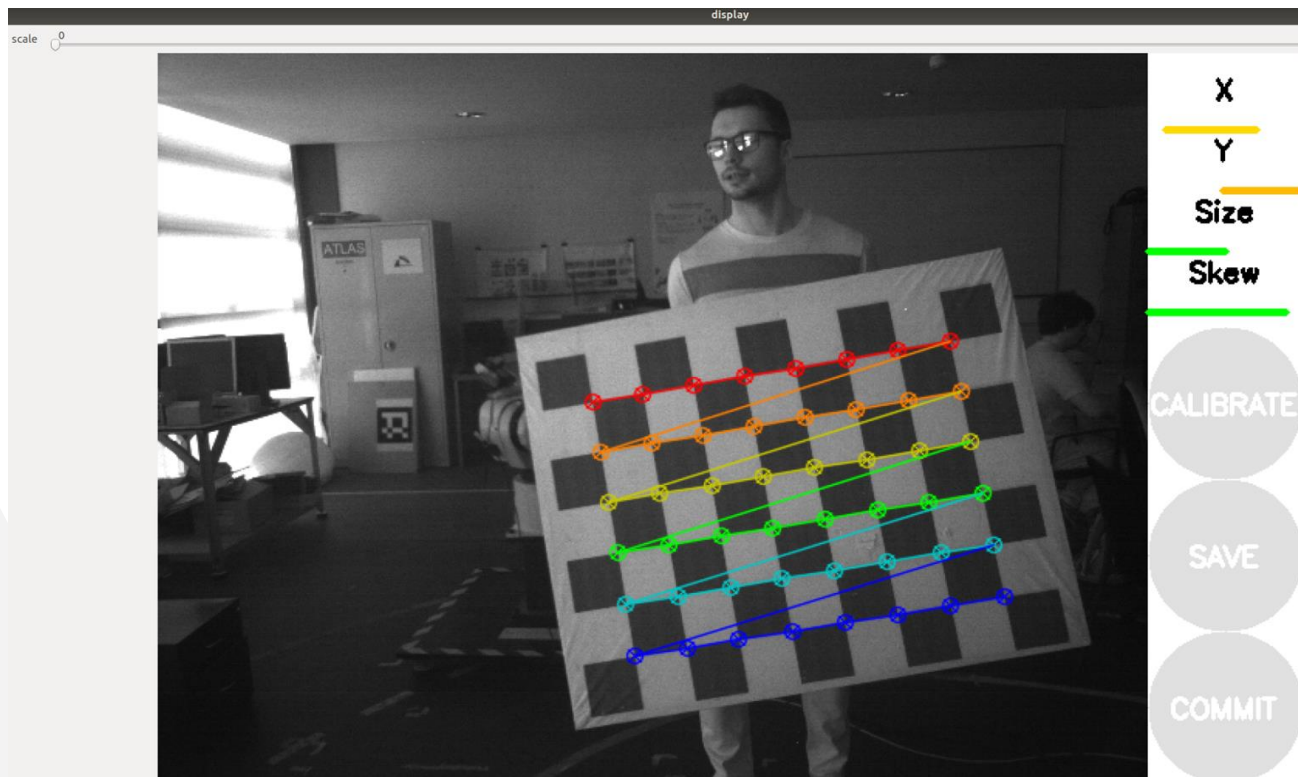


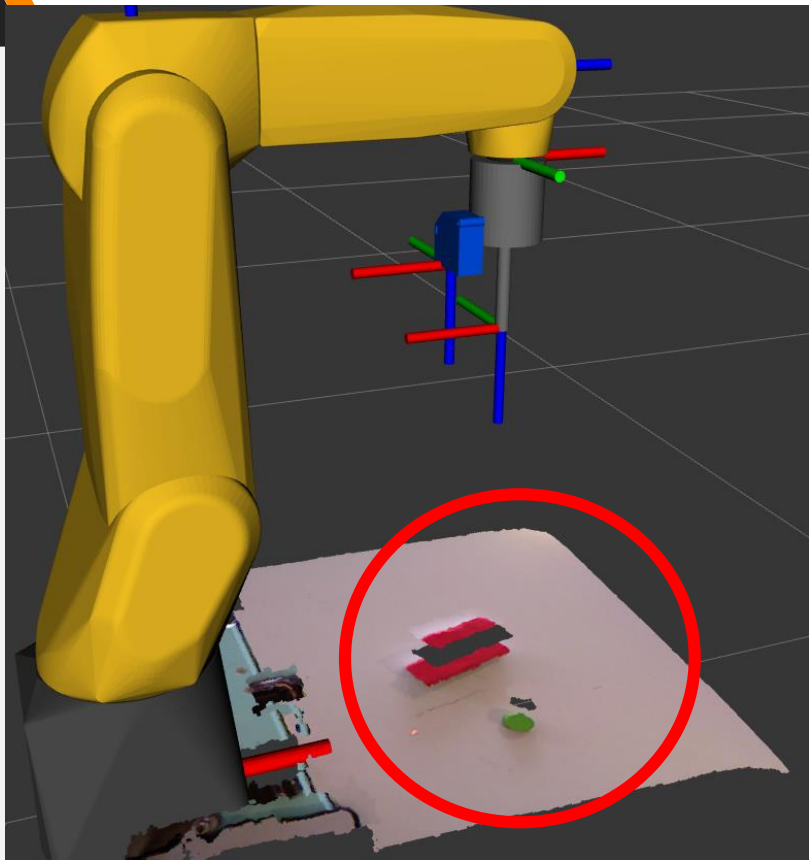
# Calibração: Câmera Kinect-Manipulador

- Intrínseca
- Extrínseca

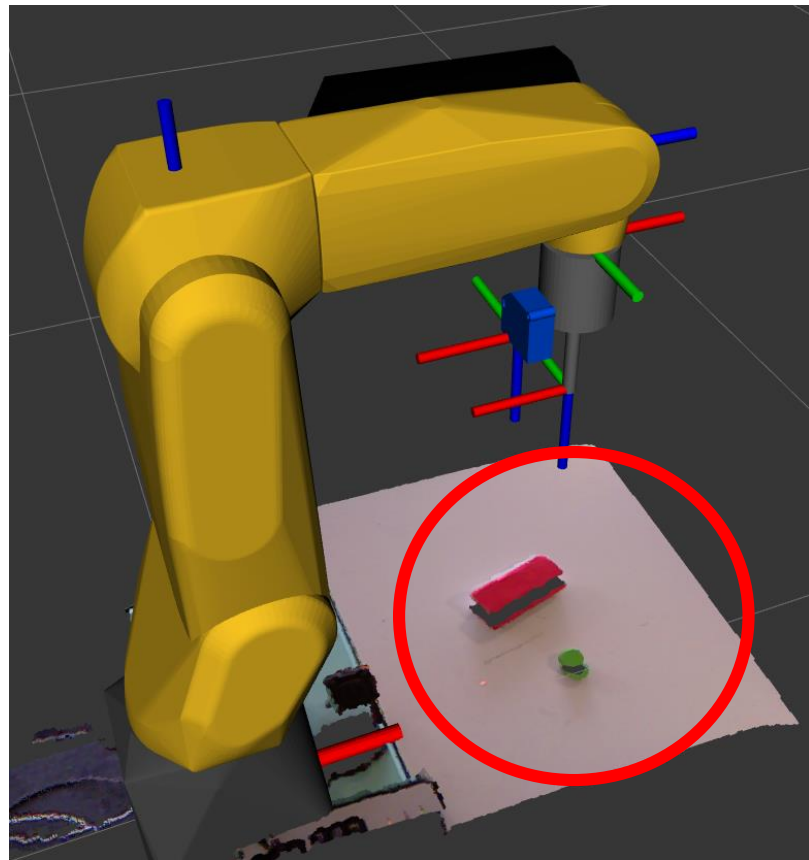


# Calibração Intrínseca





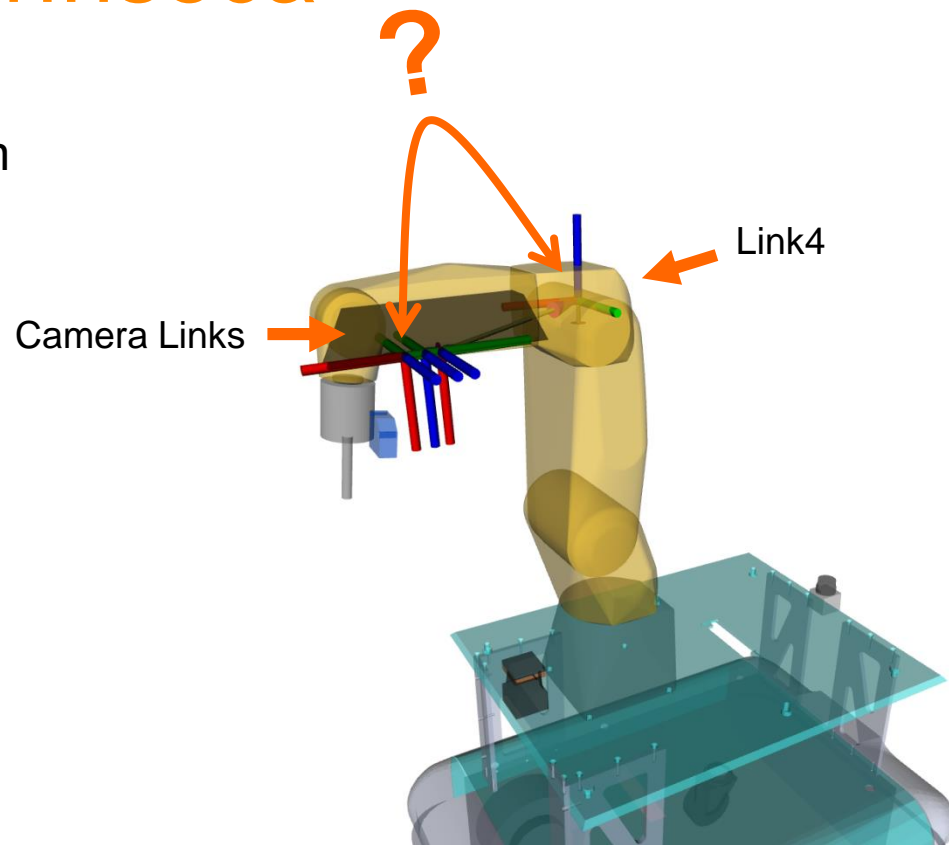
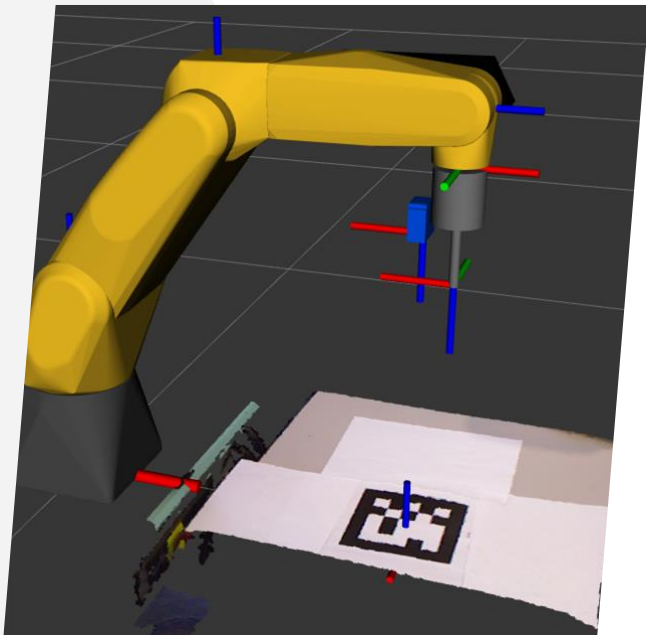
Parâmetros default



Pós-calibração

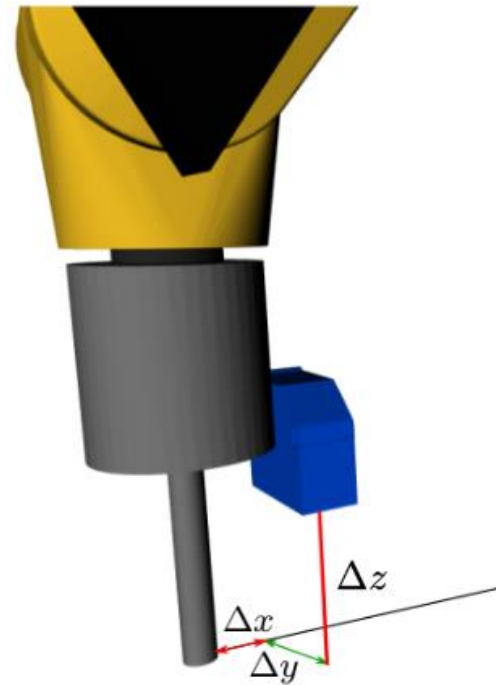
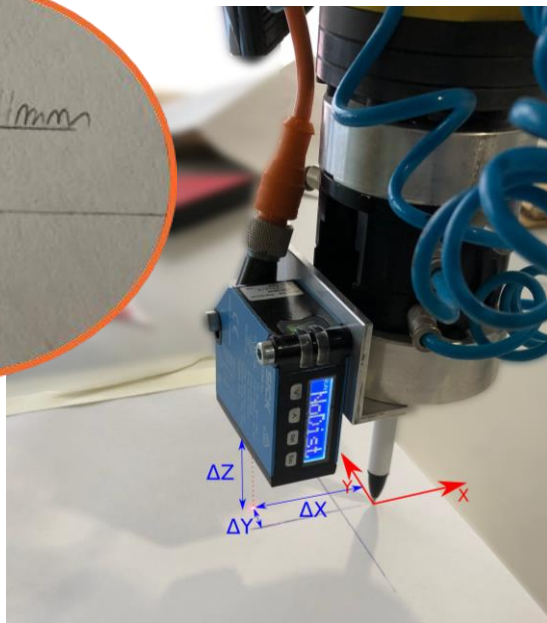
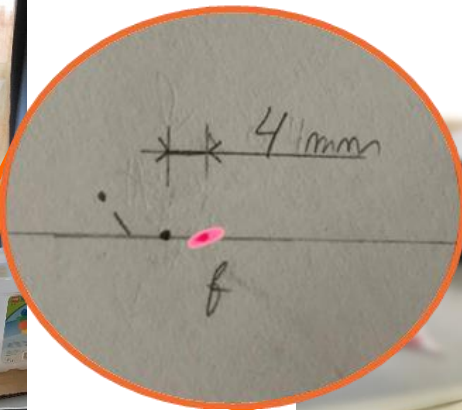
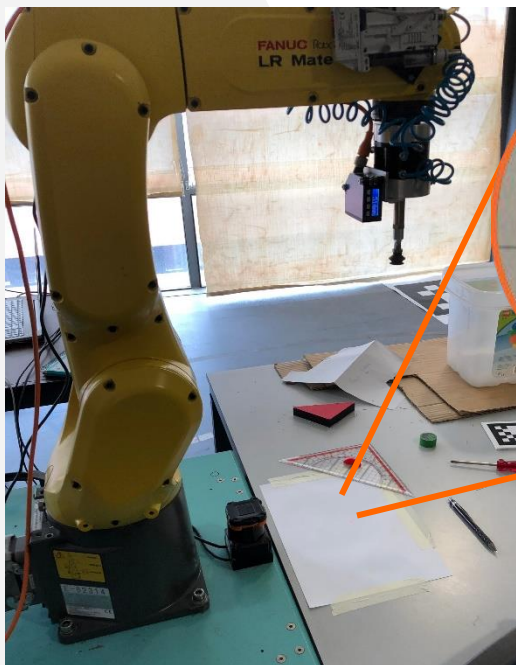
# Calibração Extrínseca

- ❑ visp\_hand2eye\_calibration
- ❑ aruco\_detect



# Calibração: Laser 1D - Manipulador

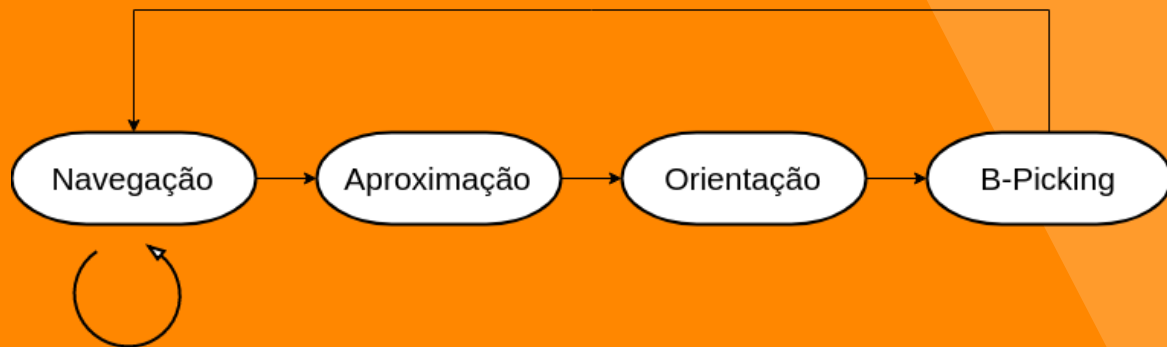
