

MANIPULADOR ROBÓTICO TIMON-HM

Relatório Parcial do Projeto Manipuladores Inteligentes

Autores:

Jéssica Lima Motta

Leonardo Mendes de Souza Lima

Miguel Felipe Nery Vieira

Vinicius José Gomes de Araújo Felismino

Autores parceiros:

Lucas Cruz da Silva

Tiago Pereira de Souza

Salvador
Bahia, Brasil

Abril de 2020

Título: Manipulador Robótico Timon-HM	
PROD. TEC. BIR - 001 / 2020	Versão 01
Classificação: () Confidencial (X) Restrito () Uso Interno () Público	

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o BIR e Senai Cimatec. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da área.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de pesquisadores que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por pesquisadores e parceiros.

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Jéssica Lima Motta
Leonardo Mendes de Souza Lima
Miguel Felipe Nery Vieira
000 Vinicius José Gomes de Araújo Felismino

Lucas Cruz da Silva
Tiago Pereira de Souza

Manipulador Robótico Timon-HM
Salvador
Bahia, Brasil
Abril de 2020

Keywords:
1. Manipulator. 2. Simulation. 3. Computer vision.

000

SUMÁRIO EXECUTIVO

O projeto de Manipuladores - Desafio 2, também conhecido como **Timon-HM Manipulator** se configura sob o Programa de Formação de Novos Talentos do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Departamento Regional da Bahia - Senai/DR/BA, sendo este o principal fomentador do programa.

O projeto foi considerado como início técnico do projeto o dia 27 de Fevereiro de 2020.

O prazo de execução planejado é de 1 mês e meio.

RESUMO

Timon-HM é um manipulador que está sendo projetado, simulado e construído com o intuito de atender demandas relacionadas ao reconhecimento de marcadores visuais e em resposta realizar o acionamento de interruptores, chaves ou botões. Posteriormente, este mesmo manipulador robótico trabalhará em conjunto com o robô Warthog, desenvolvido pela Clearpath com o propósito de realizar a atividade de investigação em ambiente externo, assim, executando a tarefa de reconhecimento e ação, desta vez, participando de uma simulação de busca e desarme de bombas. O pacote de simulação do manipulador será construído através dos softwares Gazebo, Rviz e MoveIt, ferramentas que possibilitam que todas as atividades praticadas no mundo real tenham sido previamente testadas em ambiente computacional onde se é possível analisar todos os movimentos e limitações do manipulador.

ABSTRACT

Timon-HM is a manipulator that is being designed, simulated and built in order to meet demands related to the recognition of visual markers and in response perform the activation of interrupters, switches or buttons. Posteriorly, this manipulator robot arm will be attached in Warthog, robot designed by Clearpath with the purpose of carrying out the reaserch activity in an external environment and execute task of recognition and action, this time, simulation for searching and defusing bombs. The manipulator simulation package will be built using softwares Gazebo, Rviz and MoveIt, tools that allow all activities practiced in the real world to have been previously tested in a computer environment where it is possible to analyze all the manipulator's movements and limitations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Elos e junta de um manipulador robótico.	14
Figura 2:	Frames para o manipulador Elbow.	15
Figura 3:	Configuração D-H do manipulador Timon-HM.	16
Figura 4:	Simulação no Gazebo	17
Figura 5:	Workspace do manipulador nos eixos X-Y.	18
Figura 6:	Workspace do manipulador nos eixos X-Z.	18
Figura 7:	Workspace do manipulador nos eixos Y-Z.	19
Figura 8:	Arquitetura geral do sistema.	21
Figura 9:	Estrutura analítica do protótipo.	22
Figura 10:	Fluxograma dos sistema de visual.	23
Figura 11:	Fluxograma dos sistema de posicionamento.	25
Figura 12:	Pose 1 testada para botão.	29
Figura 13:	Pose 2 testada para botão.	29
Figura 14:	Pose 3 testada para botão.	30
Figura 15:	Pose 4 testada para botão.	30
Figura 16:	Timon pressionando botão localizado em pose 1.	31
Figura 17:	Timon pressionando botão localizado em pose 2.	31
Figura 18:	Timon pressionando botão localizado em pose 3.	32
Figura 19:	Timon pressionando botão localizado em pose 4.	32
Figura 20:	Análise da árvore de falhas do sistema.	35
Figura 21:	Coordenadas.	43
Figura 22:	Link 0.	43
Figura 23:	Link 1.	44
Figura 24:	Link 2.	45
Figura 25:	Link 3.	45
Figura 26:	Link 4.	46
Figura 27:	Link 5.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Parâmetros dos links para o manipulador Elbow.	15
Tabela 2:	Parâmetros D-H para o manipulador Timon-HM.	17
Tabela 3:	Especificações técnicas do manipulador Timon-HM.	22
Tabela 4:	Testes realizados com a caixa na posição vertical.	26
Tabela 5:	Testes realizados com a caixa na posição horizontal.	27
Tabela 6:	Análise dos modos e efeitos de falhas do perfil de alumínio.	33
Tabela 7:	Análise dos modos e efeitos de falhas dos motores.	33
Tabela 8:	Análise dos modos e efeitos de falhas da câmera RGB.	33
Tabela 9:	Análise dos modos e efeitos de falhas dos cabos.	34
Tabela 10:	Análise dos modos e efeitos de falhas dos conectores.	34
Tabela 11:	Análise dos modos e efeitos de falhas do conversor DC/DC	34
Tabela 12:	Lições aprendidas.	37

LISTRA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

DoF Degrees of Freedom

SOTA Study Of The Art

ROS Robot Operating System

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	11
1.2	Justificativa	11
1.3	Organização do relatório	12
2	CONCEITO DO SISTEMA	13
2.1	Parâmetros básicos	13
2.1.1	Requisitos do cliente	13
2.1.2	Requisitos técnicos	13
2.1.3	Estudo do estado da arte	13
2.1.4	Características do manipulador	16
2.1.5	Ambiente de operação	17
3	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	21
3.1	Descrição do sistema	21
3.1.1	Arquitetura geral	21
3.1.2	Especificação técnica	21
3.1.3	Estrutura analítica do protótipo	22
3.2	Especificação funcional	23
3.2.1	Sistema de visão	23
3.2.1.1	Descrição	23
3.2.1.2	Premissas necessárias	24
3.2.1.3	Dependências	24
3.2.1.4	Saídas	24
3.2.2	Sistema de posicionamento	24
3.2.2.1	Descrição	24
3.2.2.2	Premissas necessárias	25
3.2.2.3	Dependências	25
3.2.2.4	Saídas	26
3.3	Arquitetura de software	26

3.4	Simulação do sistema	26
3.5	Testes realizados	26
4	RESULTADOS E ANÁLISES	29
4.1	Resultados alcançados	30
5	CONFIABILIDADE DO SISTEMA	33
5.1	Análise dos modos e efeitos de falhas	33
5.2	Análise da árvore de falhas	34
6	GESTÃO DO CONHECIMENTO	37
6.1	Lições aprendidas	37
6.2	Guia de uso	37
7	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	41
	APÊNDICE A Propriedades de Massaa do manipulador Timon- HM	43

1 INTRODUÇÃO

Conforme o avanço da sociedade, ficou cada vez mais evidente o crescimento das indústrias, e um dos precursores deste acontecimento foi a inserção das novas tecnologias, tendo como objetivo a melhoria na qualidade e consequentemente o aumento da produtividade, tornando evidente a importância do uso da robótica. Esta é oriunda de uma fusão interdisciplinar, em que diversos ramos de conhecimentos como a cinemática, dinâmica, estática, controle, inteligência artificial, linguagens de programação, computação gráfica e visão computacional estão sendo estudados para serem implementados nos sistemas robóticos e melhorar a performance destes (OLIVEIRA et al., 2012).

O presente relatório tem por finalidade descrever o processo de construção de um manipulador robótico realizado no Laboratório de Robótica e Sistemas Autônomos do SENAI-CIMATEC-BA para o programa de formação de Novos Talentos, desde a etapa de concepção até a utilização do mesmo no mundo real.

1.1 Objetivos

O propósito deste projeto é construir um manipulador robótico capaz de identificar um marcador visual por meio de uma câmera RGB e proceder com a função de pressionar um botão. Para isso, os objetivos específicos são:

- Estudo do Estado da Arte (*SOTA*) em manipuladores com cinco graus de liberdade (*DoF*).
- Testes e parametrização dos servomotores.
- Construir modelo do braço robótico.
- Desenvolver pacote de reconhecimento de marcadores visuais.
- Desenvolver pacote para geração da trajetória.
- Implementação e simulação do protótipo do manipulador em software.

1.2 Justificativa

A busca por uma melhor eficiência e precisão na realização de atividades em locais que a presença do ser humano torna-se difícil, arriscado e até mesmo impossível vem se tornando cada vez maior pela indústria. Logo, este projeto traz dentre os benefícios o uso de manipuladores robóticos autônomos que realizem estas tarefas minimizando a escassez existente destes equipamentos no mercado atual, além da capacitação de profissionais pertencentes a área de desenvolvimento e operação de manipuladores robóticos, e também

contribuirá para a construção de outros manipuladores com características e/ou objetivos semelhantes.

1.3 Organização do relatório

O presente relatório está organizado em sete capítulos, sendo este de Introdução com vista à descrição da justificativa/motivação, os objetivos e a organização do relatório.

No segundo capítulo, Conceitos do sistema, são descritos parâmetros básicos do projeto dentre eles os requisitos do cliente, requisitos técnicos, estudo do estado da arte e o ambiente de operação.

No terceiro capítulo, Desenvolvimento, apresenta a descrição do sistema onde será mostrado a arquitetura geral, especificações técnicas e a estrutura analítica do protótipo. Além disso, trará as especificações funcionais, sendo esse, a arquitetura de software, diagrama de componentes e a simulação do sistema.

Já no quarto capítulo, Resultados e análises, em que são apresentados os resultados alcançados e a análise.

O quinto capítulo, Confiabilidade do sistema, detalha a análise dos modos e efeitos de falhas além de mostrar análise da árvore de falhas.

No sexto capítulo, Gestão do conhecimento, é feito um estudo sobre as lições aprendidas e o guia uso.

Por fim, o sétimo capítulo apresenta a Conclusão do relatório.

2 CONCEITO DO SISTEMA

2.1 Parâmetros básicos

2.1.1 Requisitos do cliente

1. Desenvolver um manipulador robótico.
2. Realizar a tarefa de detecção da tag e pressionar o botão.
3. Realizar a simulação do manipulador no ambiente *ROS*.
4. Gerar pacote no MoveIt referente as especificações do manipulador.

