

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA E MECÂNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

EDUARDO HENRIQUE DOS SANTOS

**AUTOMATIZAÇÃO DE OPERAÇÕES EM UM PROCESSO  
DE FABRICAÇÃO DE CABEÇOTES DE MOTORES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2013

EDUARDO HENRIQUE DOS SANTOS

# **AUTOMATIZAÇÃO DE OPERAÇÕES EM UM PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABEÇOTES DE MOTORES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Diplomação como requisito parcial para a obtenção do grau de Tecnólogo do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: M.Sc. Simone Massulini Acosta

CURITIBA  
2013

EDUARDO HENRIQUE DOS SANTOS

## **AUTOMATIZAÇÃO DE OPERAÇÕES EM UM PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CABEÇOTES DE MOTORES**

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 10 de maio de 2013, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Curitiba, 10 de maio de 2013

---

Prof. Dr. Milton Luiz Polli  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Mecânica

---

Prof. Sérgio Moribe  
Responsável pelo Trabalho de Conclusão de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. MSc. Anderson Levati Amoroso

---

Prof<sup>a</sup>. MSc. Simone Massulini Acosta  
Orientadora

---

Prof. Dr. Sérgio Leandro Stebel

**A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.**

## RESUMO

SANTOS, Eduardo Henrique dos. **Automatização de Operações em um Processo de Fabricação de Cabeçotes de Motores**. 2013. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Cada vez tem se tornado mais comum a existência de etapas da produção realizadas por células robotizadas, principalmente na indústria automobilista. Nesse trabalho de conclusão de curso foi realizada a automatização de uma estação de trabalho através da utilização de um robô, em uma empresa fabricante de motores. Para isso, foi desenvolvida uma garra para o robô, sendo essa capaz de realizar as operações de parafusamento e de desparafusamento do cabeçote em um adaptador que transita pela linha de produção. Foi desenvolvida a lógica das operações de desparafusamento e de parafusamento dos cabeçotes envolvendo o robô, o controlador programável, os sensores e a garra, entre outros. Foram garantidos os aspectos de qualidade exigidos pela empresa fabricante de motores e os aspectos de segurança de uma célula robotizada. Com a instalação do sistema, a empresa obterá ganho de produtividade, redução do tempo de execução das operações, repetibilidade das operações e melhoria da qualidade do produto.

**Palavras chave:** Robô. Célula automatizada. Garra robótica. Controlador programável.

## ABSTRACT

SANTOS, Eduardo Henrique dos. **Automatização de Operações em um Processo de Fabricação de Cabeçotes de Motores**. 2013. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

It is increasingly common to find production steps performed by robotic cells, particularly in the automotive industry. In this work of course conclusion was held automating a workstation through the use of a robot in an engine manufacturer. For this, we developed a grab for the robot, being able to perform such operations screwing and unscrewing a part of engine into an adapter that moves the production line. It was developed logic operations screwing and unscrewing a part of engine involving the robot programmable controller, the sensors and the grab, among others. Were guaranteed the quality aspects required by the engine manufacturer and the safety aspects of a robot cell. With the installation of the system, the company will get increased productivity, reduced time to perform operations, repeatability of operations and improving product quality.

**Keywords:** Robot. Automated cell. Grab robotics. Programmable controller.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- <i>Layout</i> da estação de trabalho antes de ser automatizada.....	9
Figura 2- Junta e vínculos de um braço robótico.....	12
Figura 3- Robô industrial com seis graus de liberdade. ....	13
Figura 4- Tipos de juntas nos robôs. ....	13
Figura 5- Estrutura mecânica de robôs. ....	15
Figura 6- Robô ABB IRB4600-60/2.05. ....	17
Figura 7- Sensores indutivos.....	18
Figura 8- Sistema pneumático típico. ....	19
Figura 9- Relação entre pistão, área e força. ....	20
Figura 10- Comparação entre fuso de esfera e fuso comum. ....	24
Figura 11- <i>Layout</i> das operações OP. 320 e OP. 340 anterior a automatização. ....	25
Figura 12- Operador realizando as operações OP. 320 e OP. 340 anterior a automatização. ....	26
Figura 13- <i>Layout</i> proposto com o robô. ....	27
Figura 14- Principais ações para automatização das operações. ....	28
Figura 15- Projeto mecânico da garra desenvolvido pela Direfex. ....	29
Figura 16- Modelos de cabeçote de motores. ....	31
Figura 17- Modelos de parafuso para cabeçotes. ....	31
Figura 18- Limites de funcionamento da garra. ....	32
Figura 19- Ponteira com sistema de movimento. ....	32
Figura 20- Peças fabricadas em alumínio. ....	34
Figura 21- Buchas centralizadoras e chapa de chumbamento.....	35
Figura 22- Robô chumbado na estação de trabalho. ....	36
Figura 23- Ponto de plano de trabalho do robô. ....	36
Figura 24- Comparativo da estação da operação de desparafusamento.....	38
Figura 25- Aplicação de material no conjunto de indexamento. ....	38
Figura 26- Grade de proteção da célula robotizada. ....	39
Figura 27- Trava de segurança na porta de acesso.....	40
Figura 28- Fluxograma da operação de desparafusamento.....	41
Figura 29- Sensores inferiores da garra acionados.....	42
Figura 30- Sensor superior de uma das parafusadeiras acionado.....	43
Figura 31- Tela da IHM. ....	44
Figura 32- Fluxograma da operação de parafusamento .....	45
Figura 33- <i>Drive</i> das parafusadeiras. ....	47
Figura 34- Seleção da tela <i>Screen Container</i> na IHM do robô.....	48
Figura 35- Acesso à tela de botões.....	49
Figura 36- Botão para mover o robô para modo degradado. ....	49
Figura 37- Tela para acionamento de modo degradado na IHM.....	50
Figura 38- Seleção de função e desligamento da parafusadeira. ....	51
Figura 39- Abertura do <i>drive</i> da parafusadeira.....	51
Figura 40- Troca de cabos da parafusadeira.....	52
Figura 41- Retirada de parafusos do pulmão. ....	52
Figura 42- Fixação da caixa de botoeiras. ....	52

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
1.1	PROBLEMA	8
1.2	JUSTIFICATIVA	9
1.3	OBJETIVOS	10
1.3.1	Objetivo Geral	10
1.3.2	Objetivos Específicos	10
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	11
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>12</b>
2.1	ROBÓTICA	12
2.2	SENSORES INDUSTRIAIS	17
2.3	SISTEMAS PNEUMÁTICOS	18
2.4	MATERIAIS UTILIZADOS NO PROJETO DE MÁQUINAS	20
2.5	FUSOS DE ESFERAS	23
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO PROJETO</b>	<b>25</b>
3.1	OPERAÇÃO MANUAL DO SISTEMA	25
3.2	AUTOMATIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES	26
3.3	DESENVOLVIMENTO DA GARRA	28
3.4	INSTALAÇÃO DO ROBÔ	34
3.5	SISTEMA PNEUMÁTICO	37
3.6	SEGURANÇA DA CÉLULA ROBOTIZADA	39
3.6	LÓGICA DE FUNCIONAMENTO DAS OPERAÇÕES	40
3.6.1	Operação de Desparafusamento	41
3.6.2	Operação de Parafusamento	44
3.6.3	Operação em Modo Degradado	48
<b>4</b>	<b>TESTES E RESULTADOS</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>54</b>
	REFERÊNCIAS	55

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria moderna encontra-se num momento onde a automatização dos processos industriais é fundamental para o sucesso de seus produtos, pois possibilita o aumento de produção com garantia de repetibilidade, que é um fator fundamental para a qualidade dos produtos, além de obter um maior controle do processo.