- Metodologia adotada do trabalho anterior.



# Sistema Totalmente Calibrado



# Arquitetura Integrada





## Controlo Entre Estados

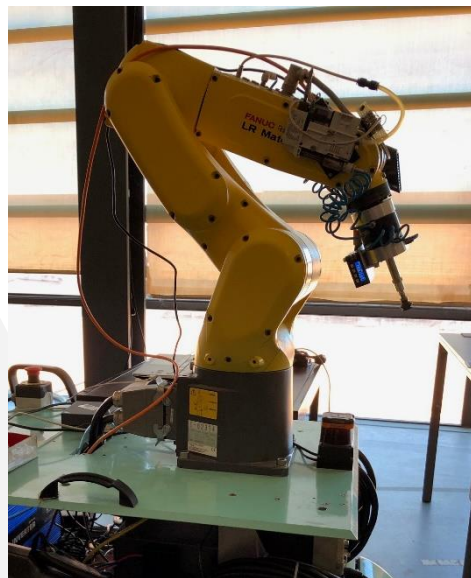
- ❑ Criação de um arbitro global para controlar o processo.
- ❑ Início do processo semi-autónomo dado pelo botão A do comando Xbox.
- ❑ Criação de um servidor de ações para configuração do manipulador.



Estado 1:  
Navegação



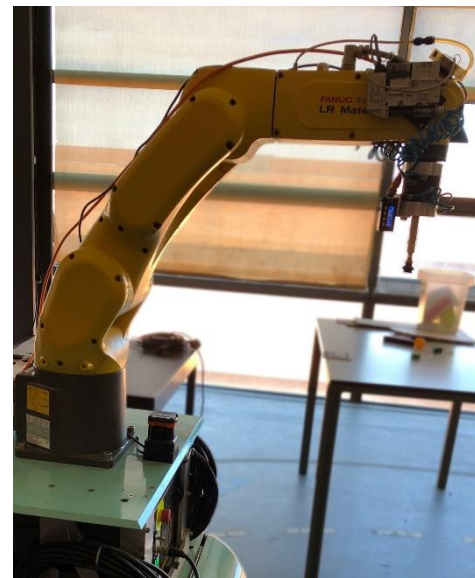
Estado 2:  
Aproximação



Estado 3:  
Orientação



Estado 4:  
Bin-Picking



# Estado 1: Navegação



Envio constante de velocidades, gerava interferências com outros estados.