2.1.2 Requisitos técnicos

1. Utilização de uma base móvel de MDF juntamente com dois suportes de ferro.
2. A base deve estar a 0.25 m de uma das extremidades da mesa.
3. Utilizar motores Dynamixel H54-200 e MX-106 da Robotis.
4. Junta 3 do manipulador deve conter dois motores Dynamixel MX-106.
5. Deve conter uma câmera Teledyne Dalsa Genie Nano C2590.
6. Deve suportar uma carga máxima de 2 kg.
7. Detecção de uma tag fixada a caixa.
8. Pressionar um botão.

2.1.3 Estudo do estado da arte

Com o advento do exponencial crescimento da tecnologia há um foco crescente na pesquisa e comercialização de robôs ([HERNÁNDEZ-ORDOÑEZ et al., 2018](#)). Estes, por sua vez, são classificados em três grupos: manipuladores, veículos auto-guiados (AGV) e robôs móveis. Neste projeto o objeto de interesse são os manipuladores robóticos que possuem estrutura física similar a um braço humano composto por partes rígidas denominado de elos (links) conectados entre si por juntas (joints) ([SANTOS, 2004](#)). Esta estrutura encontra-se descrita na Figura 1.

Para que um manipulador possa se movimentar em um ambiente e realizar as tarefas propostas é necessário que este saiba sua orientação e posição em relação ao espaço, este conjunto de informações é denominado de frame do robô e esta descrição constitui o sistema

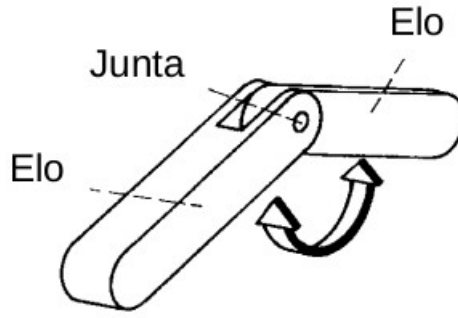


Figura 1: Elos e junta de um manipulador robótico.

de referência de um manipulador robótico. Há sistemas transladados: onde a origem de um sistema está transladada em relação ao do manipulador, sistemas rotacionados: as origens do sistema de referência coincidem porém um dos sistemas tem um dos eixos rotacionados em um ângulo α em relação ao outro e há o sistema genérico, neste sabe-se a descrição de um vetor em relação a um sistema de referência. Para realizar o mapeamento genérico, cinemática direta, utiliza-se a Equação 2.1 onde ${}^A\mathbf{P}$ é o vetor de posição no sistema de referência A descrevendo os pontos x, y e z deste sistema através da matriz de transformação homogênea, ${}^A_B\mathbf{T}$ é possível realizar o mapeamento do manipulador em um sistema de referência em relação a outro, neste caso de B em relação a A. Esta matriz de transformação homogênea engloba as matrizes de rotação do sistema B em relação a A, ${}^A_B\mathbf{R}$, e do vetor posição que localiza a origem do sistema de B ${}^A\mathbf{P}_{BORG}$ (MCKERROW; MCKERROW, 1991).

$${}^A\mathbf{P} = {}^A_B\mathbf{T}{}^B\mathbf{P} \quad (2.1)$$

O estudo da dinâmica e da cinemática apresenta a síntese do projeto de um dispositivo, expressando matematicamente as relações de movimento de um mecanismo na execução de determinada tarefa.

Após as configurações do sistema é necessário encontrar as equações de dinâmicas de movimento que podem ser obtidas pelo método de equações de movimento de Newton ou utilizando o cálculo variacional (Princípio de Hamilton ou Princípio da Mínima Ação) (LIMA, 2017).

Para a análise cinemática utiliza-se os parâmetros de Denavit-Hartenberg (D-H), este realiza uma cadeia cinemática espacial através da fixação de sistemas de referência aos elos (PAUL, 1981). Esta notação de Denavit-Hartenberg é uma ferramenta comumente utilizada para sistematizar a descrição cinemática de sistemas mecânicos articulados com n graus de liberdade (JR; DENAVIT; HARTENBERG, 1964). Na Tabela 1 tem-se a cadeia cinemática através dos parâmetros D-H para o manipulador da Figura 2. Na cinemática direta é possível observar que a partir dos ângulos das juntas do manipulador encontra-se

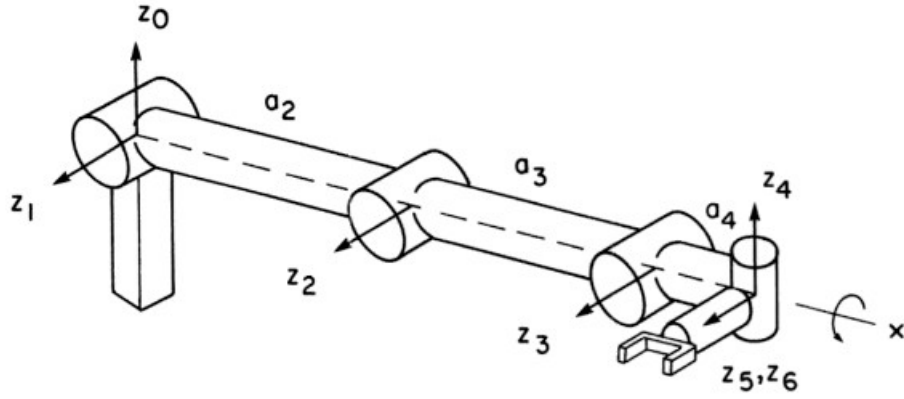


Figura 2: Frames para o manipulador Elbow.

a posição e orientação da ferramenta com relação a estação de trabalho. Contudo, quando projeta-se um manipulador é fundamental realizar os cálculos da cinemática inversa, nesta por sua vez são obtidos dados de posição e orientação da ferramenta com relação a estação de trabalho e calcula-se os ângulos das juntas (CRAIG, 2012).

Para encontrar os ângulos de juntas necessários para posicionar o sistema de referência da ferramenta (tool frame) com relação ao sistema da estação de trabalho (station frame), divide-se em duas partes. Primeiro, fazemos as transformações para encontrar o sistema do punho (wrist frame) com relação ao sistema da base (base frame) e depois usa-se a cinemática inversa para calcular os ângulos das juntas. O cálculo desses ângulos possibilita a construção de sistemas de controle que tradicionalmente utilizam matrizes jacobianas em conjunto com as pseudo-inversas (WUNDERLICH, 2004).

As soluções mais utilizadas para calcular a cinemática inversa são os métodos analíticos e numéricos iterativos. A escolha de um método depende de sua aplicação, do tipo de junta, da estrutura utilizada e da quantidade de graus de liberdade. Na maioria dos casos o método numérico é preferível quando se tem acesso ao um processamento computacional adequado. Existem diversos métodos numéricos iterativos, exemplo: O Newton-Raphson, algoritmo de Levenberg–Marquardt, o Jacobiano Pseudo-Inverso (PINHEIRO; TRINDADE; PANTOJA, 2013).

Link	Variável	α	a	d	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$
1	θ_1	90°	0	0	0	1
2	θ_2	0^a	a_2	0	1	0
3	θ_3	0^a	a_3	0	1	0
4	θ_4	-90°	a_4	0	0	-1
5	θ_5	90°	0	0	0	1
6	θ_6	0°	0	0	1	0

Tabela 1: Parâmetros dos links para o manipulador Elbow.

O controle da cinemática e o planejamento da movimentação evitam que o manipulador colida com outros elementos do seu espaço de trabalho. Para tal são necessários aplicar técnicas de controle e utilização de sensores, estes últimos fazem com que o robô tenha capacidade de percepção coletando dados tanto internos, sobre seu sistema mecânico, quanto externos, no meio ambiente em qual está inserido (SCIIVICCO; SICILIANO, 2012).

A dinâmica do manipulador dependerá do seu design mecânico, logo esta definição irá variar de um manipulador para outro, e depende também de já haver definido as formulações cinemáticas (NORTON, 2001), estas por sua vez, fornecem os elementos geométricos de um sistema que são a base para se obter as energias que compõem as equações dinâmicas.

2.1.4 Características do manipulador

Na Tabela 2 encontra-se os parâmetros relacionados aos elos do manipulador Timon-HM descrito conforme a Figura 3.

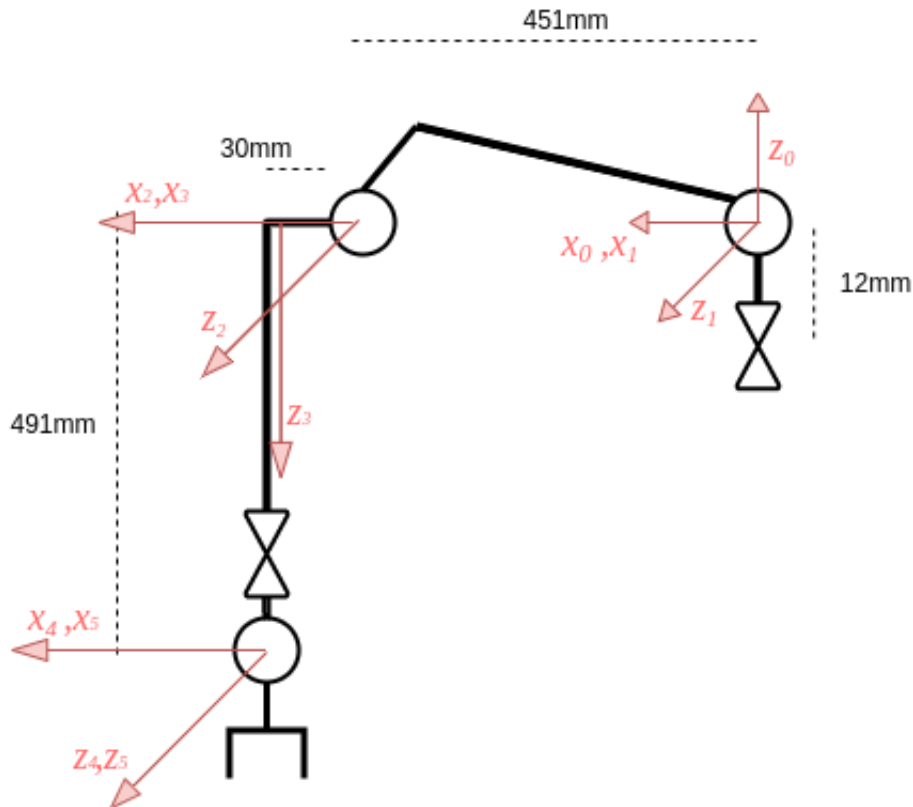


Figura 3: Configuração D-H do manipulador Timon-HM.