A automação industrial está presente em diversos níveis, desde simples circuitos integrados, passando por máquinas e ferramentas elétricas até sistemas completos como os robôs.

Na década de 1950 foram desenvolvidas duas tecnologias, por Cyril Walter Kenward e George C. Devol, que podem ser relacionadas com a origem da robótica moderna: o comando numérico e o telecomando. O conceito atual de robô industrial foi criado por Joseph Engelberger que, juntamente com Devol, desenvolveu o primeiro protótipo de robô (ROMANO, 2002).

De acordo com a Associação das Indústrias da Robótica (*Robot Industries Association*, RIA), um robô industrial é um manipulador reprogramável, multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais em movimento variáveis programados para a realização de uma variedade de tarefas (ROSARIO, 2005).

Segundo dados da *International Federation of Robotics* no ano de 2007, os robôs industriais instalados no mundo são utilizados em solda ponto (26%), solda arco (24%), manipulação (37%), paletização (6%), montagem (2%), outras aplicações diversas (5%). Dos 999.100 robôs instalados no mundo até 2007, o Japão possuía 40%, seguido pela Alemanha com 14%. O Brasil tem cerca de 0,3% dos robôs instalados ao redor do mundo (CRAIG, 2012).

A utilização de robôs torna mais flexível a produção e apresenta respostas mais rápidas às necessidades de adequação da produção ao mercado. Como os robôs são reprogramáveis, apresentam benefícios em custos, incluindo aumento da produção, redução de custos operacionais, aumento na qualidade do produto, eliminação de perigos para a segurança e saúde dos operadores, alta precisão, operação em turnos sem paradas e redução do espaço fabril no chão de fábrica (CRISPIM; MEDINA, 2010).



Atualmente, para a realização de etapas da produção é comum encontrar células robotizadas nas grandes indústrias, sendo que nas montadoras de automóveis não é diferente. Nessas indústrias, os postos de trabalho humano estão sendo continuamente substituídos por células robotizadas, o que pode ser comprovado através do resultado de estudo realizado no Brasil em 1998, onde cerca de 65% dos robôs existentes no país estavam instalados na indústria automotiva (ROSARIO, 2005).

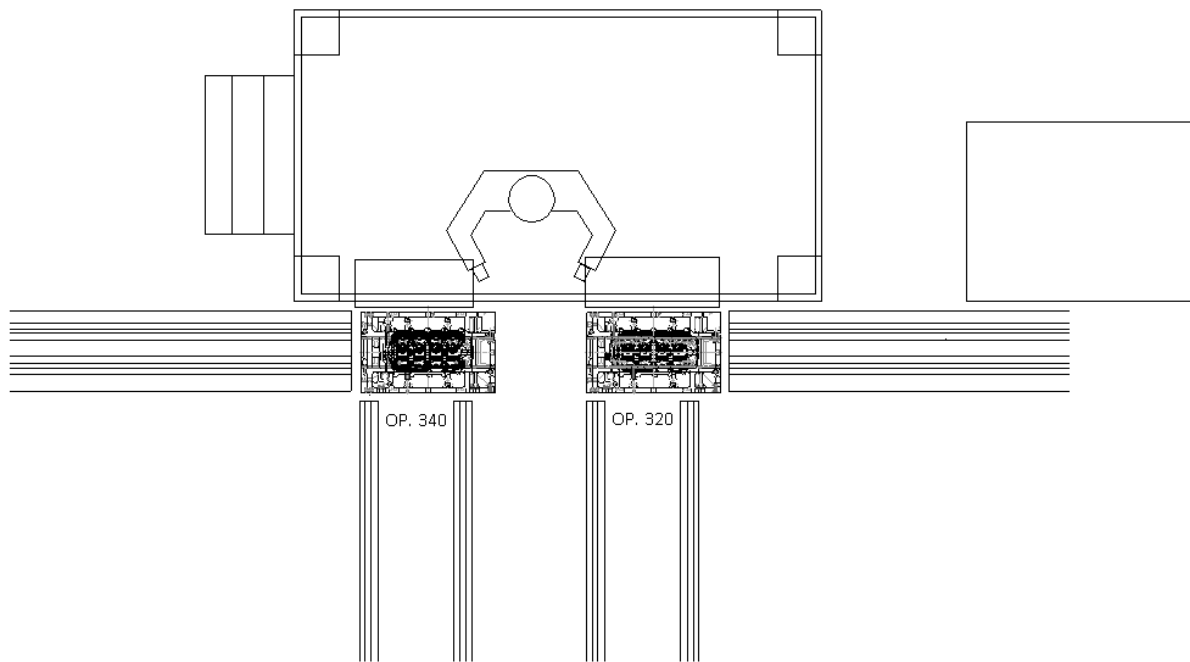
## 1.1 PROBLEMA

Visando melhorar a produtividade, uma empresa fabricante de motores instalada na região metropolitana de Curitiba, resolveu automatizar uma das etapas de fabricação através da instalação de um robô. Por questões de sigilo, não será apresentado o nome da empresa fabricante de motores.

A Figura 1 apresenta a situação de parte da linha desta empresa antes de ser automatizada. A estação de trabalho a ser automatizada utiliza um operador que realiza o desparafusamento, denominada operação 320 (OP. 320), e o parafusamento, denominada operação 340 (OP. 340), de cabeçotes em adaptadores que transportam esses cabeçotes pela linha de fabricação.

O processo da Figura 1 consiste da chegada do cabeçote na estação da operação 320 (OP. 320), onde o operador realiza o desparafusamento de quatro parafusos que fixam o cabeçote no adaptador. O cabeçote segue para a operação 330, onde é realizada a usinagem do mesmo, e retorna para o posto do operador, onde esse realiza a operação 340 (OP. 340), em que o operador parafusa novamente o cabeçote no adaptador utilizando os parafusos retirados na operação 320.

As operações 320 e 340 são duas atividades repetitivas realizadas pelo operador durante todo o turno de trabalho. Com a utilização de um robô para realizar essas duas operações de forma automática, retira-se o operador dessas tarefas repetitivas, designando para outro posto de trabalho.