Solução:

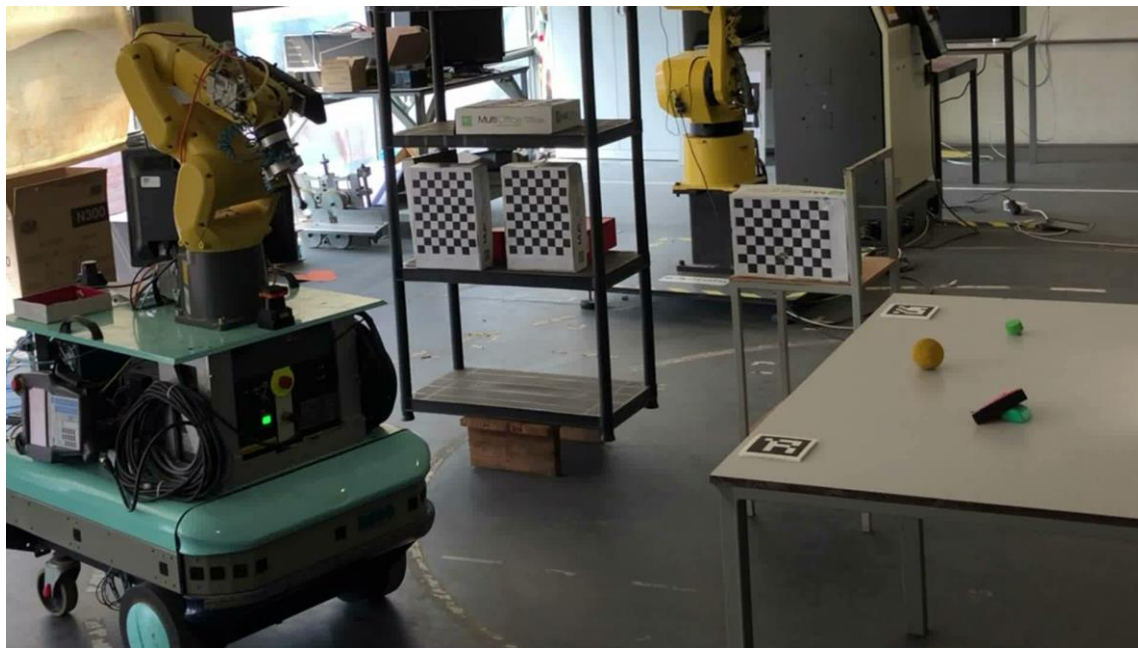
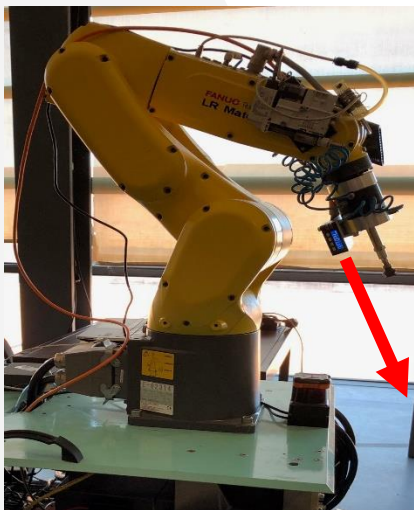


- Modificação de nós responsáveis pela navegação: para atuar apenas no estado 1;

## Estado 2: Aproximação

➤ Criação de ação ROS para a tarefa de aproximação:

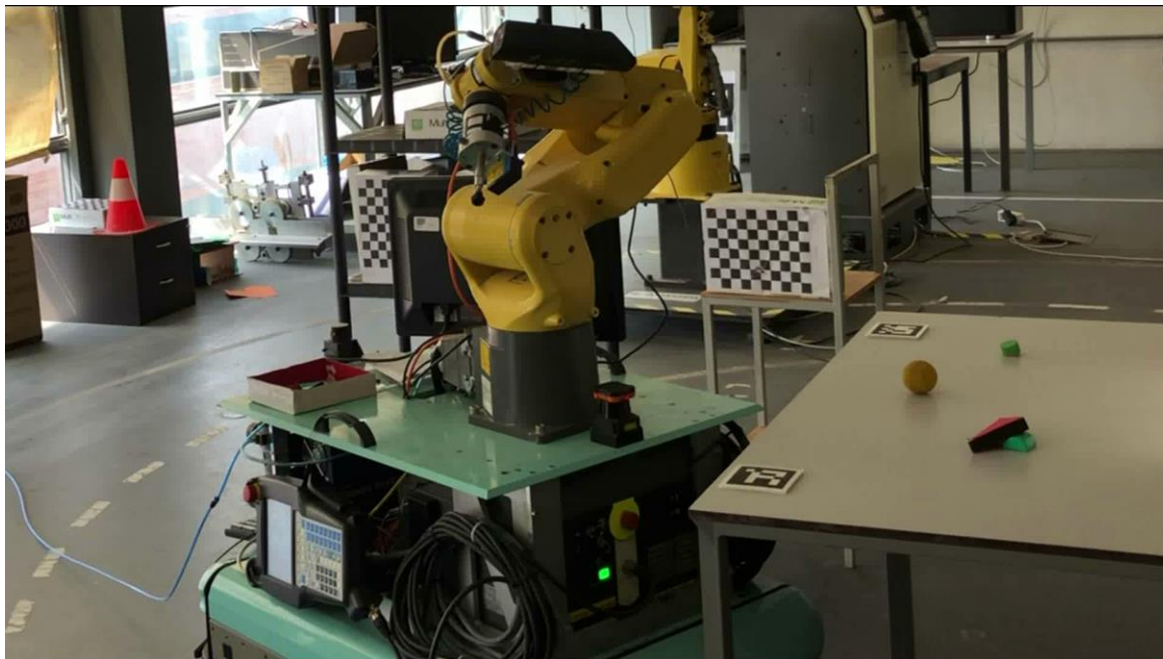
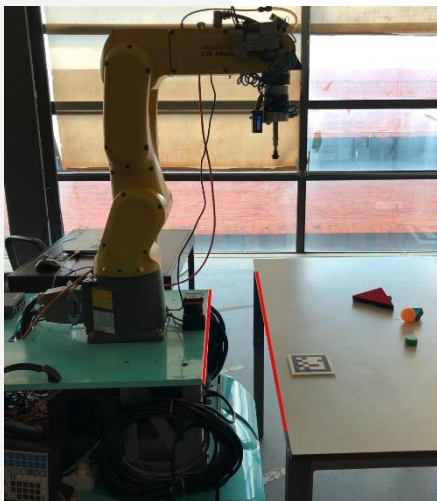
□ Utilização do laser 1D.



## Estado 3: Orientação

➤ Criação de ação ROS para a tarefa de orientação:

□ Utilização da câmara.



## Estado 4: Bin-Picking

- Criação de uma ação ROS para o processo de Bin-Picking.
  - Processo não completamente fluído e bastante limitado para utilização direta.
    1. Nós preparados para apenas uma execução.
    2. Necessário inúmeros inputs do utilizador no decorrer do processo.
    3. Lança e termina nós durante o processo.



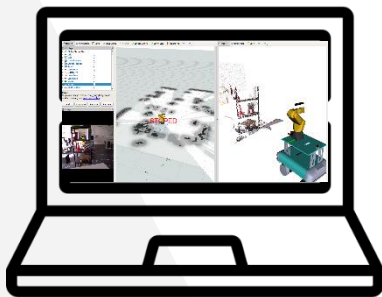
## Solução:

- Criação de novos nós (**de Serviços**) para cálculo:
  - Dos centroides e dos vetores normais aos objetos.
  - Dos pontos de aproximação.
  - De um valor médio de leitura do laser.



# Controlo Remoto

- Efetuar navegação;
- Supervisão do sistema em tarefas autónomas;
- Auxílio.