Link	a (mm)	α (rad)	d (mm)	θ (rad)
1	0	$\pi/2$	12	0
2	452	0	0	$\pi/2 - \arctan(30/451)$
3	30	$-\pi/2$	0	$\pi/4 + \arctan(30/451)$
4	0	$\pi/2$	491	0
5	0	0	0	0

Tabela 2: Parâmetros D-H para o manipulador Timon-HM.

2.1.5 Ambiente de operação

O ambiente para a realização do desafio, onde serão incluídos o manipulador e a caixa, é sobre uma mesa com 1.7 m de comprimento por 0.8 m de largura. Na Figura 4 tem-se o ambiente de operação simulado no Gazebo para que possam ser realizados testes e para validação dos parâmetros aplicados ao manipulador.

Nas Figuras 5, 6 e 7 estão descritos o workspace, ambiente de operação do manipulador com as vistas dos eixos X-Y, X-Z e Y-Z, respectivamente. A região em azul indica onde o manipulador consegue operar e a partir destas imagens é possível observar que o manipulador possui restrições de operação isso é devido as limitações existentes em cada junta.

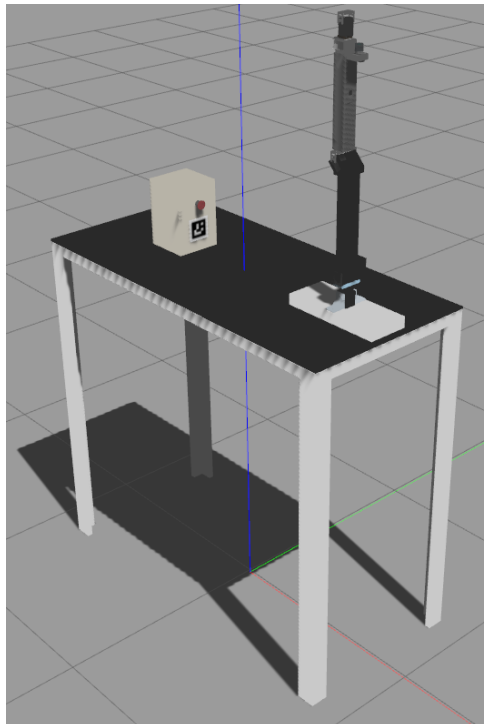


Figura 4: Simulação no Gazebo

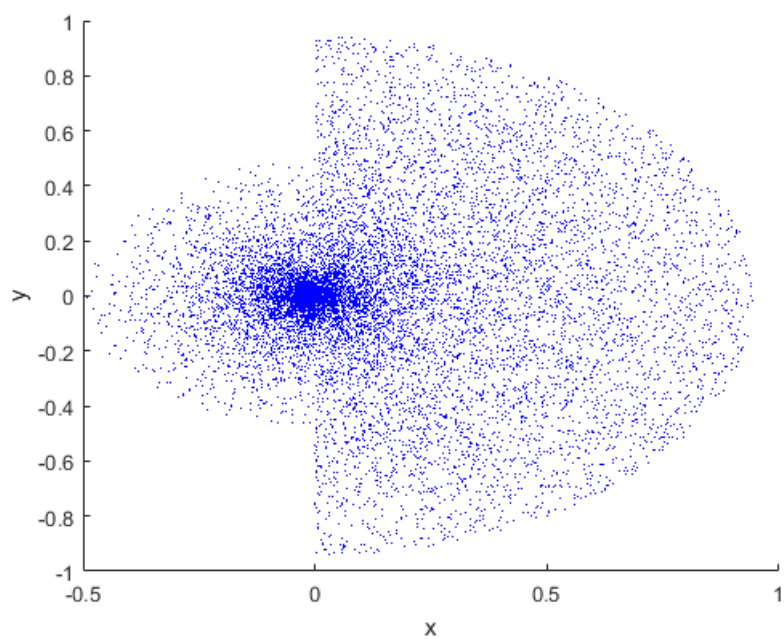


Figura 5: Workspace do manipulador nos eixos X-Y.

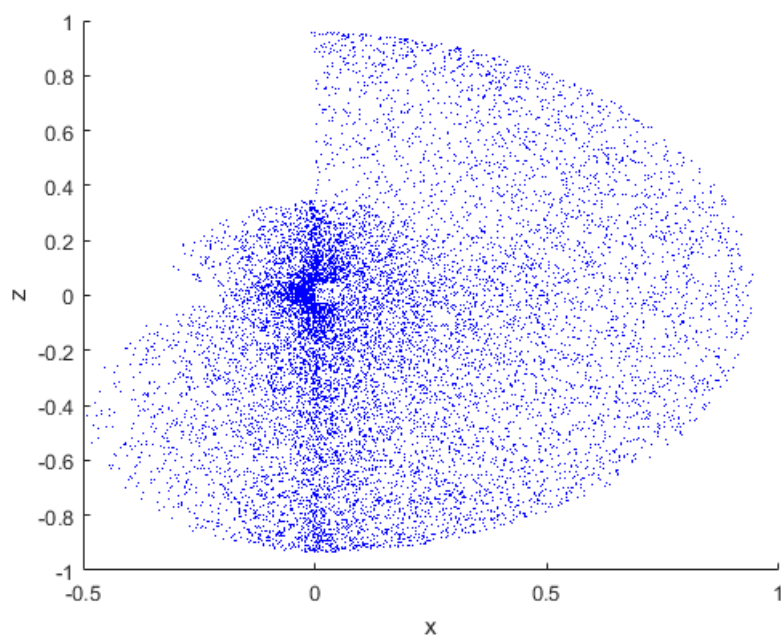


Figura 6: Workspace do manipulador nos eixos X-Z.

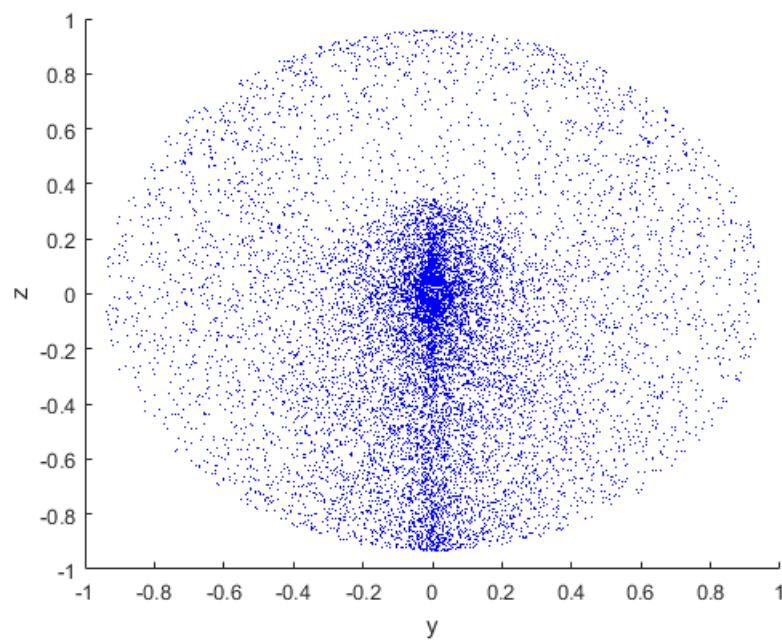


Figura 7: Workspace do manipulador nos eixos Y-Z.

3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

3.1 Descrição do sistema

Timon-HM é um manipulador capaz de atender demandas relacionadas ao reconhecimento de marcadores visuais e em resposta realizar o acionamento de interruptores, chaves ou botões. Este mesmo manipulador robótico é capaz de trabalhar em conjunto com outros robôs, com o propósito de realizar atividades de investigação, reconhecimento e ação. O pacote de simulação do manipulador foi construído através dos softwares Gazebo, Rviz e MoveIt, ferramentas que possibilitam que todas as atividades praticadas no mundo real tenham sido previamente testadas em ambiente computacional onde se é possível analisar todos os movimentos e limitações do projeto.

3.1.1 Arquitetura geral

Na Figura 8 descreve como está estruturado o sistema e como está relacionado o software e o hardware deste.

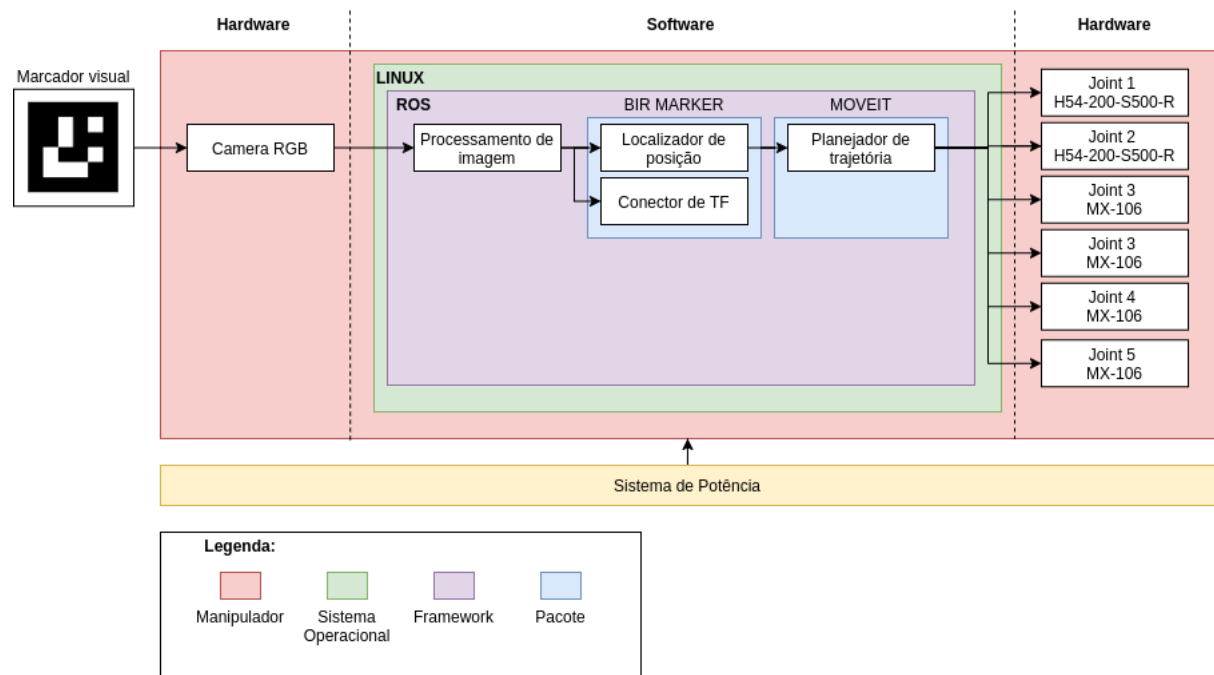


Figura 8: Arquitetura geral do sistema.