**Figura 1- Layout da estação de trabalho antes de ser automatizada.**  
**Fonte: Autoria própria.**

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A automação industrial está no dia a dia do profissional da área de mecânica e o conhecimento do funcionamento de robôs, sistemas pneumáticos, sensores, bem como a integração desses, são fundamentais para esses profissionais.

Para as empresas que instalam robôs e sistemas automáticos em suas linhas de produção, o aumento de produtividade, a repetibilidade das operações e a redução dos custos de produção ao longo do tempo justificam o alto investimento inicial realizado com a instalação de robôs e sistemas automáticos, tornando essa prática cada vez mais comum nas indústrias, principalmente no segmento automotivo. Desta forma, tornam-se necessários profissionais e empresas especializadas na instalação desses equipamentos, como a Direfex, empresa responsável pela instalação do sistema automatizado na empresa fabricante de motores.

Com a instalação do robô, a empresa fabricante de motores obterá ganho de produtividade, redução do tempo de execução para a realização das operações

320 e 340 de forma automática, garantia que a operação seja realizada sempre da mesma forma e melhoria da qualidade do produto. Com a instalação desse equipamento, o operador será realocado para outras atividades dentro do processo produtivo da empresa.

Para a Direfex, além do ganho financeiro, a possibilidade de consolidar-se como um dos principais fornecedores de equipamentos automáticos para a empresa fabricante de motores foi um dos principais atrativo desse projeto.

Com esse projeto obteve-se conhecimento abrangente sobre o funcionamento de robôs industriais, as modificações necessárias na infraestrutura do sistema existente e o sensoriamento em sistemas automáticos.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Automatizar a estação de trabalho das operações de desparafusamento (OP. 320) e de parafusamento (OP. 340) do processo de fabricação dos cabeçotes em uma empresa fabricante de motores através da utilização de um robô.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver uma garra para o robô que permita executar o aperto e o desaperto dos parafusos;
- Fabricar as peças para a montagem da garra para o robô;
- Instalar um robô na estação de trabalho das operações 320 e 340;
- Instalar um sistema pneumático na entrada da operação 320 para o posicionamento do cabeçote;
- Instalar sensores na garra do robô;
- Instalar a tela de proteção para a célula robotizada;
- Desenvolver a lógica de funcionamento da estação com o robô;
- Realizar testes na estação de trabalho automatizada.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 apresenta o contexto do projeto, a área de desenvolvimento da pesquisa, assim como o problema a ser resolvido, a justificativa para a execução e os objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento do projeto.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica necessária para a realização do projeto, contendo informações sobre robótica, sensores industriais, sistemas pneumáticos, materiais e fuso de esferas.

O desenvolvimento do projeto é apresentado no terceiro capítulo. Inicia-se com a descrição da operação realizada em modo manual para, em seguida, descrever em detalhes a automatização da estação de trabalho das operações 320 e 340.

O quarto capítulo descreve os testes e os resultados obtidos com a automatização da estação de trabalho, destacando os principais ganhos obtidos.

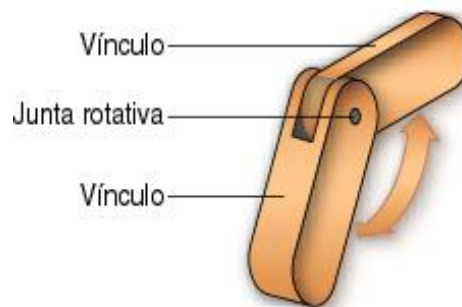
Por fim, o quinto capítulo apresenta a conclusão do projeto.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ROBÓTICA

Um robô industrial consiste de um braço mecânico motorizado programado para realizar tarefas de manipulação de peças e/ou ferramentas no espaço instruído por um controlador e informado por sensores (ROSÁRIO, 2005).

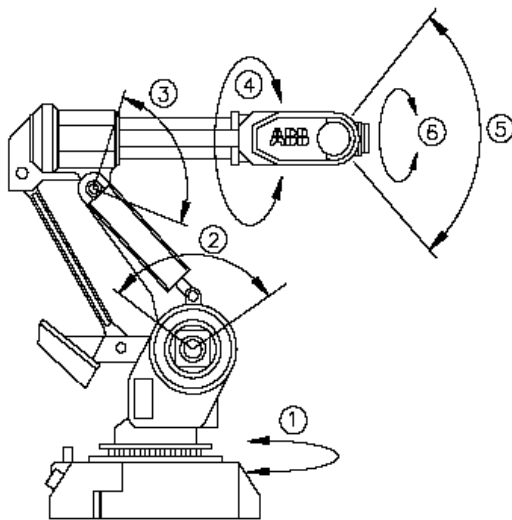
O braço manipulador do robô pode mover-se para várias posições pela existência de juntas, também denominados eixos, ligadas a dois vínculos, conforme apresentado na Figura 2. Os movimentos das juntas podem ser lineares ou rotativas (PAZOS, 2002).



**Figura 2- Junta e vínculos de um braço robótico.**  
**Fonte: Rosário (2005).**

O número de graus de liberdade que um robô possui é determinado pelo número de juntas existentes no sistema. Os robôs mais comuns possuem de três a seis graus de liberdade, ou seja, possuem de três a seis juntas (PAZOS, 2002).

Um robô industrial com seis graus de liberdade possui três juntas para o posicionamento da ferramenta e três juntas para a orientação. Com menos de seis graus de liberdade não é possível alcançar todos os pontos no ambiente de trabalho do robô (ROSÁRIO, 2005). A Figura 3 apresenta um exemplo de robô industrial com seis graus de liberdade (HENRIQUES, 2013).



#### EIXOS INFERIORES

Junta 1: Giro da Base,  
 Junta 2: Braço Superior (movimento para frente e para trás),  
 Junta 3: Braço Superior (para cima e para baixo).

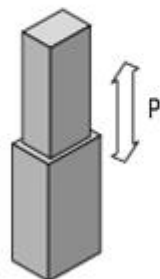
#### EIXOS SUPERIORES

Junta 4: Giro do Braço Superior,  
 Junta 5: Giro do Punho,  
 Junta 6: Giro da flange ou giro da ferramenta.

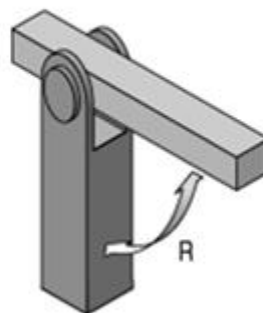
**Figura 3- Robô industrial com seis graus de liberdade.**  
**Fonte: Henriques (2013).**

Segundo Rosário (2005), existem três tipos de juntas nos robôs, conforme apresentadas na Figura 4:

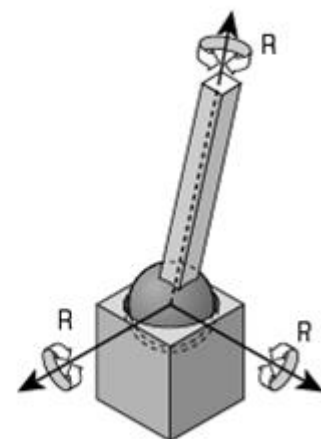
- Prismáticas ou deslizantes: permitem o movimento linear entre dois vínculos;
- Rotativas: existe movimento de rotação entre os vínculos.
- Bola-e-encaixe: a conexão se comporta como uma combinação de três juntas rotativas, permitindo movimento de rotação em torno das três juntas.