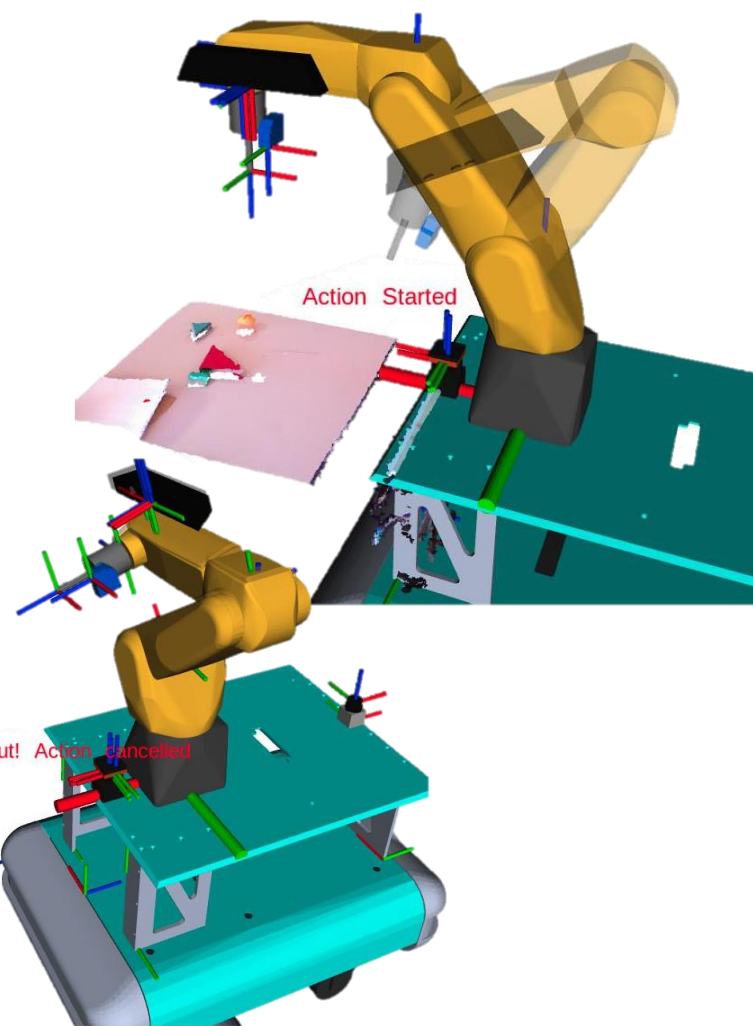
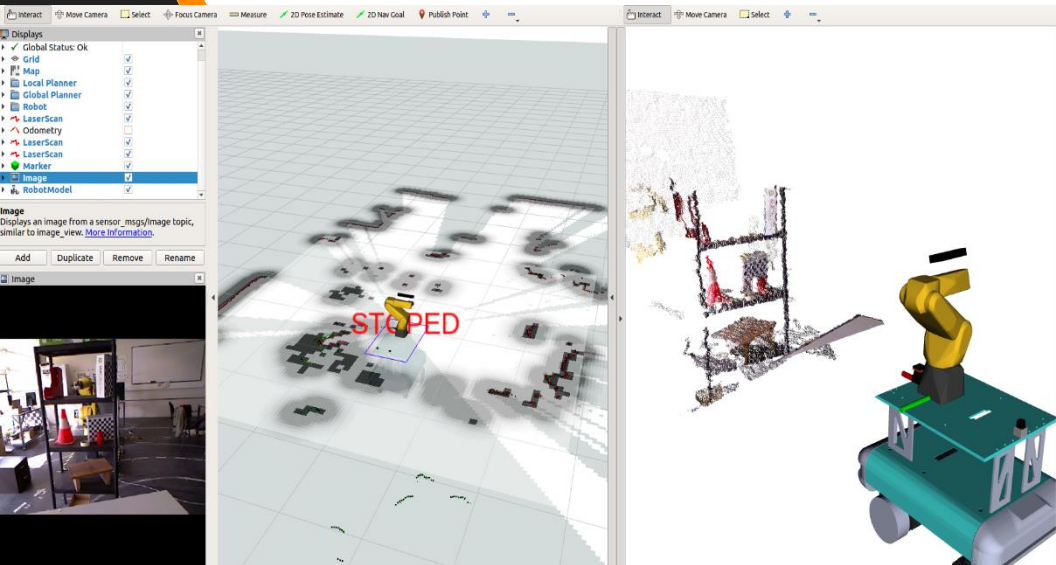


❖ ROS Distribuído.





# Interface





# Testes e Resultados

- Controlo Remoto;
- Ambiente 1 e Ambiente 2;
- Influência da Velocidade;
- Análise de trajetórias Retas;

## Testes e resultados: controlo remoto



- Implementação do controlo remoto realizada com sucesso.



- No entanto, existe um *delay* muito grande.

Devido a:



Quantidade de informação necessária à interface demasiado elevada para a capacidade do router.



# Testes e resultados: Ambiente 1 e 2

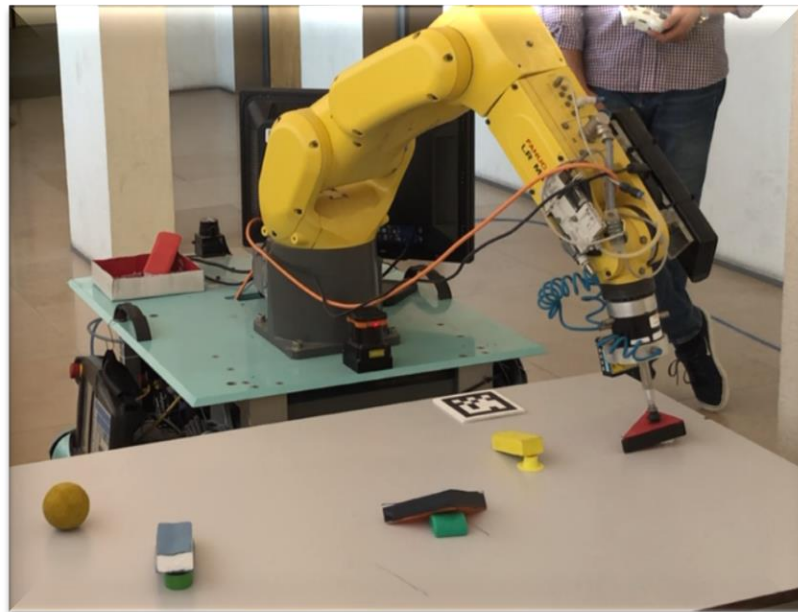
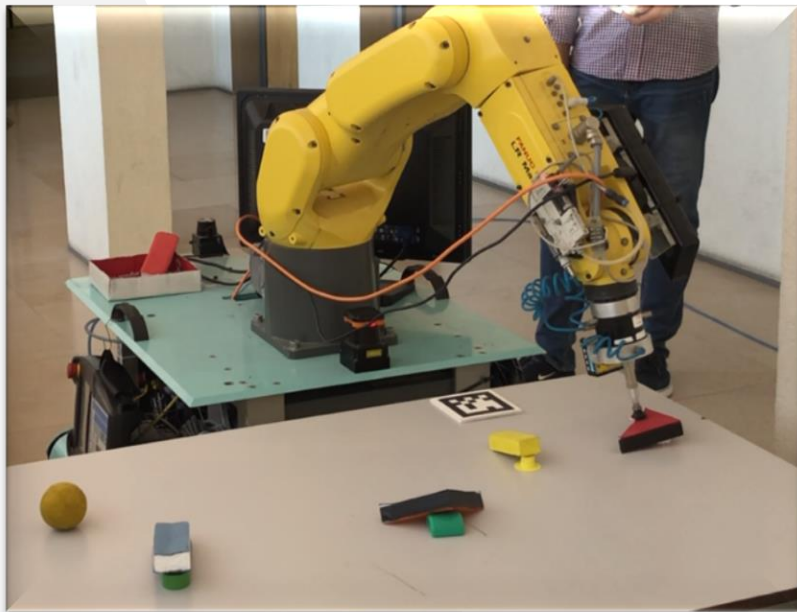


## Testes e resultados: Ambiente 1 e 2

- Realizados **11 testes** no Ambiente 1 e **26 testes** no ambiente 2.
- A **tele-operação funcionou 100%** dos casos, enquanto que o **modo automático funcionou em 62%** dos casos.
- A arquitetura proposta, ou seja, o funcionamento da máquina de estados, funcionou em **96% dos casos**.
- Nos casos onde o modo automático de navegação cumpriu o objetivo, a taxa de **sucesso, à primeira tentativa**, foi de **75%**. No entanto, se for considerado **duas tentativas**, a taxa de **sucesso** é de **100%**.

## Testes e resultados: Ambiente 1 e 2

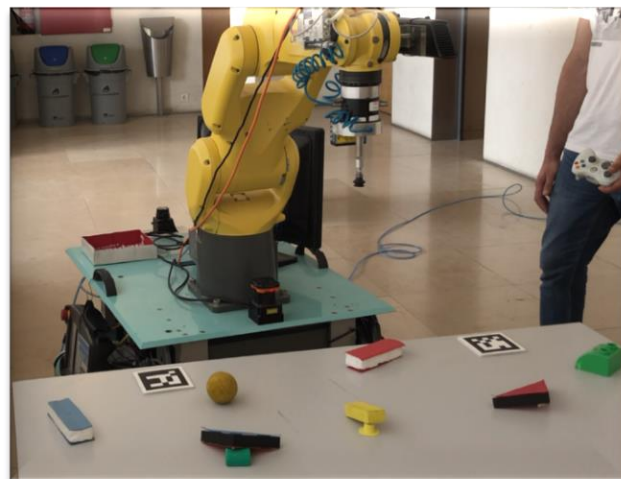
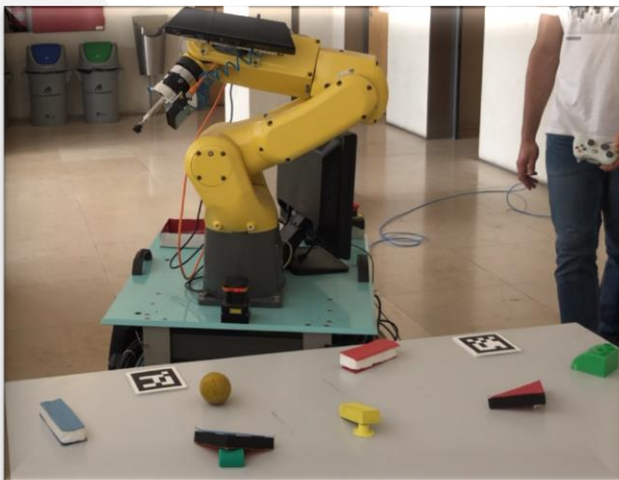
Processo de *Bin-Picking* inconsistente...



... no entanto, o sistema é capaz de realizar a tarefa.