3.1.2 Especificação técnica

Na Tabela 3 estão elencadas as especificações técnicas que concernem ao manipulador robótico Timon-HM. Nesta tabela é possível observar, dentre outras informações, as faixas de operação para cada junta, estas limitações devem-se a estrutura mecânica do manipulador.

Item	Timon-HM
DOF	5
Payload	1.94 kg
Reach	979 mm
Weight	7.38 kg
Operating voltage	24 V
Resolution	Joint 1, Joint 2: 4096 pulse/rev
	Joint 3, Joint 4, Joint 5: 1,003,846 pulse/rev
Motors	Joint 1, Joint 2: H54-200-S500-R (200 W)
	Joint 3(2), Joint 4, Joint 5: MX-106 (65 W)
Operating Range	Joint 1: $-\pi/2$ (rad) $\sim \pi/2$ (rad)
	Joint 2: $-\pi/2$ (rad) $\sim \pi/2$ (rad)
	Joint 3: $-\pi/2$ (rad) $\sim 3\pi/4$ (rad)
	Joint 4: $-\pi$ (rad) $\sim \pi$ (rad)
	Joint 5: $-\pi/2$ (rad) $\sim \pi/2$ (rad)
Camera	Teledyne Genie Nano
Position sensor type	Homing: Absolute Encoder
	Control: Incremental Encoder
Communications	RS485
Communication Baudrate	1 Mbps

Tabela 3: Especificações técnicas do manipulador Timon-HM.

3.1.3 Estrutura analítica do protótipo

Na Figura 9 tem-se a estrutura analítica do protótipo indicando as relações existentes entre as partes que compõem o manipulador.

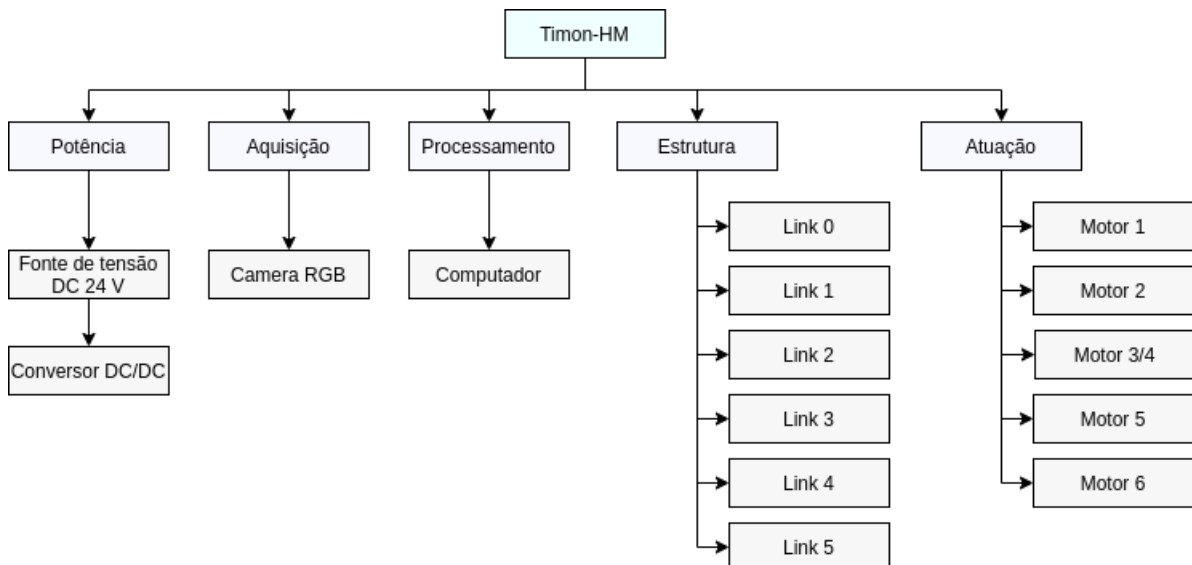


Figura 9: Estrutura analítica do protótipo.

3.2 Especificação funcional

O manipulador descrito trabalha lendo e escrevendo mensagens para duas funcionalidades principais. A primeira, corresponde a detecção de um marcador visual, que uma vez decifrado, informa a posição no espaço onde está um botão que precisa ser acionado. A segunda funcionalidade usa cálculos de cinemática direta e inversa para obter um meio de posicionar o braço robótico de forma a apertar o botão que foi encontrado.

3.2.1 Sistema de visão

Através da câmera RGB que é uma Teledyne Genie Nano acoplada ao manipulador é realizada a detecção do marcador visual, utilizando a biblioteca ArUco, pois esta encontra todos os dicionários e recursos para a implementação do código de detecção e está hospedado no site do Github no perfil do BIR- Brazilian Institute of Robotics.

3.2.1.1 Descrição

Na Figura 10 está descrito o funcionamento do sistema de visão integrado ao manipulador.

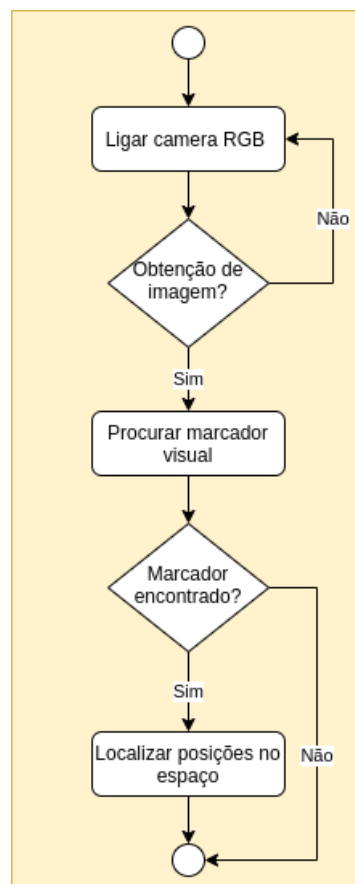


Figura 10: Fluxograma dos sistema de visual.

3.2.1.2 Premissas necessárias

- Cálculo do sistemas de referência.
- Definição do ID de uma tag que será associada ao acionamento do botão.

3.2.1.3 Dependências

Para realizar a etapa de detecção é necessária a instalação do OpenCV versão 3.3.1 e a inserção do pacote de marcadores visuais com o dicionário do ArUco dentro do workspace do manipulador, necessário atualizar para a branch `final_settings`:

- `git clone <https://github.com/Brazilian-Institute-of-Robotics/bir_marker_localization.git>`

3.2.1.4 Saídas

É fornecido ao sistema resposta por meio de tópico de imagem no ROS para ser utilizado no código em C++ que identifica a tag e valida se esta associada a movimentação do manipulador para acionamento do botão.

3.2.2 Sistema de posicionamento

Para resolver a cinemática inversa, utilizou-se no MoveIT o plugin TRAC-IK, um método alternativo ao habitual uso da inversa Jacobiana. Este método se adequa bem a manipuladores que possuam limitações em suas juntas, ao contrário de algoritmos baseados no teorema de Newton. Foi utilizado o OMPL (Open Motion Planning Library), uma coleção de algoritmos de planejamento de movimentação geralmente usada no MoveIt.

3.2.2.1 Descrição

Na Figura 11 está descrito o funcionamento do sistema de posicionamento aplicado ao manipulador.

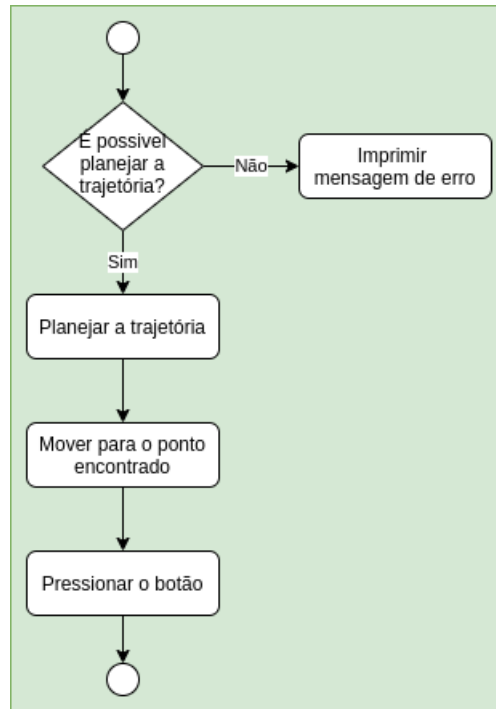


Figura 11: Fluxograma dos sistema de posicionamento.

3.2.2.2 Premissas necessárias

- Cálculo da cinemática direta e inversa do manipulador.
- Definição de uma pose inicial.
- Cálculo do espaço de trabalho.
- Medição das propriedades de massa.

3.2.2.3 Dependências

O sistema de movimentação é dependente da versão Melodic Morenia do framework ROS e da plataforma MoveIt. Além destes, uma lista de pacotes deve ser instalada previamente para o funcionamento correto do sistema de movimentação:

- `ros-melodic-ros-control`
- `ros-melodic-gazebo-ros-control`
- `ros-melodic-controller-manager`
- `ros-melodic-joint-trajectory-controller`
- `ros-melodic-joint-state-controller`
- `ros-melodic-position-controllers`

- `ros-melodic-trac-ik-kinematics-plugin`

3.2.2.4 Saídas

As respostas fornecidas pelo sistema de movimentação são exibidas através dos motores Dynamixel integrados ao manipulador. Por meio da movimentação dos eixos é possível exibir posições que podem ser alcançadas pelo robô.

3.3 Arquitetura de software

O robô Timon-HM foi construído seguindo o modelo de trabalho ROS, isto é, segue o propósito de conectar diferentes módulos, como câmeras, motores, sensores e códigos. A proposta é fazer conversar um programa de visão capaz de identificar posições no espaço através da identificação de marcadores visuais com um sistema de movimentação que posiciona o manipulador para acionar o interruptor.

3.4 Simulação do sistema

A simulação do robô Timon-HM inserido no seu ambiente de trabalho foi realizada na plataforma Gazebo. Para isto, realizou-se o desenvolvimento de modelos URDF.XACRO que descrevessem o robô e o ambiente ao seu redor. A fidelidade destes modelos com o que representam fisicamente é importante para que os testes realizados possam ser validados.

3.5 Testes realizados

No decorrer da etapa de prova 60 testes foram realizados, metade deles com a caixa na vertical e o restante na horizontal. Estes ensaios aconteceram 10 vezes em um total de 6 posições diferentes conforme as Tabelas 4 e 5.