**(a) prismáticas**



**(b) rotativa**



**(c) bola-e-encaixe**

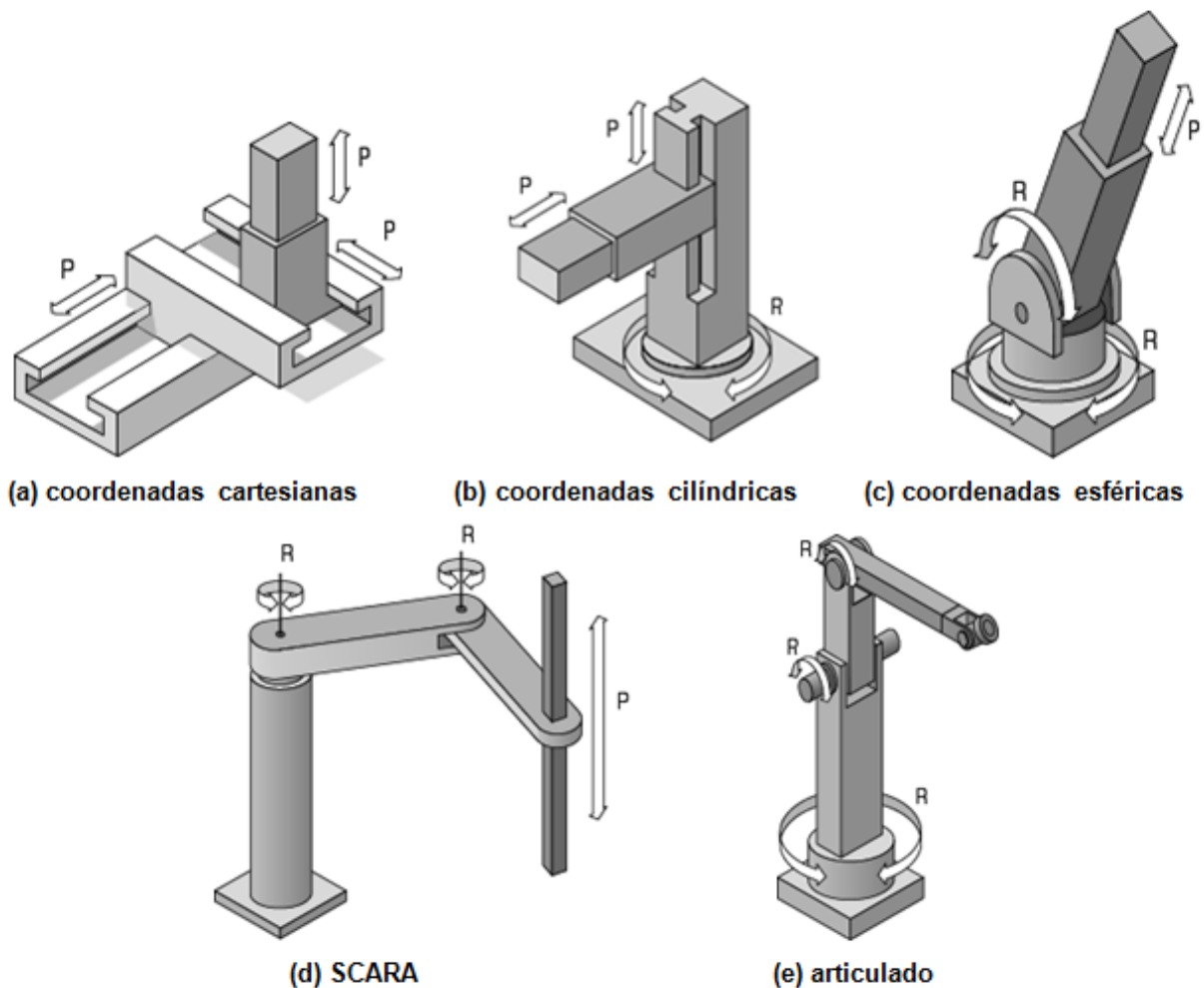
**Figura 4- Tipos de juntas nos robôs.**  
**Fonte: Rosário (2005).**

Segundo Romano (2002), os robôs são classificados quanto à estrutura mecânica, quanto à sua geração tecnológica e quanto à participação do operador humano em seu funcionamento.

De acordo com a Federação Internacional de Robótica, as principais configurações para classificação pela estrutura mecânica dos robôs são (GROOVER, 2012; ROMANO, 2002; ROSÁRIO, 2005):

- a) Robô de coordenadas cartesianas ou pórtico: essa configuração possui três juntas do tipo deslizante (prismáticas), resultando em um movimento coincidente com um sistema de coordenadas cartesianas. Esse robô também é conhecido como prismático-prismático-prismático (PPP). O volume de trabalho gerado é retangular.
- b) Robô de coordenadas cilíndricas: esse sistema consiste de duas juntas deslizantes e uma junta rotativa formando um volume de trabalho cilíndrico. Esse robô também é conhecido como rotativo-prismático-prismático (RPP).
- c) Robô de coordenadas esféricas: esse conjunto gera um volume de trabalho de, aproximadamente, uma esfera e é composto por duas juntas rotativas e uma deslizante, formando um sistema de coordenada polar (PAZOS, 2002).
- d) Robô SCARA: possui duas juntas rotativas em paralelo, para se obter movimento em um plano, e uma junta deslizante perpendicular a esse plano.
- e) Robô articulado, de revolução ou antropomórfico: essa configuração é a que possibilita a maior mobilidade ao robô, possuindo ao menos três juntas de rotação, sendo que a junta de rotação da base é ortogonal às outras duas. O volume de trabalho gerado é cilíndrico.
- f) Robô paralelo: apresenta configuração do tipo plataforma e mecanismos em forma cinemática fechada. O volume gerado é aproximadamente semiesférico.

A Figura 5 apresenta a estrutura mecânica de um robô de coordenadas cartesianas, de coordenadas cilíndricas, de coordenadas esféricas, SCARA e articulado.



**Figura 5- Estrutura mecânica de robôs.**  
**Fonte: Groover (2012).**

Segundo Rivin (1988) e Rosen (1985), os robôs são divididos em três gerações tecnológicas. A primeira geração é a dos robôs denominados de sequência fixa, que são aqueles que, uma vez programados, executam a tarefa de forma sequencial. Para que os robôs de primeira geração realizem uma tarefa diferente, devem ser reprogramados. A interação do robô com o meio deve ser muito bem arquitetada, pois esse necessita de posicionamentos precisos para a realização da tarefa. A maioria dos robôs industriais em funcionamento pertencem a esse grupo.