## Testes e resultados: Análise de velocidades

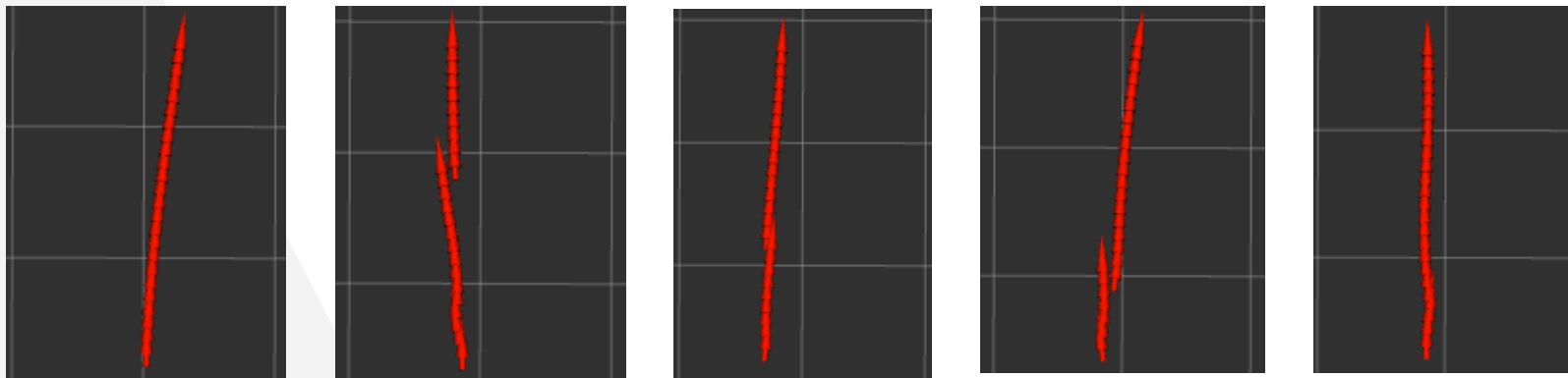
- Velocidade linear no estado de aproximação, velocidade angular no estado de orientação e velocidade do braço robótico.
- **O aumento da velocidade não comprometeu o funcionamento da solução proposta**, no entanto compromete a exatidão dos estados 2 e 3.





## Testes e resultados: Análise de trajetórias retas

- ▶ Para verificar a influência das rodas castor durante o estado de aproximação, foram realizados 5 testes de trajetórias retilínea para uma distância de 2.5m.



- ▶ A análise das trajetórias retas comprova a **necessidade do estado de orientação** e revela falhas na hodometria.

Será possível uma  
ação cooperativa?



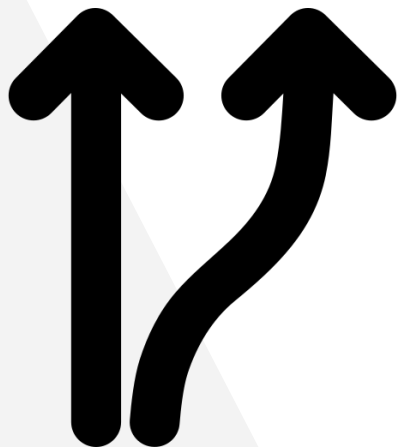
Cinemática Integrada

## Do estudo efetuado...



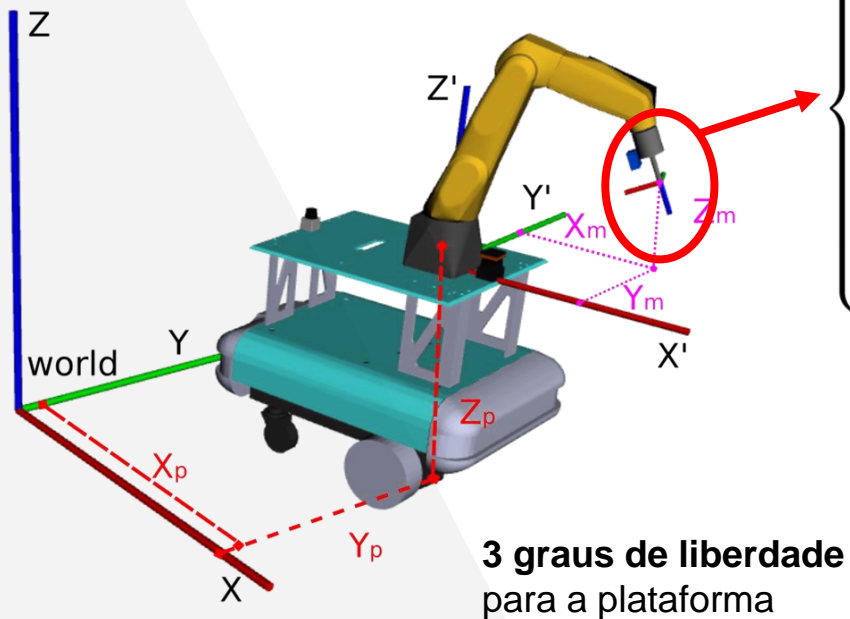
- Sistemas intensivamente estudados ao longo dos anos, sem solução única para todos os problemas, até ao momento.
- Plataforma móvel → Sistema não-holonómico → aumenta a complexidade do sistema.
- Possibilidade de aplicabilidade prática no ROBONUC.

# Modelação Cinemática: Modelos Propostos

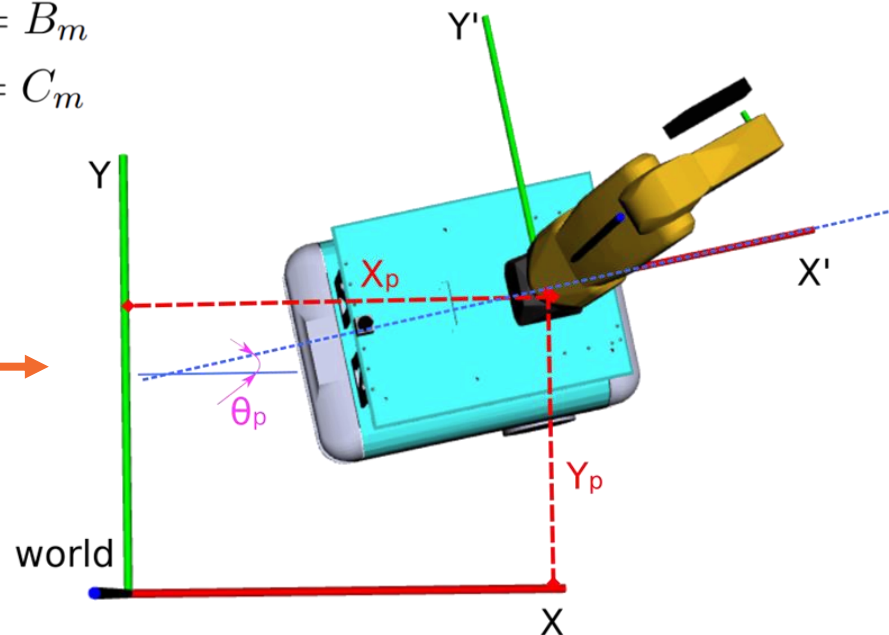


- ▶ **Abordagem 1**
- ▶ **Abordagem 2**

# Abordagem 1



$$\begin{cases} X_{ee} = X_p + X_m \times \cos \theta_p - Y_m \times \sin \theta_p \\ Y_{ee} = Y_p + X_m \times \sin \theta_p + Y_m \times \cos \theta_p \\ Z_{ee} = Z_m + h_p \\ A_{ee} = \theta_p + A_m \\ B_{ee} = B_m \\ C_{ee} = C_m \end{cases}$$

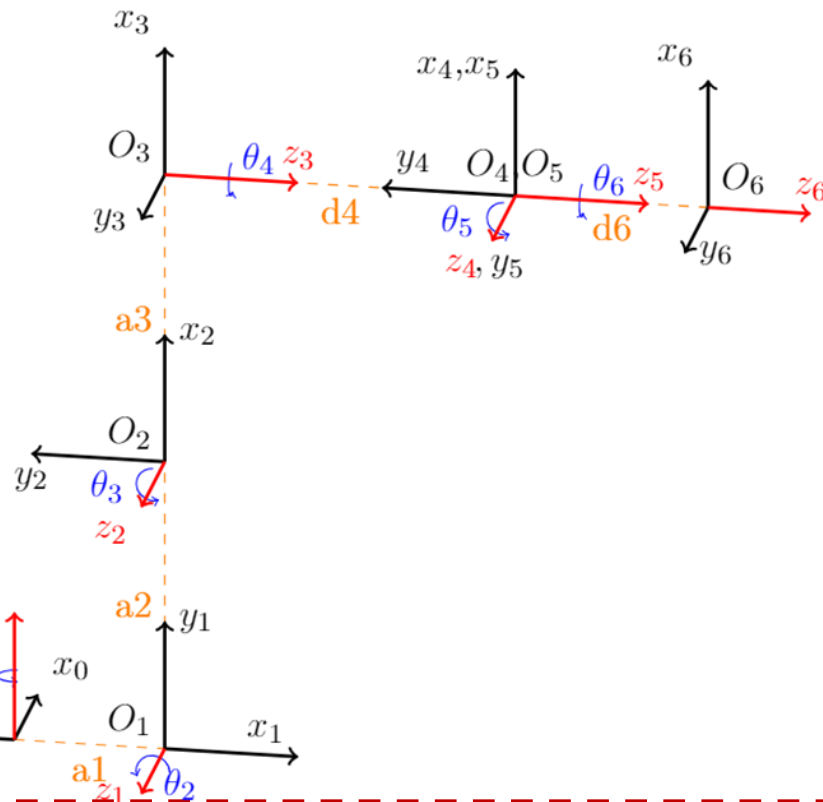
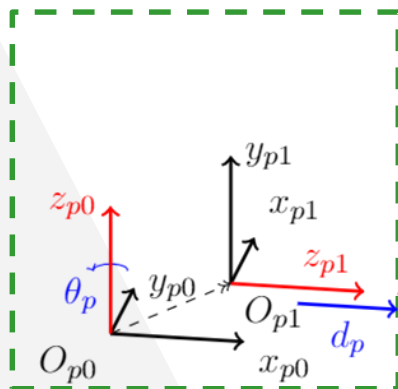