Caixa na vertical								
Posição: $x = -0.4$, $y=0.0$			Posição: $x = -0.1$, $y=0.2$			Posição: $x = -0.45$, $y=0.2$		
N	Tempo(s)	Sucesso	N	Tempo(s)	Sucesso	N	Tempo(s)	Sucesso
1	22	sim	1	25	sim	1	26	sim
2	24	sim	2	29	sim	2	24	sim
3	20	sim	3	23	sim	3	19	sim
4	23	sim	4	32	sim	4	19	sim
5	22	sim	5	28	sim	5	33	não
6	24	sim	6	27	sim	6	24	sim
7	21	sim	7	23	sim	7	26	sim
8	22	sim	8	23	sim	8	29	não
9	21	sim	9	24	sim	9	21	sim
10	22	sim	10	21	sim	10	29	sim

Tabela 4: Testes realizados com a caixa na posição vertical.

Caixa na horizontal								
Posição: x = -0.4, y=0.0			Posição: x = -0.1, y=0.2			Posição: x = -0.3, y=-0.2		
N	Tempo(s)	Sucesso	N	Tempo(s)	Sucesso	N	Tempo(s)	Sucesso
1	24	sim	1	27	sim	1	26	sim
2	21	sim	2	17	sim	2	27	não
3	24	sim	3	25	sim	3	25	não
4	26	sim	4	21	sim	4	18	sim
5	26	sim	5	22	sim	5	21	sim
6	17	sim	6	23	sim	6	25	sim
7	23	sim	7	22	sim	7	20	sim
8	25	sim	8	25	sim	8	21	sim
9	21	sim	9	24	sim	9	23	sim
10	27	sim	10	23	sim	10	23	sim

Tabela 5: Testes realizados com a caixa na posição horizontal.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Os testes exibidos nessa seção foram realizados em um computador POSITIVO com sistema operacional Ubuntu 18.04, processador Intel Core i7-4790 3.60GHZ, 16GB de memória RAM e placa de vídeo NVIDIA GeForce GT 730. Diferentes posições foram utilizadas para o botão e o tempo que o manipulador levava para realizar sua rotina foi verificado.

Para cada pose exibida nas Figuras 12, 13, 14 e 15 foram realizados 10 execuções consecutivas de *push button*. Os dados destes testes podem ser encontrados na seção 5.1.

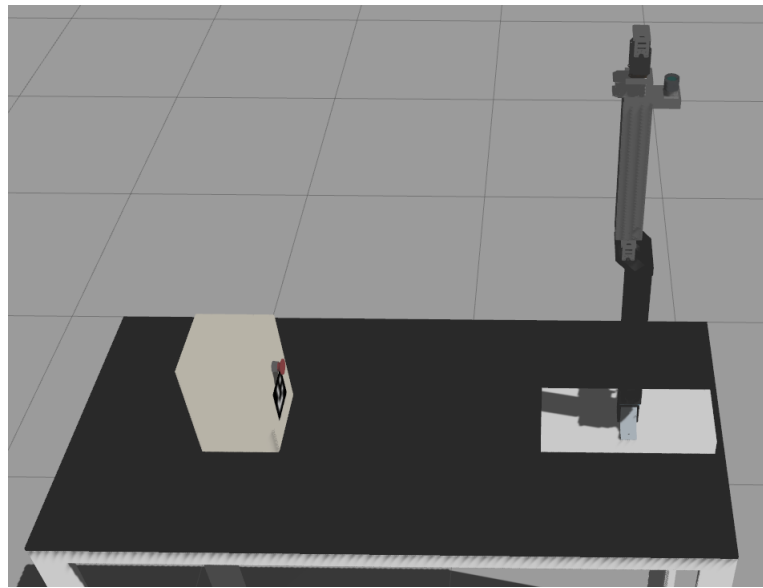


Figura 12: Pose 1 testada para botão.

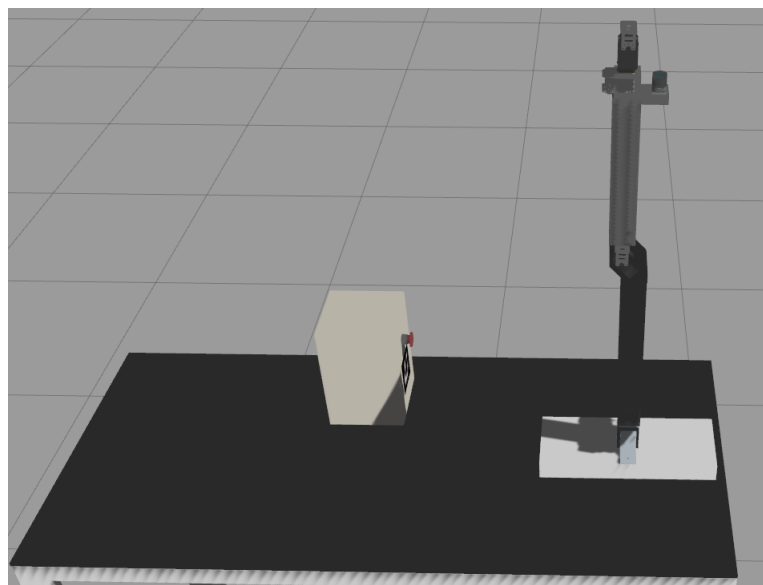


Figura 13: Pose 2 testada para botão.

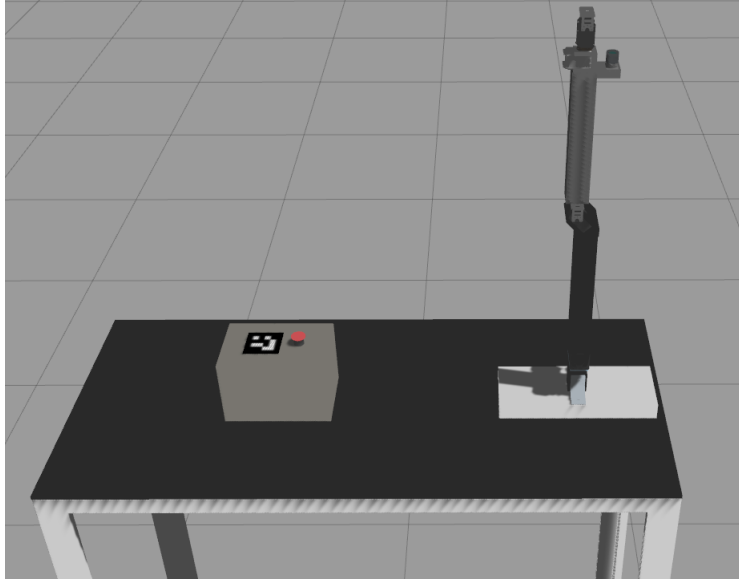


Figura 14: Pose 3 testada para botão.

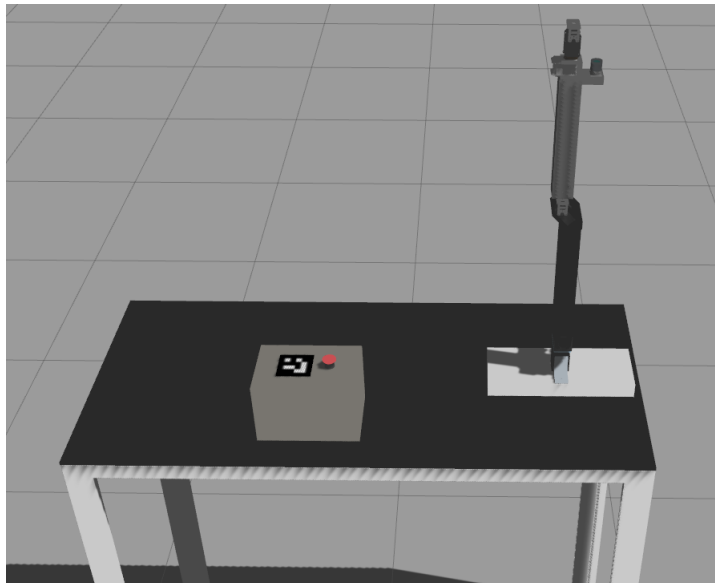


Figura 15: Pose 4 testada para botão.

4.1 Resultados alcançados

Pode-se conforme as Figuras 16, 17, 18 e 19 que o robô Timon-HM foi capaz de pressionar o botão para cada uma das poses desejadas, demonstrando resultados satisfatórios no que diz respeito ao reconhecimento da tag aruco e planejamento de trajetória para um determinado ponto.

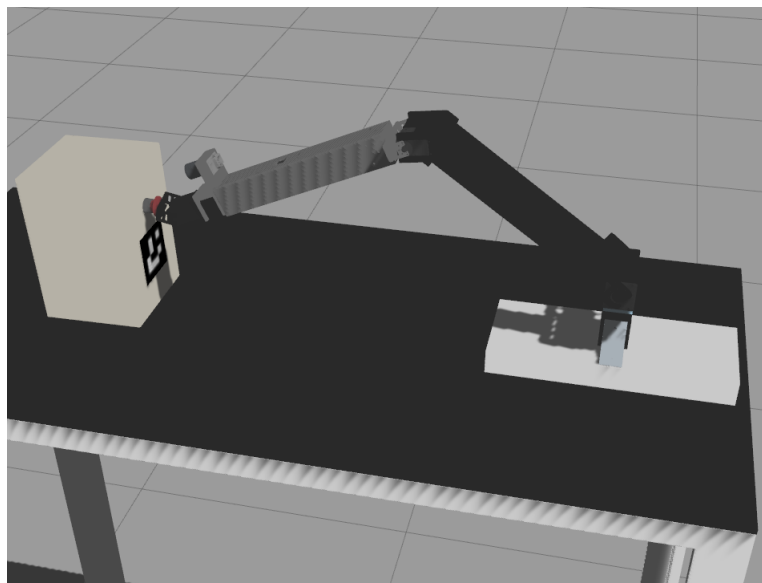


Figura 16: Timon pressionando botão localizado em pose 1.

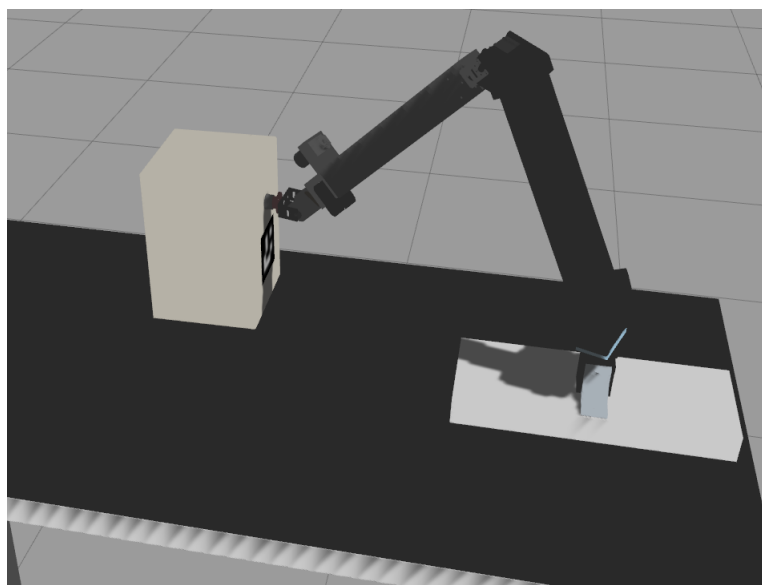


Figura 17: Timon pressionando botão localizado em pose 2.