Os robôs de segunda geração possuem recursos computacionais e sensores que permitem ao robô agir em um ambiente parcialmente estruturado, calculando em tempo real os parâmetros de controle para a realização dos movimentos. Na terceira geração estão os robôs que apresentam inteligência



suficiente para se comunicar com outros robôs ou sistemas computacionais e armazenar programas, possibilitando tomadas de decisões pelo próprio robô.

A classificação dos robôs quanto à participação do operador no funcionamento é dividida em dois grupos: sistema robótico e sistema teleoperado.

No sistema robótico, o robô se encontra em um ambiente totalmente estruturado onde todas as variantes do processo são facilmente previstas e controladas por sensores. No sistema teleoperado, o robô se encontra em um ambiente não estruturado em virtude das variantes do processo serem difíceis de serem quantificadas e controladas (ROMANO, 2002).

A utilização de sensores permite que o robô obtenha informações sobre seu próprio comportamento e sobre o ambiente de trabalho onde está inserido, possibilitando a realização das tarefas programadas e a modificação das tarefas, caso necessário. Os sensores são agrupados em dois grupos, que são os internos, ou proprioceptivos, que fornecem informações sobre as variáveis do próprio robô, e externos, ou exteroceptivos, cujo objetivo é obter informações do ambiente que o circunda (ROSÁRIO, 2005).

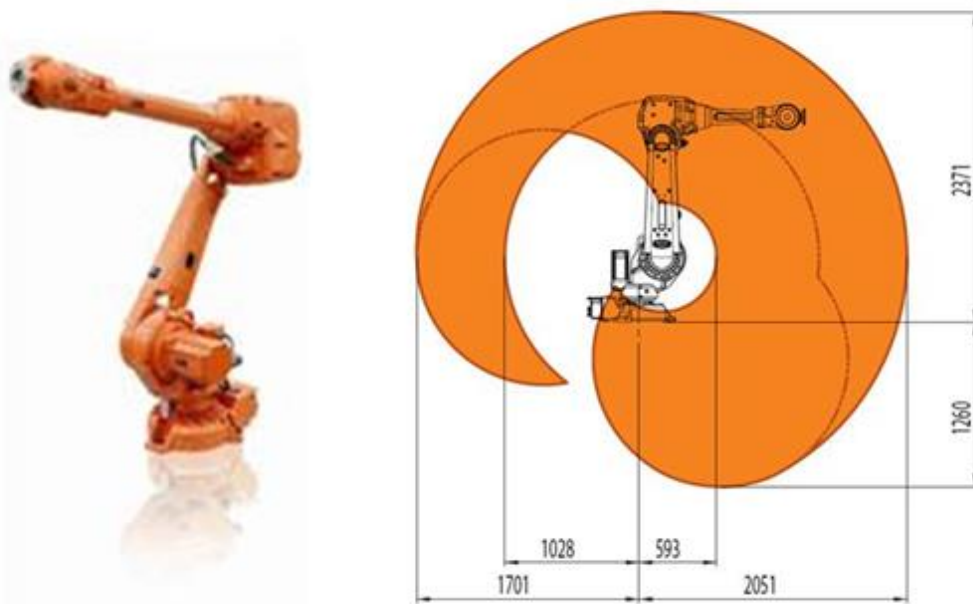
Para realizar a tarefa designada, o robô necessita de uma ferramenta terminal que consiste em um sistema montado na extremidade do vínculo mais distante da base do robô. São exemplos de ferramentas terminais a pistola de solda, as garras, as parafusadeiras, entre outras (ROSÁRIO, 2005).

Programar um robô significa estabelecer uma sequência de operações a serem executadas pelo robô. Existem basicamente dois métodos de programação de robôs, sendo mais comum e simples o de aprendizagem ou *playback*, onde é utilizado o comando manual para programação. O outro método utiliza um computador e vários tipos de linguagem de programação (ROSÁRIO, 2005).

A programação por aprendizagem pode ser realizada mediante a movimentação angular das juntas do robô, com movimentos na direção cartesiana ou movimentos de reorientação da ferramenta. A programação por linguagens é o processo pelo qual os programas são desenvolvidos sem a necessidade do robô propriamente dito. Atualmente, um misto dos métodos de programação é utilizado para configurar um robô, onde as rotinas são realizadas por linguagem de programação e os pontos críticos do processo são definidos utilizando-se a aprendizagem (GROOVER, 2012).

Ao ligar o robô industrial e antes de iniciar a movimentação do mesmo deve-se executar alguns procedimentos para a calibração do sistema. Realiza-se a sincronização das juntas, onde os *encoders* são zerados com o robô posicionado nos pontos de calibração, e a calibração da ferramenta terminal, informando ao sistema as características físicas da ferramenta.

Nesse projeto foi utilizado o robô articulado do fabricante ABB, modelo IRB4600-60/2.05 (ABB, 2013). A Figura 6 apresenta esse robô e sua área de trabalho, sendo as distâncias dadas em milímetros.



**Figura 6- Robô ABB IRB4600-60/2.05.**  
**Fonte: ABB (2013).**

## 2.2 SENSORES INDUSTRIAIS

Um sensor pode ser definido como um transdutor que altera a sua característica física interna devido a um fenômeno físico externo (ROSÁRIO, 2005).

Os principais tipos de sensores industriais são:

- a) de proximidade: ópticos, indutivos, ultrassônicos e capacitivos;
- b) de posição e velocidade: potenciômetros, encoders e tacogeradores;
- c) de força e de pressão;
- d) de temperatura;

Os sensores de proximidade, normalmente digitais (*on/off*), são largamente utilizados em processos automatizados para detectar a presença ou ausência de um objeto.

Um dos sensores de proximidade mais comum é o sensor indutivo, que é utilizado para detectar a presença de objetos metálicos. O sensor está ativo quando o objeto metálico se aproxima do sensor, mudando o estado de saída desse (STURM, 2004).

Os sensores de proximidade indutivos são projetados para gerar um campo eletromagnético. Quando um objeto metálico penetra nesse campo, as correntes de superfície, conhecidas como correntes de *Foucault*, são induzidas no objeto metálico. Essas correntes de *Foucault* absorvem a energia do campo e o circuito eletrônico do sensor detecta essa alteração e gera um sinal para comutar sua saída. Quando o objeto se afasta da área do campo eletromagnético, o sensor retorna ao seu estado normal (ROCKWELL, 1999). A Figura 7 apresenta exemplos de sensores indutivos da marca Pepperl+Fuchs.