# Abordagem 2

## Simplificação RP+Braço

\*RP= Rotacional + Prismática

2 graus de liberdade  
para a plataforma



## Metodologia:

- ▶ Obtenção da posição e orientação do *end effector* relativamente ao referencial mundo e respetiva diferenciação para o cálculo do Jacobiano ( $J$ );
- ▶ Definir a trajetória e dividir em curtos intervalos ( $d\vec{r}$ );
- ▶ Calcular os valores incrementais das juntas através de:

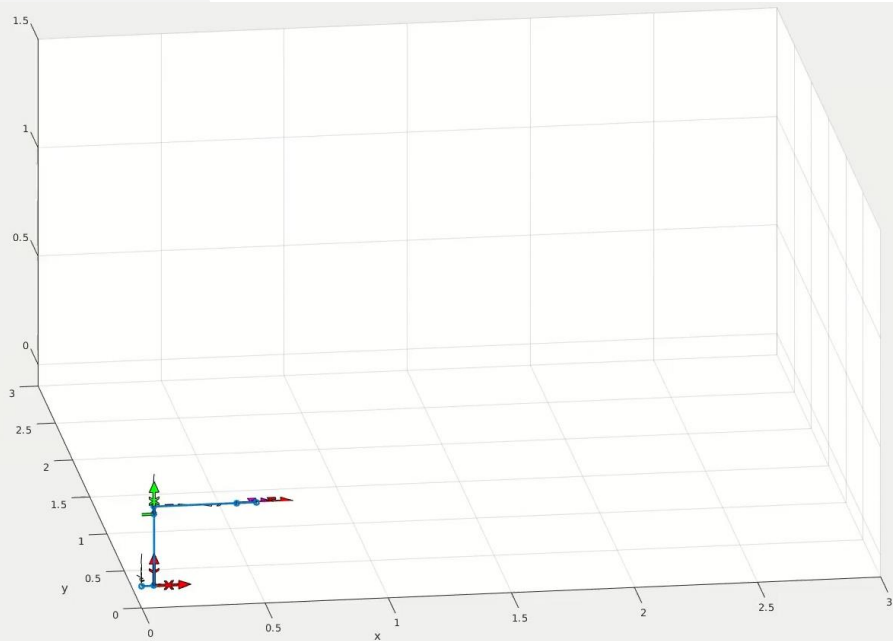
$$\frac{d\vec{q}}{dt} = J_I \times \frac{d\vec{r}}{dt}$$

- ▶ Cálculo e representação da posição do *end effector* e das origens de cada elo.
- ▶ Cálculo da manipulabilidade do braço com base na equação:

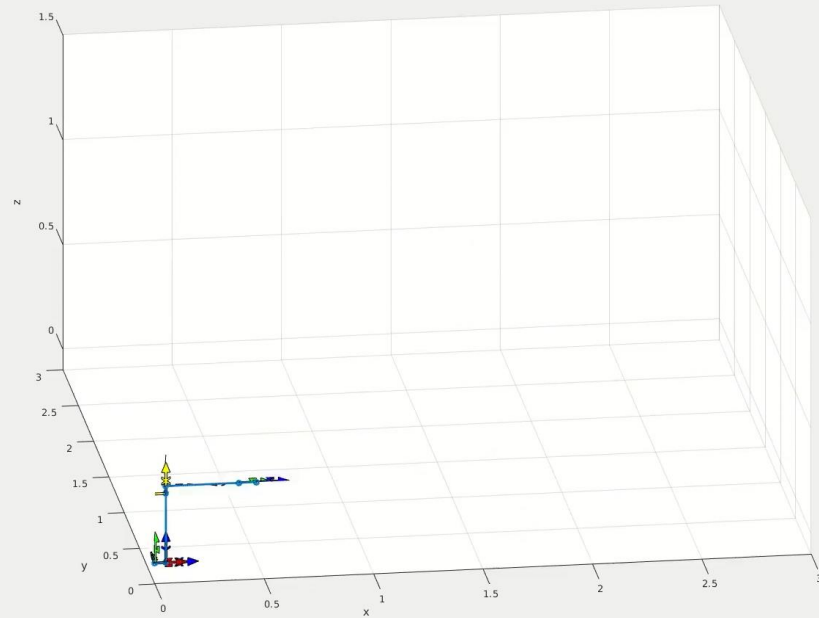
$$\omega_a = \sqrt{\det(J_a(q_a) \times J_a^T(q_a))}$$