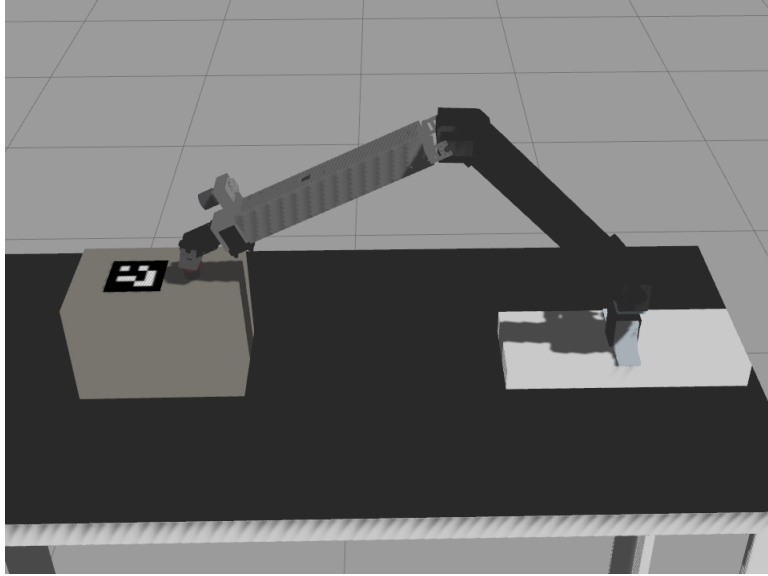


Figura 18: Timon pressionando botão localizado em pose 3.

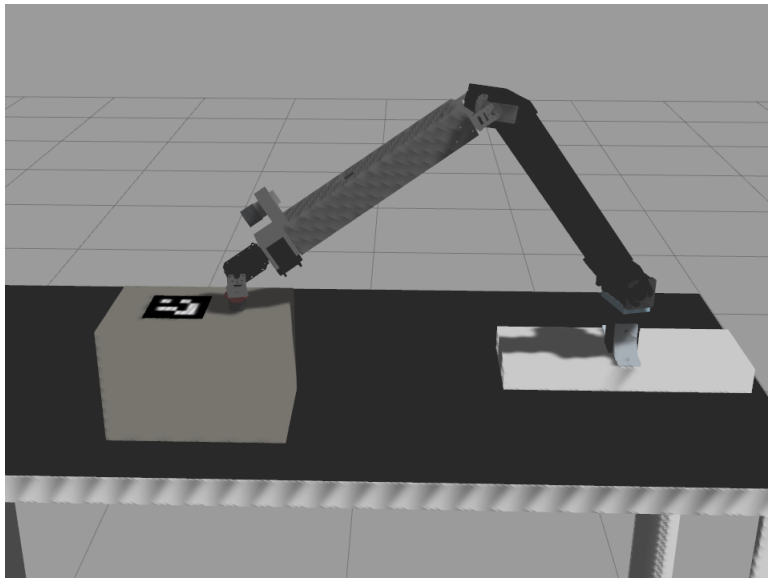


Figura 19: Timon pressionando botão localizado em pose 4.

5 CONFIABILIDADE DO SISTEMA

Neste capítulo tem-se as tabelas com a análise dos modos e efeitos de falhas de cada componente do sistema e a análise da árvore de falhas.

5.1 Análise dos modos e efeitos de falhas

Na Tabelas 6, 7, 8, 9, 10 e 11 foi realizado um estudo sistemático e estrutura das falhas potenciais para os componentes: perfil de alumínio, motores, câmera RGB, cabos, conectores e conversor DC/DC, respectivamente.

Análise do Tipo e Efeito de Falha					
Nome do componente: Perfil de alumínio					
Função(ões)	Modo(s) de falha em potencial	Efeito(s) potencial(is) da falha	Causa(s) potenciais	Ação(ões) recomendada(s)	Competência
Compor estrutura mecânica	Ruptura do perfil	Danificação estrutural	Sobrecarga	Cuidado no manuseamento dos perfis	Mecânica
	Empeno do perfil	Folga entre conexões	Colisão	Definir Workspace	

Tabela 6: Análise dos modos e efeitos de falhas do perfil de alumínio.

Análise do Tipo e Efeito de Falha					
Nome do componente: Motores					
Função(ões)	Modo(s) de falha em potencial	Efeito(s) potencial(is) da falha	Causa(s) potenciais	Ação(ões) recomendada(s)	Competência
Movimentação do manipulador	Rotação inconsistente com o desejado	Perda de desempenho (velocidade; controle)	Emperramento parcial	Inspeções periódicas	Elétrica
Fornecer o torque mínimo de sustentação	Curto circuito	Parada do motor	Cabeamento incorreto	Medir corrente nos terminais	
	Perda de comunicação Tensão insuficiente	Perda de desempenho	Falha na alimentação		

Tabela 7: Análise dos modos e efeitos de falhas dos motores.

Análise do Tipo e Efeito de Falha					
Nome do componente: Câmera RGB					
Função(ões)	Modo(s) de falha em potencial	Efeito(s) potencial(is) da falha	Causa(s) potenciais	Ação(ões) recomendada(s)	Competência
Aquisição de dados visuais	Incapacidade de obter dados visuais	Perda da capacidade de obter dados visuais	Obstrução do campo de visão da câmera	Verificar condições do ambiente antes das missões	Operador
	Ruptura da estrutura de fixação da câmera		Baixa visibilidade do ambiente		
	Coleta de dados inconsistentes ou insuficientes	Comprometimento dos dados	Set-up incorreto Falha no canal de comunicação	Verificar cabeamento do sistema	Mecânica

Tabela 8: Análise dos modos e efeitos de falhas da câmera RGB.

Análise do Tipo e Efeito de Falha					
Nome do componente: Cabos					
Função(ões)	Modo(s) de falha em potencial	Efeito(s) potencial(is) da falha	Causa(s) potenciais	Ação(ões) recomendada(s)	Competência
Transmissão de dados	Incapacidade de transmissão de dados	Comprometimento dos dados transmitidos	Fissura dos fios	Verificar condições de instalação do manipulador	Operador
		Perda da capacidade de transmissão de dados	Desgaste causado pelo tempo		
Transmissão de energia	Incapacidade de transmissão de energia	Perda da capacidade de transmissão de energia	Derretimento por temperatura elevada	Verificar a situação atual do cabeamento do sistema	
		Má qualidade da energia transmitida	Torção dos fios		

Tabela 9: Análise dos modos e efeitos de falhas dos cabos.

Análise do Tipo e Efeito de Falha					
Nome do componente: Conectores					
Função(ões)	Modo(s) de falha em potencial	Efeito(s) potencial(is) da falha	Causa(s) potenciais	Ação(ões) recomendada(s)	Competência
Ligar o frame ao perfil de alumínio	Incapacidade de sustentar o perfil	Ruptura do conector	Excesso de peso aplicado	Verificar a fabricação da peça	Operador
			Desgaste pelo tempo		
		Trinca do conector	Set-up incorreto	Verificar as condições de peso aplicadas	
			Defeito de fabricação		

Tabela 10: Análise dos modos e efeitos de falhas dos conectores.

Análise do Tipo e Efeito de Falha					
Nome do componente: Conversor DC/DC					
Função(ões)	Modo(s) de falha em potencial	Efeito(s) potencial(is) da falha	Causa(s) potenciais	Ação(ões) recomendada(s)	Competência
Alimentação do sistema	Incapacidade em fornecer energia	Não energização do sistema	Má conexão com fonte de tensão	Verificar conexão com fonte	Elétrica
			Desgaste nas soldas causado pelo tempo	Verificar continuidade na placa do circuito	

Tabela 11: Análise dos modos e efeitos de falhas do conversor DC/DC

5.2 Análise da árvore de falhas

Na Figura 20 encontra-se a análise da árvore de falhas do sistema do manipulador Timon-HM.

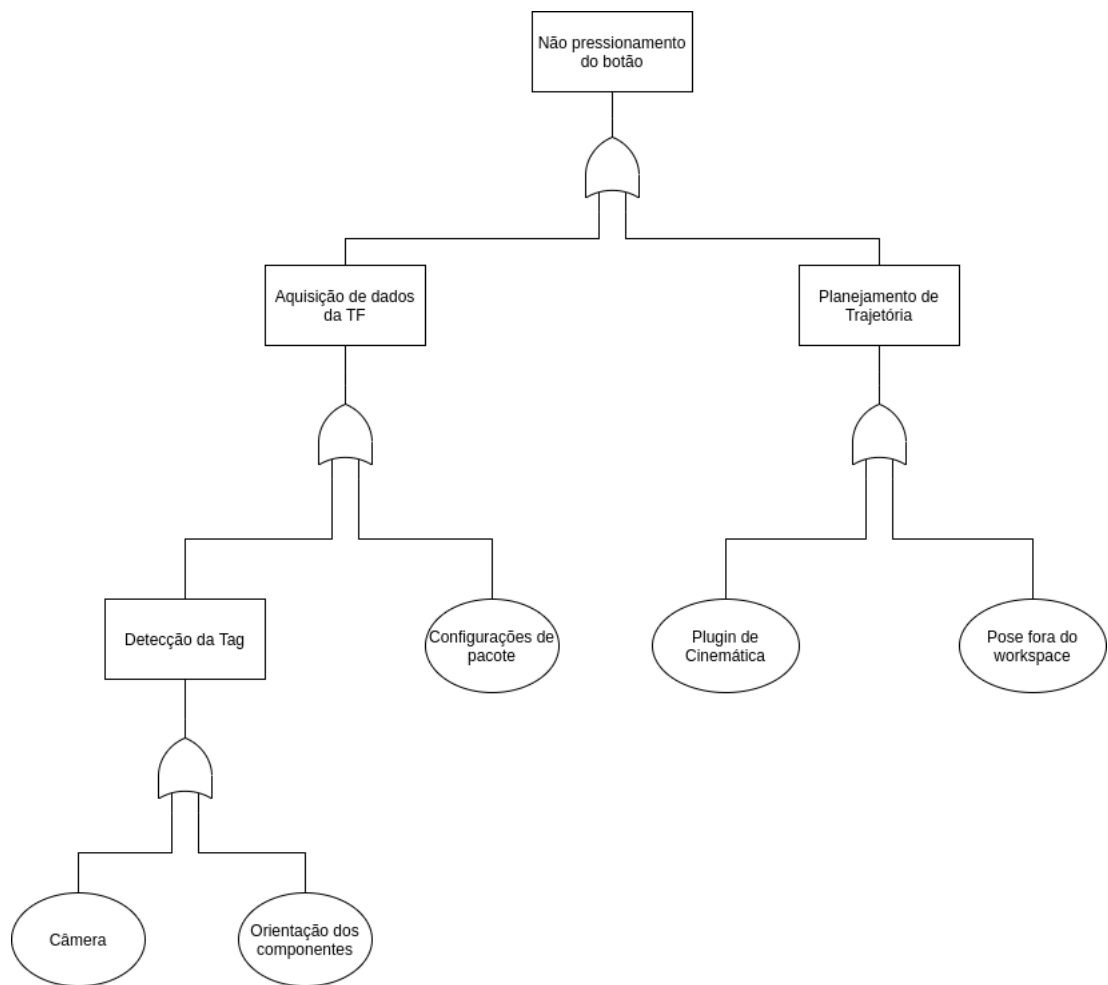


Figura 20: Análise da árvore de falhas do sistema.