**Figura 7- Sensores indutivos.**  
**Fonte: Pepperl+Fuchs (2013).**

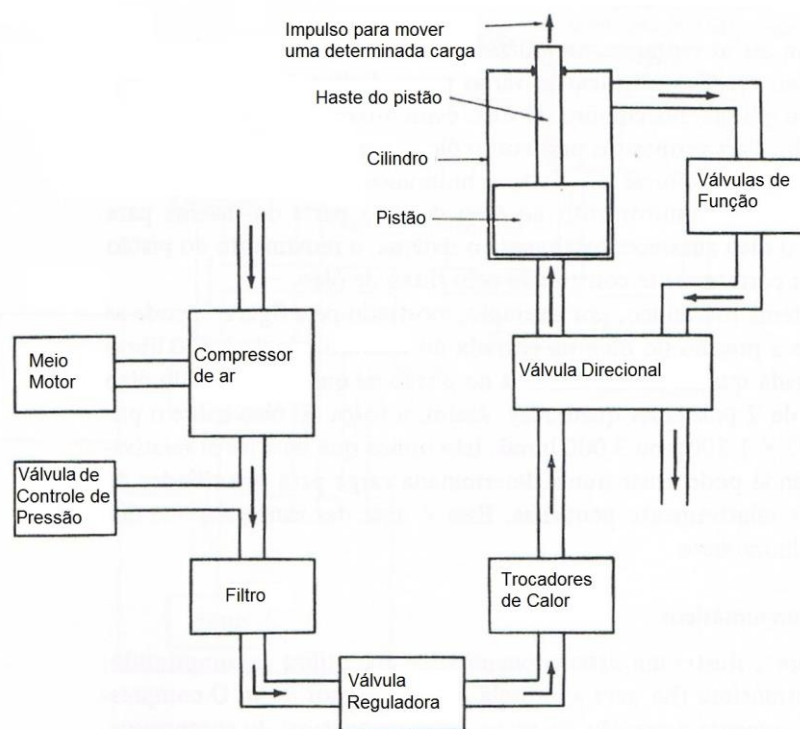
## 2.3 SISTEMAS PNEUMÁTICOS

Os sistemas pneumáticos são utilizados para transporte de energia (força e movimento) de um ponto gerador de força, normalmente um motor, para um ponto atuador da força, normalmente um atuador mecânico (STEWAET, 1994).

Para realizar esse transporte e transformação da energia os sistemas pneumáticos possuem alguns elementos essenciais. Segundo Drapinski (1975), os sistemas pneumáticos apresentam os seguintes elementos essenciais:

- a) Fluido para transmitir pressão e movimento;
- b) Reservatório que contém o fluido normalmente presentes no compressor;
- c) Bombas para produzir o fluxo do fluido normalmente presente no compressor;
- d) Válvulas para controlar pressões e velocidade e dirigir o fluxo;
- e) Cilindros ou motor pneumático para converter “força fluida” em mecânica;
- f) Dutos de transporte de fluido;
- g) Filtros para manter o fluido limpo;
- h) Trocadores de calor para manter o fluido na temperatura desejada.

A Figura 8 ilustra um sistema pneumático indicando os principais elementos.



**Figura 8- Sistema pneumático típico.**  
**Fonte: Stewaet (1994).**

Normalmente o cilindro é o componente responsável pela transformação da pressão exercida pelo sistema fluido em força, sendo essa transformação dada pela equação (1) (STEWAEET, 1994):

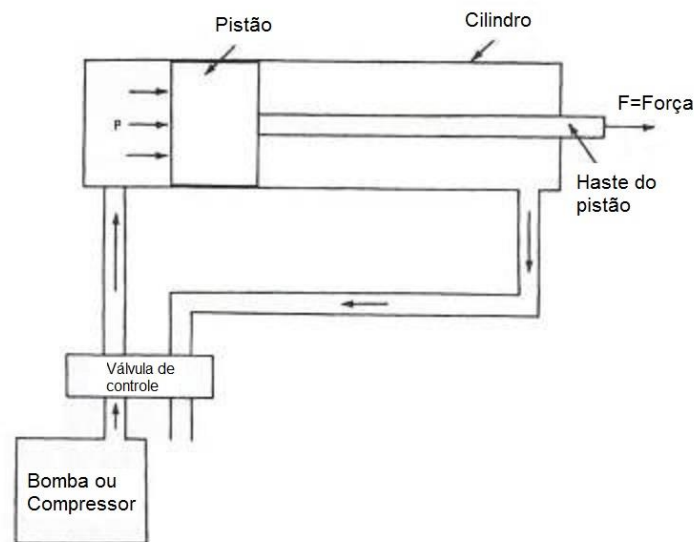
$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde: P = pressão, em kgf/cm<sup>2</sup>;

F = força, em kgf;

A = área onde está sendo aplicada a pressão, em cm<sup>2</sup>.

A Figura 9 ilustra uma pressão atuando no lado esquerdo do pistão gerando uma força F na haste do cilindro.



**Figura 9- Relação entre pistão, área e força.**  
**Fonte: Stewaet (1994).**

## 2.4 MATERIAIS UTILIZADOS NO PROJETO DE MÁQUINAS

A escolha do material a ser utilizado no projeto de máquinas é de fundamental importância para o correto funcionamento do equipamento e, para realizar tal escolha, deve-se conhecer algumas características e fundamentos básicos da ciência dos materiais.

As propriedades mecânicas de um material são geralmente determinadas por meio de testes destrutivos de amostras sob condições de carregamento

controladas (NORTON, 2004). Não podendo realizar tais testes, deve-se aplicar os dados de propriedades mecânicas dos materiais publicados e padronizados pelos órgãos certificadores como a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e *American Iron and Steel Institute* (AISI).

Um dos materiais mais usados na indústria mecânica é o ferro, por ser de fácil processamento, abundante na crosta terrestre e por ligar-se com muitos outros elementos metálicos e não-metálicos, principalmente o carbono, formando o aço.

A classificação mais utilizada para o aço é a feita pela AISI e *Society of Automotive Engineers* (SAE) E apresentada no Quadro 1, onde os XX corresponde ao valor do teor de carbono. Assim, por exemplo, o aço SAE 1020 possui 0,20% de carbono, em média.

O aço carbono comum é designado com o número 1 no primeiro dígito e 0 no segundo, já que não possui elemento de liga além do carbono. Os aços de baixo carbono são os de classificação SAE 1005 a 1030, os de médio carbono são os de classificação 1035 a 1055 e os de alto carbono, de 1060 a 1095 (NORTON, 2004).

Os aços liga contêm vários elementos adicionados em quantidades pequenas para melhorar as propriedades mecânicas do material, tais como resistência, capacidade de endurecimento, resistência à temperatura, resistência à corrosão entre outras.

Algumas peças de máquinas necessitam ser resistentes ao desgaste. A dureza é um indicador dessa resistência, mas não garantia de resistência. Para melhorar a dureza dos aços são utilizados vários tratamentos térmicos, sendo um dos mais comuns a cementação, que consiste no enriquecimento superficial de carbono em certos aços, aquecidos convenientemente em contato com substâncias carbonáceas. Após a cementação, os aços devem ser submetidos à têmpera, que é o processo de aquecimento do aço até a temperatura de austenitização, onde ocorre a mudança da característica molecular do aço, seguido de um resfriamento rápido (CHIAVERINI, 2008).