# Implementação Prática: Trajetória 1

## Abordagem 1



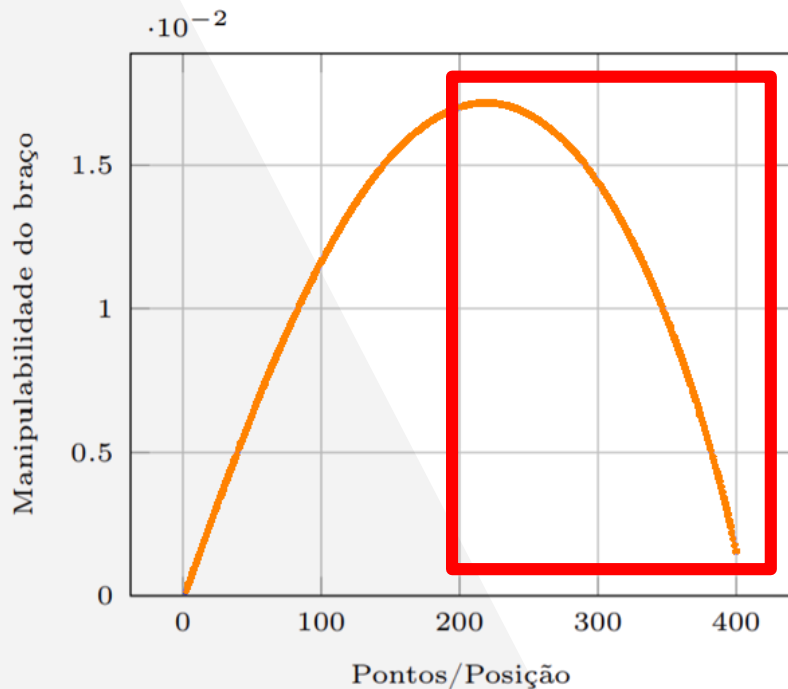
## Abordagem 2



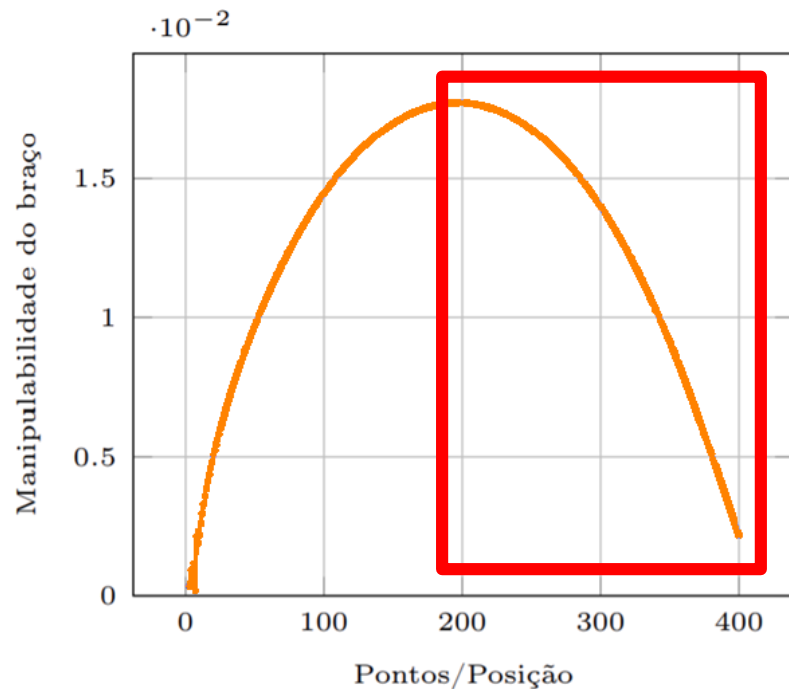


# Trajetória 1: Manipulabilidade do braço

## Abordagem 1

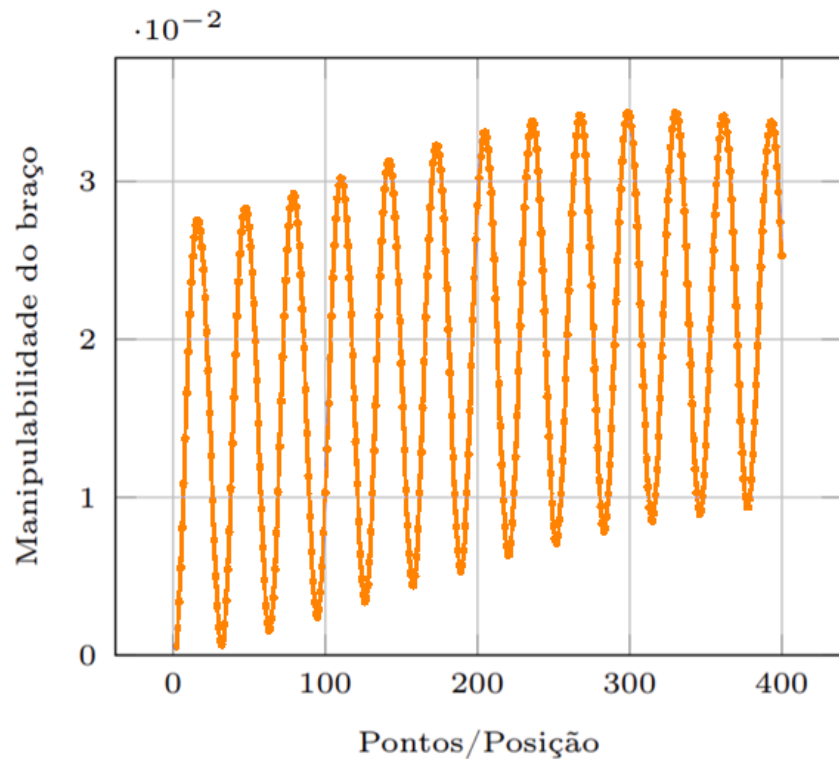
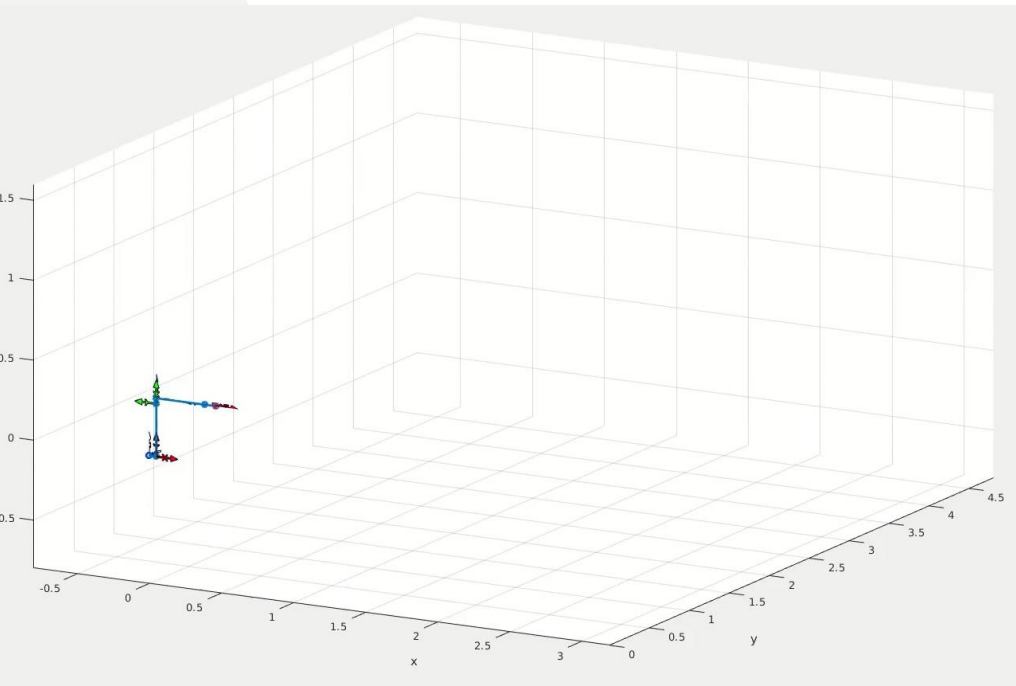


## Abordagem 2



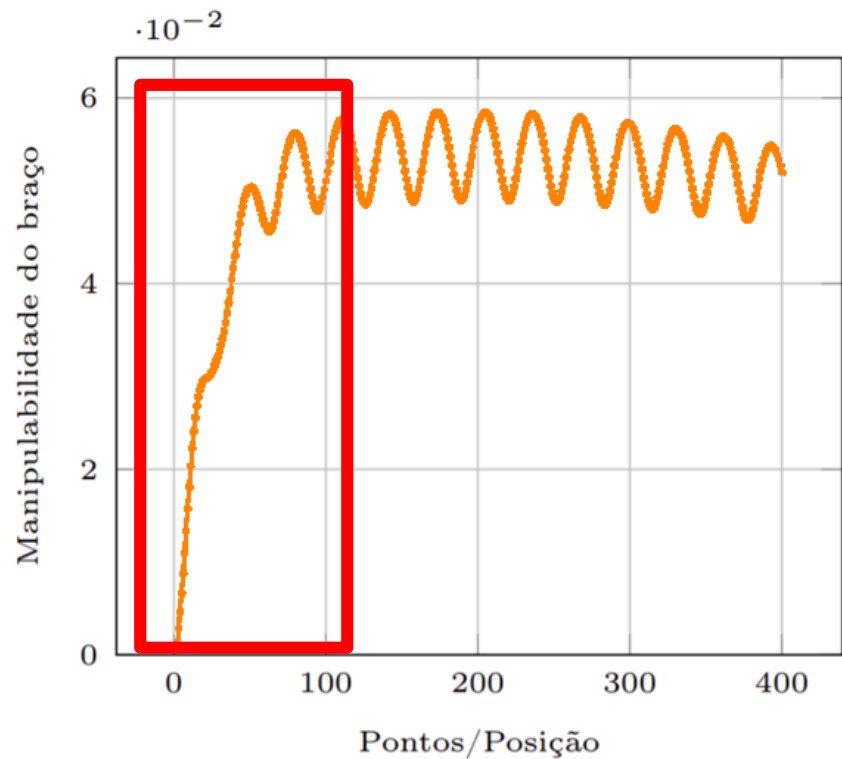
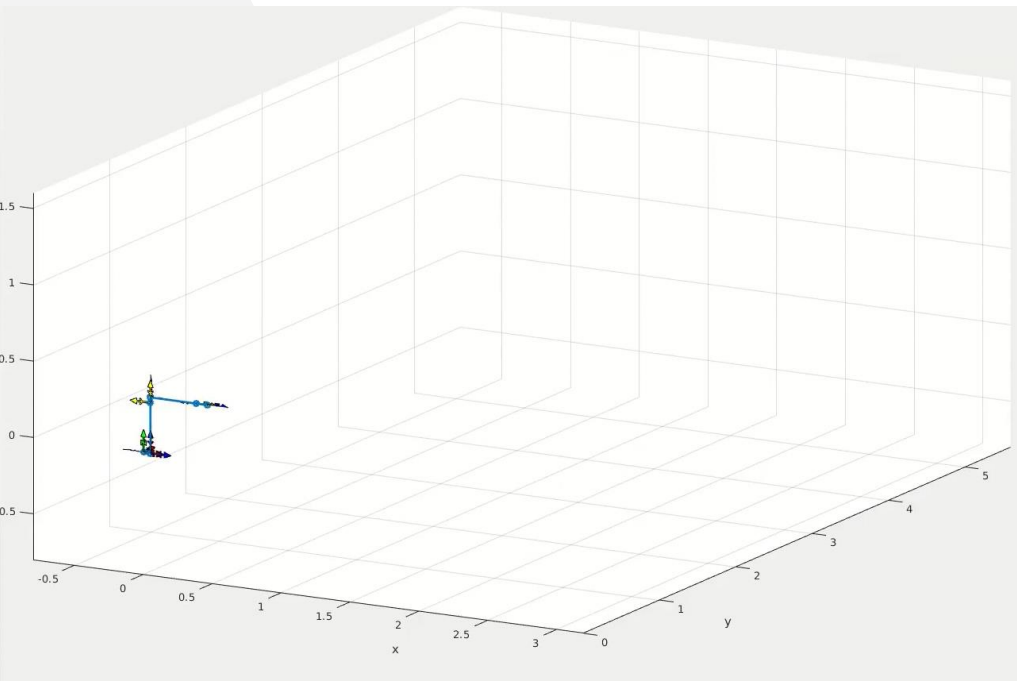
# Implementação Prática: Trajetória 2

## Abordagem 1



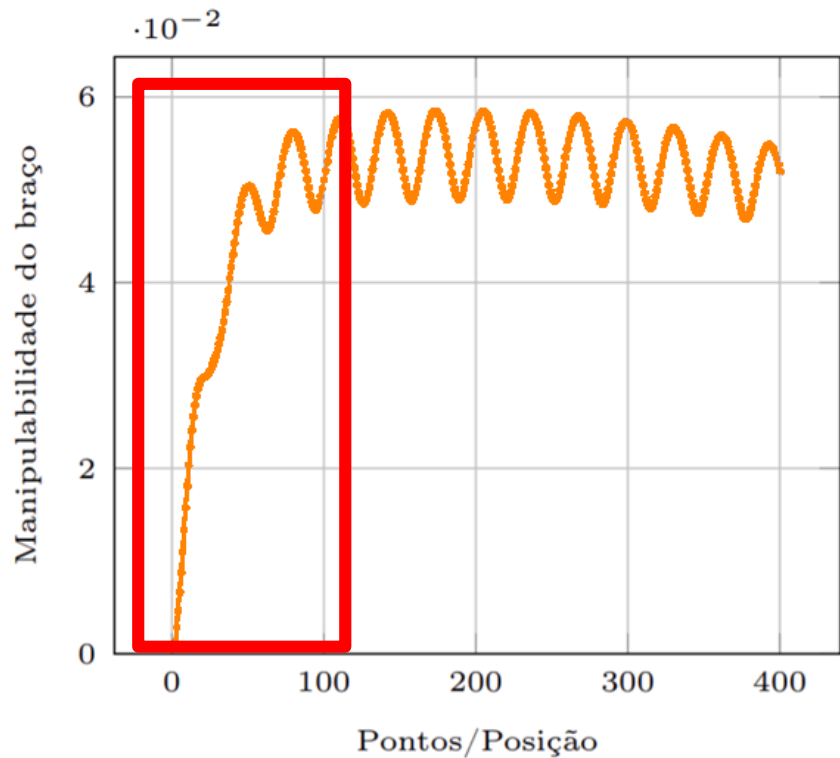
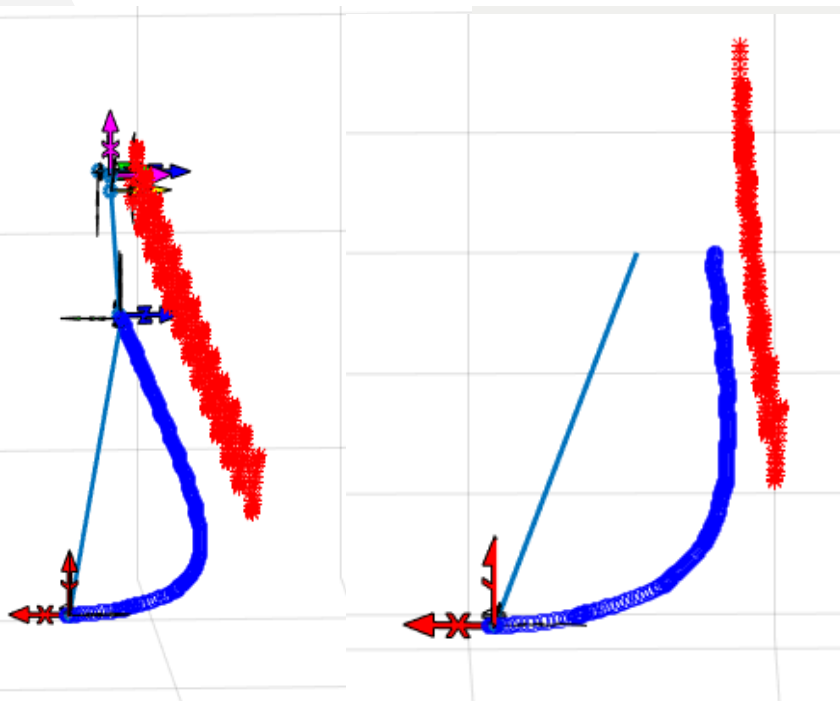
# Implementação Prática: Trajetória 2