6 GESTÃO DO CONHECIMENTO

Neste capítulo estão descritas as lições aprendidas durante a execução do projeto e o guia de uso que auxiliará na utilização do pacote para a simulação do manipulador Timon-HM.

6.1 Lições aprendidas

Na Tabela 12 estão elencados os conhecimentos adquiridos durante a execução do projeto identificando-os por tema e sinalizando o que foi aplicado para resolver a situação e os resultados obtidos.

LIÇÕES APRENDIDAS						
Tema	Fase	Impacto	O que ocorreu?	Como resolveu?	Resultados	Recomendações para os próximos projetos
Gestão	Planejamento	Negativo	Ausência de uma metodologia de trabalho	Reunião com foco em definir metodologia de projeto	Evolução na comunicação dos membros	Antes de começar o projeto realizar reunião para definição de metodologia
Gestão	Planejamento	Negativo	Ausência de uma ferramenta para gestão de projeto	Escolha de uma ferramenta gratuita e de fácil aplicação	Melhoria na organização das atividades	Definição prévia de uma ferramenta de gestão de projeto
Gestão	Execução	Negativo	Montagens e desmontagens do manipulador	Planejamento prévio das atividades	Otimização do tempo	Cronograma definindo as atividades a serem realizadas
Gestão	Execução	Negativo	Falha no dimensionamento das peças	Consultoria sobre materiais aplicados na confecção	Obtenção de peças com maior resistência mecânica	Pesquisa e consultoria prévia antes da modelagem das peças
Tecnológico	Execução	Negativo	Dificuldade em planejamento de trajetória para determinadas poses do robô	Utilização do plugin Trac-IK	Maior eficiência de planejamento	Pesquisa e consultoria prévia do pacote mais adequado para o projeto

Tabela 12: Lições aprendidas.

6.2 Guia de uso

Para realizar a simulação do manipulador robótico Timon-HM é necessário seguir os passos descritos a seguir:

- Criar um workspace para incluir todos os pacotes externos citados anteriormente;
- Clonar o repositório para dentro do workspace criado: https://github.com/Brazilian-Institute-of-timon_hm_manipulator.git;
- Compilar o workspace
- Para dar launch no Gazebo: `roslaunch manipulator_gazebo_gazebo.launch`
- Para dar launch no pacote MoveIt: `roslaunch manipulator_gazebo moveit_demo.launch`
- Launch no pacote do Bir Marker: `roslaunch timon_demo bir_marker_localization.launch`
- Launch no algoritmo de busca pelo marcador visual e pressionar o botão: `roslaunch timon_demo push_button.launch`

7 CONCLUSÃO

Os métodos empregados neste projeto apresentaram resultados esperados em ambiente simulado nos softwares Gazebo, MoveIt e Rviz, pendente a realização dos testes no mundo real.

Necessitam-se ainda verificar o desempenho do manipulador robótico Timon-HM aplicado a diferentes tarefas, analisando seu comportamento ao procurar por outros pontos que estejam dentro ou fora do seu espaço de trabalho e que necessite realizar movimentos mais complexos, que exijam maior esforço computacional para os cálculos de trajetória.

Posteriormente, propõe-se finalizar a construção da estrutura mecânica do manipulador, integrar o sistema de visão para detecção da tag anexada a caixa, que já está funcional no ambiente simulado e realizar testes para verificar a confiabilidade deste manipulador robótico.

REFERÊNCIAS

- CRAIG, J. J. Robótica. 3ª edição. *Rev. Atual*, 2012. Citado na página 15.
- HERNÁNDEZ-ORDOÑEZ, M. et al. An education application for teaching robot arm manipulator concepts using augmented reality. *Mobile Information Systems*, Hindawi, v. 2018, 2018. Citado na página 13.
- JR, J. J. U.; DENAVIT, J.; HARTENBERG, R. An iterative method for the displacement analysis of spatial mechanisms. 1964. Citado na página 14.
- LIMA, J. J. d. Dinâmica e controle de manipuladores robóticos flexíveis, excitados por carregamento não-linear e não-ideal. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2017. Citado na página 14.
- MCKERROW, P. J.; MCKERROW, P. *Introduction to robotics*. [S.l.]: Addison-Wesley Sydney, 1991. Citado na página 14.
- NORTON, C. *Os mecanismos da escrita criativa*. [S.l.: s.n.], 2001. Citado na página 16.
- OLIVEIRA, G. T. d. S. et al. Projeto ótimo de robôs manipuladores 3r considerando a topologia do espaço de trabalho. Universidade Federal de Uberlândia, 2012. Citado na página 11.
- PAUL, R. P. *Robot manipulators: mathematics, programming, and control: the computer control of robot manipulators*. [S.l.]: Richard Paul, 1981. Citado na página 14.
- PINHEIRO, T. C. F.; TRINDADE, M. R. P. da; PANTOJA, B. R. Cinemática inversa de um manipulado robótico de quatro graus de liberdade utilizando método numérico iterativo da jacobiana pseudo-inversa. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, v. 1, n. 1, 2013. Citado na página 15.
- SANTOS, V. M. Robótica industrial. *Universidade de Aveiro-Departamento de Engenharia Mecânica*, 2004. Citado na página 13.
- SCIAVICCO, L.; SICILIANO, B. *Modelling and control of robot manipulators*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. Citado na página 16.
- WUNDERLICH, J. T. Simulating a robotic arm in a box: redundant kinematics, path planning, and rapid prototyping for enclosed spaces. *Simulation*, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 80, n. 6, p. 301–316, 2004. Citado na página 15.

APÊNDICE A

Propriedades de Massaa do manipulador Timon-HM

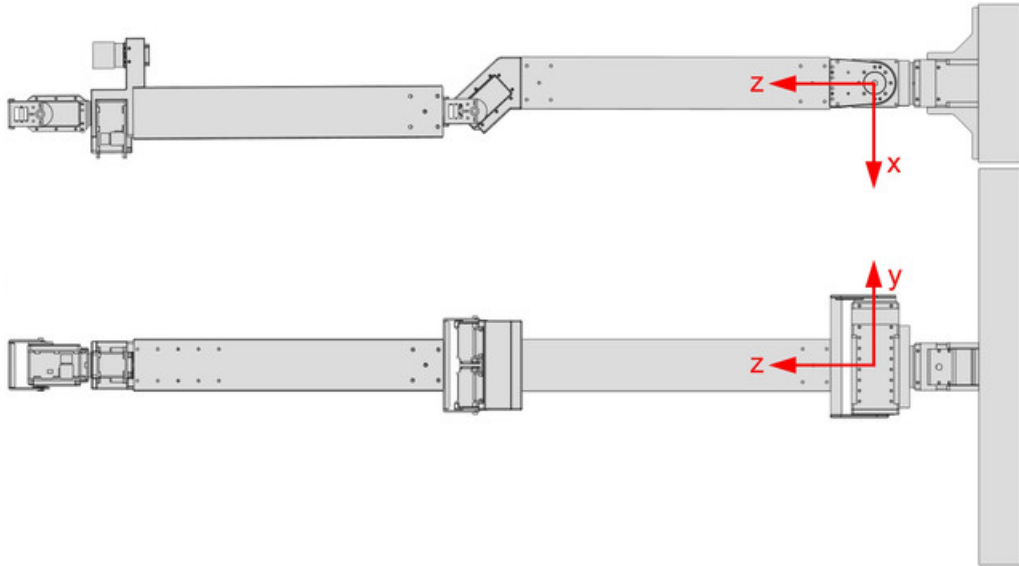


Figura 21: Coordenadas.

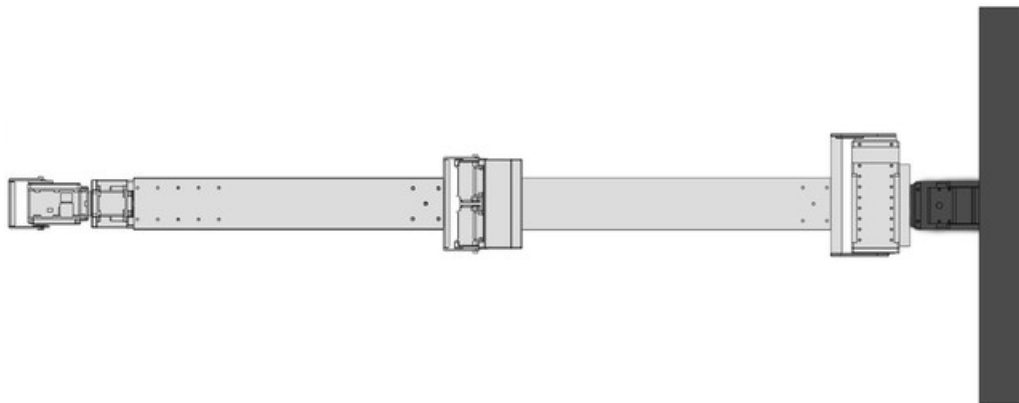


Figura 22: Link 0.