Os aços mais comuns utilizados para cementação são os aços carbono, aços com baixo teor de liga e aços com teor de liga mais elevado. Dentre os aços com baixo teor de liga destacam-se o SAE 86XX e entre os de alto teor em liga, o SAE 4320 e 46XX.

Designação SAE/AISI	Tipo de Aço
10XX	Aços-carbono comuns
11XX	Aços de usinagem (ou corte) fácil, com alto S
13XX	Aço-manganês com 1,75% de Mn
15XX	Aço-manganês com 1,00% de Mn
23XX	Aço-níquel com 3,50% de Ni
25XX	Aço-níquel com 5,00% de Ni
31XX	Aço-níquel-cromo com 1,25% de Ni e 0,65% de Cr
33XX	Aço-níquel-cromo com 3,50% de Ni e 1,55% de Cr
40XX	Aços-molibdênio com 0,25% de Mo
41XX	Aços-cromo-molibdênio com 0,50% ou 0,90% de Cr e 0,12% ou 0,20% de Mo
43XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 1,80% de Ni, 0,50% ou 0,80% de Cr e 0,25% de Mo
46XX	Aços-níquel-molibdênio com 1,55% ou 1,80% de Ni e 0,20% ou 0,25% de Mo
47XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 1,05% de Ni, 0,45% de Cr e 0,20% de Mo
48XX	Aços-níquel-molibdênio com 3,50% de Ni e 0,25% de Mo
50XX	Aços-cromo com 0,28% ou 0,65% de Cr
50BXX	Aços-cromo-boro com baixo teor de Cr e no mínimo 0,0005% de B
51XX	Aços-cromo com 0,80% a 1,05% de Cr
52XX	Aços-rolamento
61XX	Aços-cromo-vanádio com 0,80% ou 0,95% de Cr e 0,10% ou 0,15% de V
86XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com baixos teores de Ni, Cr e Mo
87XX	Idem
92XX	Aços-silício-manganês com 0,85% Mn e 2,00% de Si
93XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 3,25% de Ni 1,20% de Cr e 0,12% de Mo
94BXX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com baixos teores de Ni, Cr, Mo e, no mínimo, 0,0005% de B
98XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 1,00% de Ni, 0,80% de Cr e 0,25% de Mo

**Quadro 1- Classificação AISI/SAE para ligas de aço.**

Fonte: Gerdau (2013).

O alumínio é o metal não ferroso mais amplamente utilizado, perdendo somente para o aço em termos de consumo mundial. A grande vantagem do alumínio é sua relação de resistência por peso, a ductilidade, a excelente maleabilidade, a capacidade de ser fundido e de ser soldado, a resistência à corrosão, a alta condutividade e o custo. A densidade do alumínio puro é 1/3 menor que a do aço e os limites de resistência, da mesma forma, é três vezes menor. No entanto, o alumínio puro é pouco utilizado, sendo comum sua utilização em liga, onde os limites de resistência a tração variam entre 480 a 676 MPa, dependendo da liga. A liga de alumínio mais resistente é da série 7000, chamada de alumínio

aeronáutico, atingindo até 676 MPa de limite de resistência de ruptura por tração (NORTON, 2004).

O Quadro 2 apresenta a classificação do alumínio segundo a *Aluminum Association* (NORTON, 2004).

Série	Elementos de liga principais	Ligas secundárias
1XXX	Comercialmente puro (99%)	Nenhuma
2XXX	Cobre (Cu)	Mg, Mn, Si
3XXX	Manganês (Mn)	Mg, Cu
4XXX	Silício (Si)	Nenhuma
5XXX	Magnésio (Mg)	Mn, Cr
6XXX	Magnésio e Silício	Cu, Mn
7XXX	Zinco (Zn)	Mg, Cu, Cr

**Quadro 2- Designação para ligas de alumínio.**  
**Fonte: Norton (2004).**

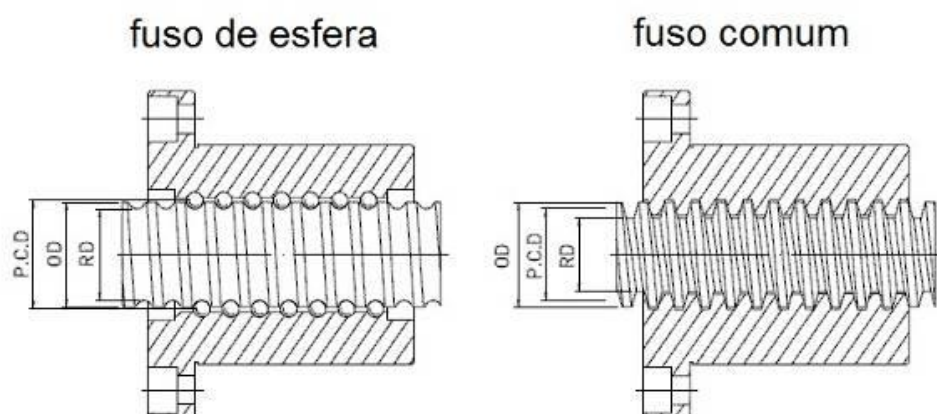
## 2.5 FUSOS DE ESFERAS

O fuso de esferas, também chamado de rolamento de parafuso de esfera ou parafuso de esfera recircular, consiste de um parafuso e uma porca com esferas integradas com retorno por tubos externos ou canaletas internas. Os fusos de esferas são o tipo mais comum de fusos utilizados na indústria mecânica e nas máquinas de precisão. A primeira função do fuso de esfera é converter movimento circular em movimento linear, ou torque em força (HIWIN, 2007).

Existem vários benefícios em se utilizar um fuso de esferas, em vez de um fuso convencional, tais como, a alta eficiência e reversibilidade, eliminação de folgas, alta rigidez, alta precisão. Comparado com o fuso comum, Figura 10, os fusos de esfera apresentam esferas entre a porca e o fuso e, com isso, o atrito de escorregamento existente nos fusos convencionais é substituído pelo movimento das esferas (HIWIN, 2007).

Os fusos de esfera são utilizados em diversas aplicações na indústria, onde se destacam as máquinas de comando numérico computadorizado (CNC), máquinas de precisão, equipamentos cartesianos, máquinas de transporte, entre outros (HIWIN, 2007).