## Abordagem 2



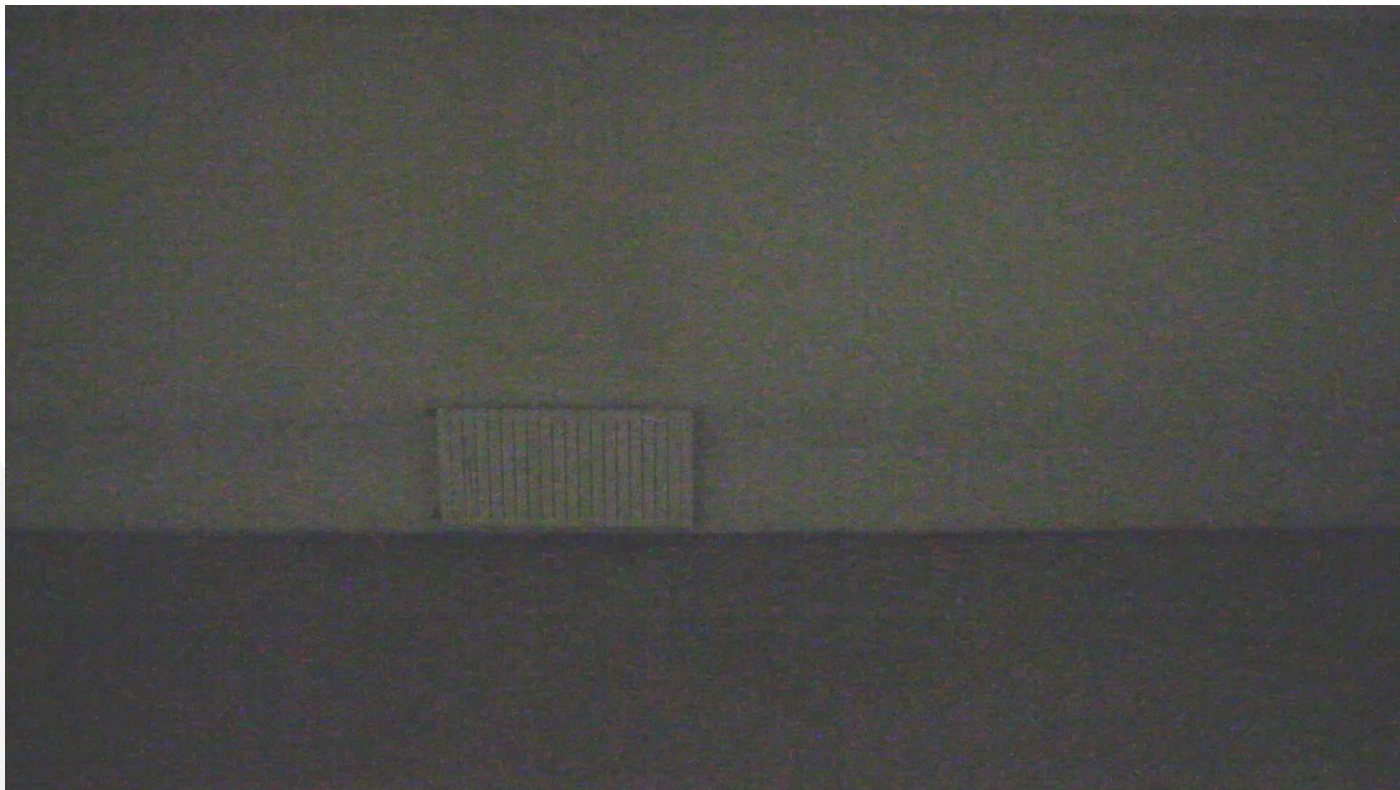
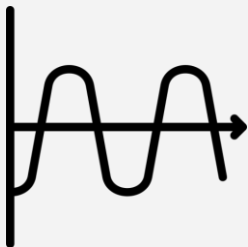
# Implementação Prática: Trajetória 2

## Abordagem 2

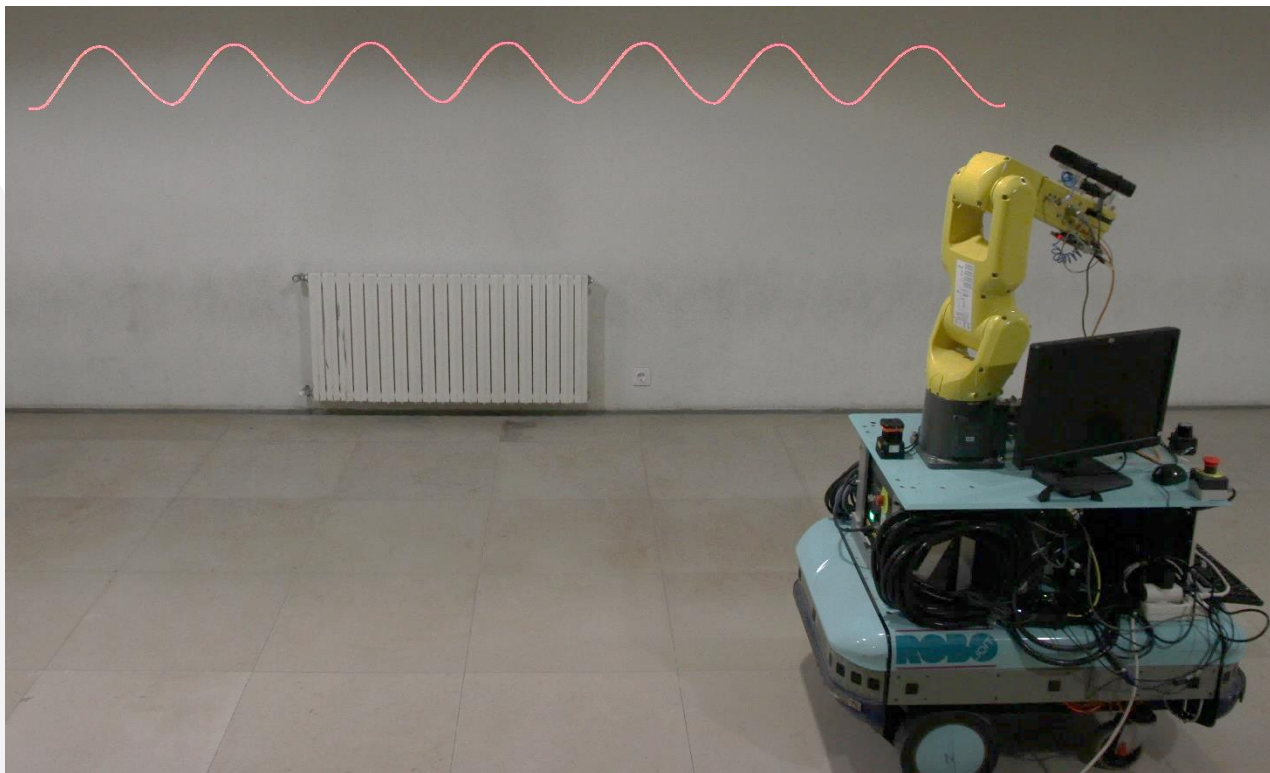


## Demonstração Prática: Trajeto sinusoidal

► **Criação de uma arquitetura** para realização de movimento sinusoidal.



# Trajeto sinusoidal

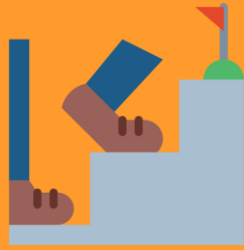


# Conclusões



- Hardware devidamente integrado (instalado e calibrado);
- Conceção de uma máquina de estados robusta para implementação da arquitetura integrada realizada com sucesso;
- Modelação cinemática do manipulador móvel e estudo da sua aplicabilidade prática, contribuindo para desenvolvimentos futuros.

# Trabalho Futuro



- Melhoramento de cada um dos estados utilizando técnicas mais sofisticadas. Especialmente o método de navegação autónomo.
- Formular e implementar um sistema de controlo global, de forma a aplicar uma ação cooperativa.
- Instalação de um reservatório de ar comprimido ou substituição do *gripper* por um elétrico.



# Obrigado!



[tiagoatavares@ua.pt](mailto:tiagoatavares@ua.pt)