- **Massa:** 3.72264467 kg
- **Volume:** $0.00412764m^3$
- **Área:** $0.28500950m^2$
- **Centro de Massa:**
 - X: -0.00000012 m
 - Y: 0.00000000 m

– Z: 0.03490035 m

- **Momento de inércia:** $\text{kg } m^2$

– **Lxx:** 1.06821989e-2 **Lxy:** -2.59829620e-6 **Lxz:** 1.68828926e-8

– **Lyx:** -2.59829620e-6 **Lyy:** 4.86112355e-2 **Lyx:** 0.00000000e+0

– **Lzx:** 1.68828926e-8 **Lzy:** 0.00000000e+0 **Lzz:** 5.38837109e-2

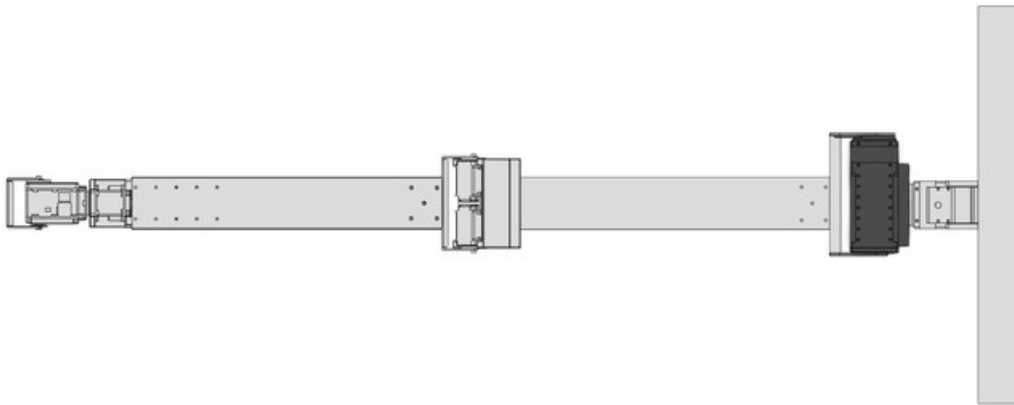


Figura 23: Link 1.

- **Massa:** 1.00643107 kg

- **Volume:** 0.00040209 m^3

- **Área:** 0.05733417 m^2

- **Centro de Massa:**

– X: 0.01039500 m

– Y: 0.00005146 m

– Z: 0.16006794 m

- **Momento de inércia:** $\text{kg } m^2$

– **Lxx:** 5.52840983e-4 **Lxy:** -4.82304098e-6 **Lxz:** -5.15873870e-5

– **Lyx:** -4.82304098e-6 **Lyy:** 1.52709797e-3 **Lyx:** -2.55376135e-7

– **Lzx:** -5.15873870e-5 **Lzy:** -2.55376135e-7 **Lzz:** 1.41817064e-3

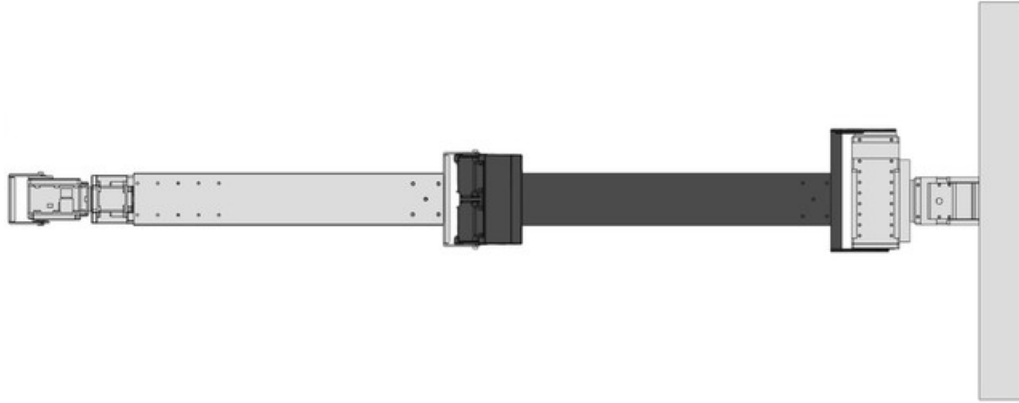


Figura 24: Link 2.

- **Massa:** 1.43140941 kg
- **Volume:** 0.00072217 m^3
- **Área:** 0.30338280 m^2
- **Centro de Massa:**
 - X: 0.00402379 m
 - Y: -0.00489519 m
 - Z: 0.42191352 m
- **Momento de inércia:** kg m^2
 - **Lxx:** 4.01177388e-2 **Lxy:** -1.99033225e-6 **Lxz:** 7.25766892e-4
 - **Lyx:** -1.99033225e-5 **Lyy:** 4.07927622e-2 **Lyz:** 1.35014731e-3
 - **Lzx:** 7.25766892e-4 **Lzy:** 1.35014731e-3 **Lzz:** 1.93910351e-3

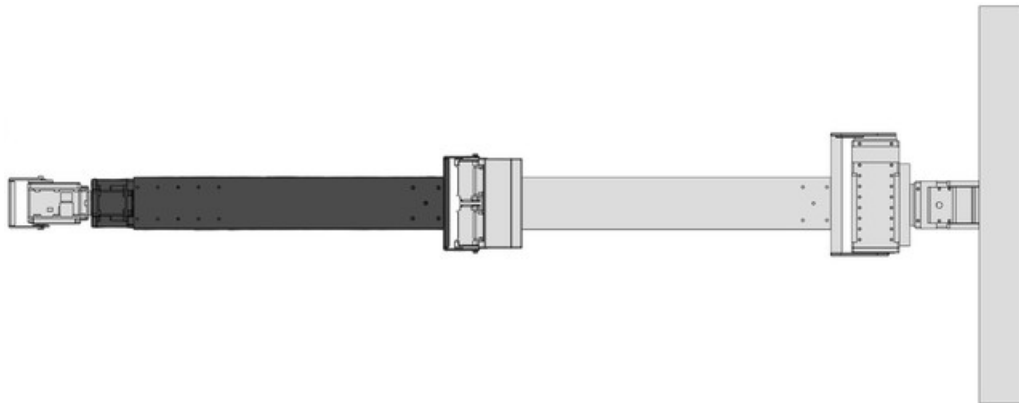


Figura 25: Link 3.

- **Massa:** 1.02430185 kg

- **Volume:** 0.00048651 m^3
- **Área:** 0.27643743 m^2
- **Centro de Massa:**
 - X: 0.00177442 m
 - Y: -0.02543863 m
 - Z: 0.88744337 m
- **Momento de inércia:** kg m^2
 - **Lxx:** $2.15420518\text{e-}2$ **Lxy:** $4.48113214\text{e-}6$ **Lxz:** $7.29467793\text{e-}6$
 - **Lyx:** $4.48113214\text{e-}6$ **Lyy:** $2.09581064\text{e-}2$ **Lyz:** $-9.20042318\text{e-}4$
 - **Lzx:** $7.29467793\text{e-}6$ **Lzy:** $-9.20042318\text{e-}4$ **Lzz:** $1.37743730\text{e-}3$

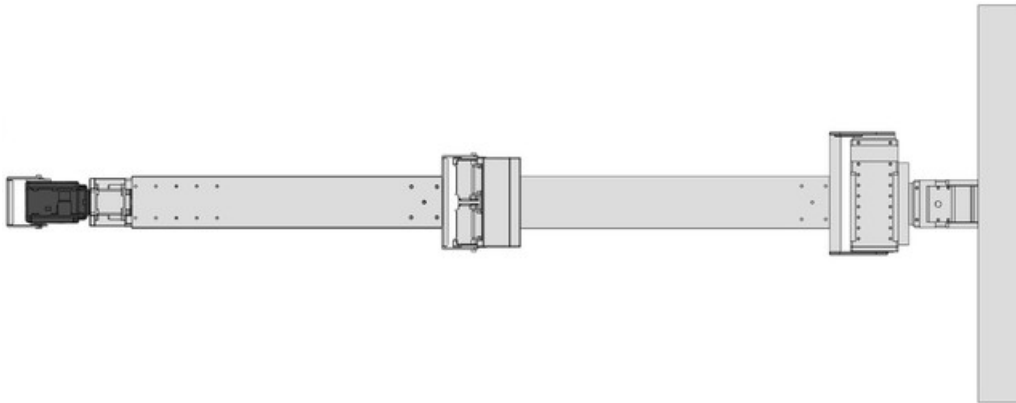


Figura 26: Link 4.

- **Massa:** 0.17387384 kg
- **Volume:** 0.00008979 m^3
- **Área:** 0.02133374 m^2
- **Centro de Massa:**
 - X: 0.00204423 m
 - Y: -0.03416008 m
 - Z: 1.09140950 m
- **Momento de inércia:** kg m^2
 - **Lxx:** $7.27594009\text{e-}5$ **Lxy:** $3.60335785\text{e-}7$ **Lxz:** $-1.43417976\text{e-}6$

- **Lyx:** 3.60335785e-7 **Lyy:** 9.11402947e-5 **Lyz:** 1.03937291e-8
- **Lzx:** -1.43417976e-6 **Lzy:** 1.03937291e-8 **Lzz:** 4.72120463e-5

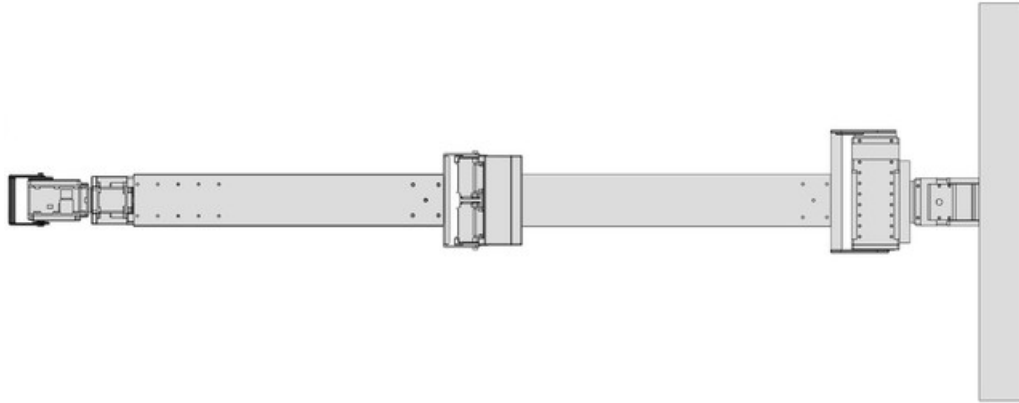


Figura 27: Link 5.

- **Massa:** 0.01873963 kg
- **Volume:** 0.00000694 m^3
- **Área:** 0.00883439 m^2
- **Centro de Massa:**
 - X: 0.00184227 m
 - Y: -0.03451643 m
 - Z: 1.13452531 m
- **Momento de inércia:** kg m^2
 - **Lxx:** 4.49832477e-6 **Lxy:** 1.27964175e-7 **Lxz:** 9.56680130e-10
 - **Lyx:** 1.27964175e-7 **Lyy:** 1.12015451e-5 **Lyz:** 4.61798902e-9
 - **Lzx:** 9.56680130e-10 **Lzy:** 4.61798902e-9 **Lzz:** 1.08114418e-5