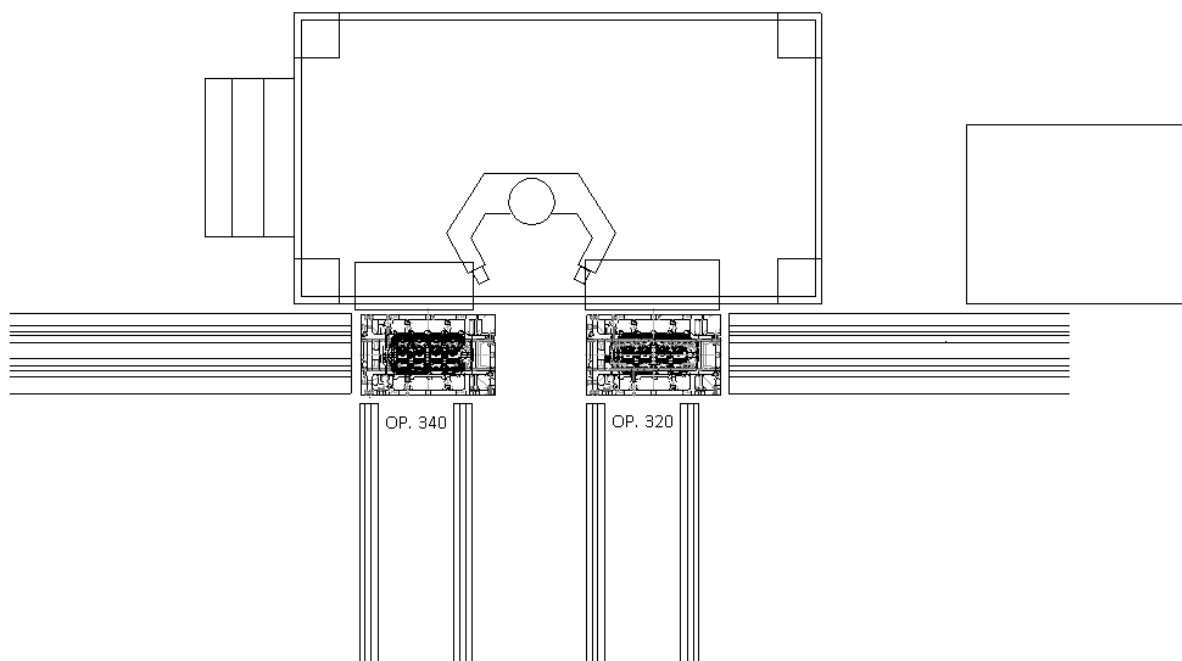


**Figura 10- Comparação entre fuso de esfera e fuso comum.**  
Fonte: Hiwin (2007).

### 3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

#### 3.1 OPERAÇÃO MANUAL DO SISTEMA

A Figura 11 apresenta a situação anterior à automatização da linha da montadora. O posto utilizava um operador para realizar o desparafusamento, denominado operação 320 (OP 320), e parafusamento, denominado operação 340 (OP 340), de cabeçotes em adaptadores, que transportam esses pela linha de fabricação.



**Figura 11- Layout das operações OP. 320 e OP. 340 anterior a automatização.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Como se pode verificar na Figura 12, o operador realizava as operações em pé sendo necessário um rodízio de pessoas para evitar a fadiga do operador.



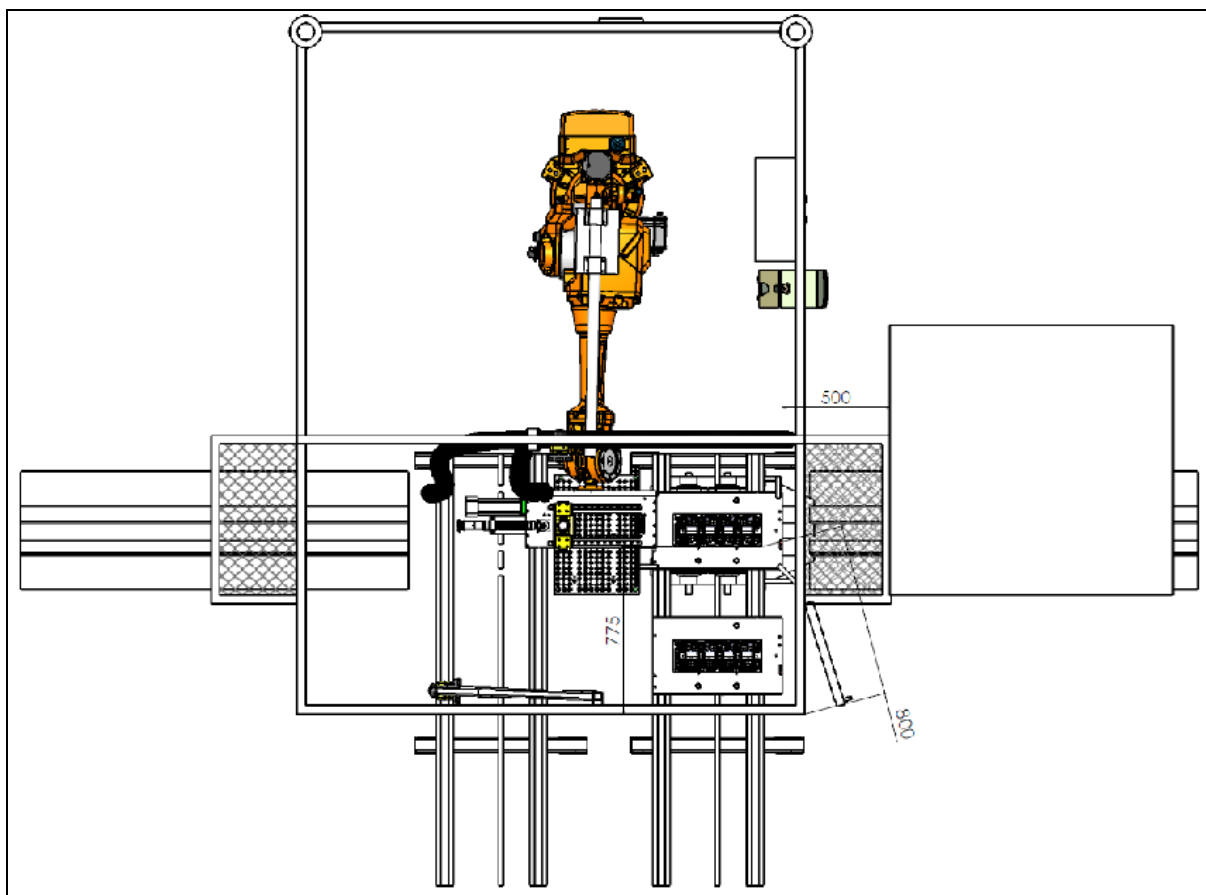
**Figura 12- Operador realizando as operações OP. 320 e OP. 340 anterior a automatização.  
Fonte: Autoria própria.**

### 3.2 AUTOMATIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES

O funcionamento do sistema foi estabelecido pela engenharia da Direfex em conjunto com a empresa fabricante de motores, através de reuniões e do caderno de encargos do cliente, que é um documento inicial fornecido pela empresa fabricante de motores contendo as necessidades iniciais do projeto e de fornecimento.

O projeto desenvolvido foi além da instalação de um robô, pois existem diversas variantes no processo de fabricação de motores dessa empresa que interferem no funcionamento do robô, sendo necessária a instalação de sensores, sistemas de posicionamento de peças e telas de proteção para a célula robotizada.

A empresa Direfex apresentou para a empresa fabricante de motores a modificação da linha apresentada na Figura 13.



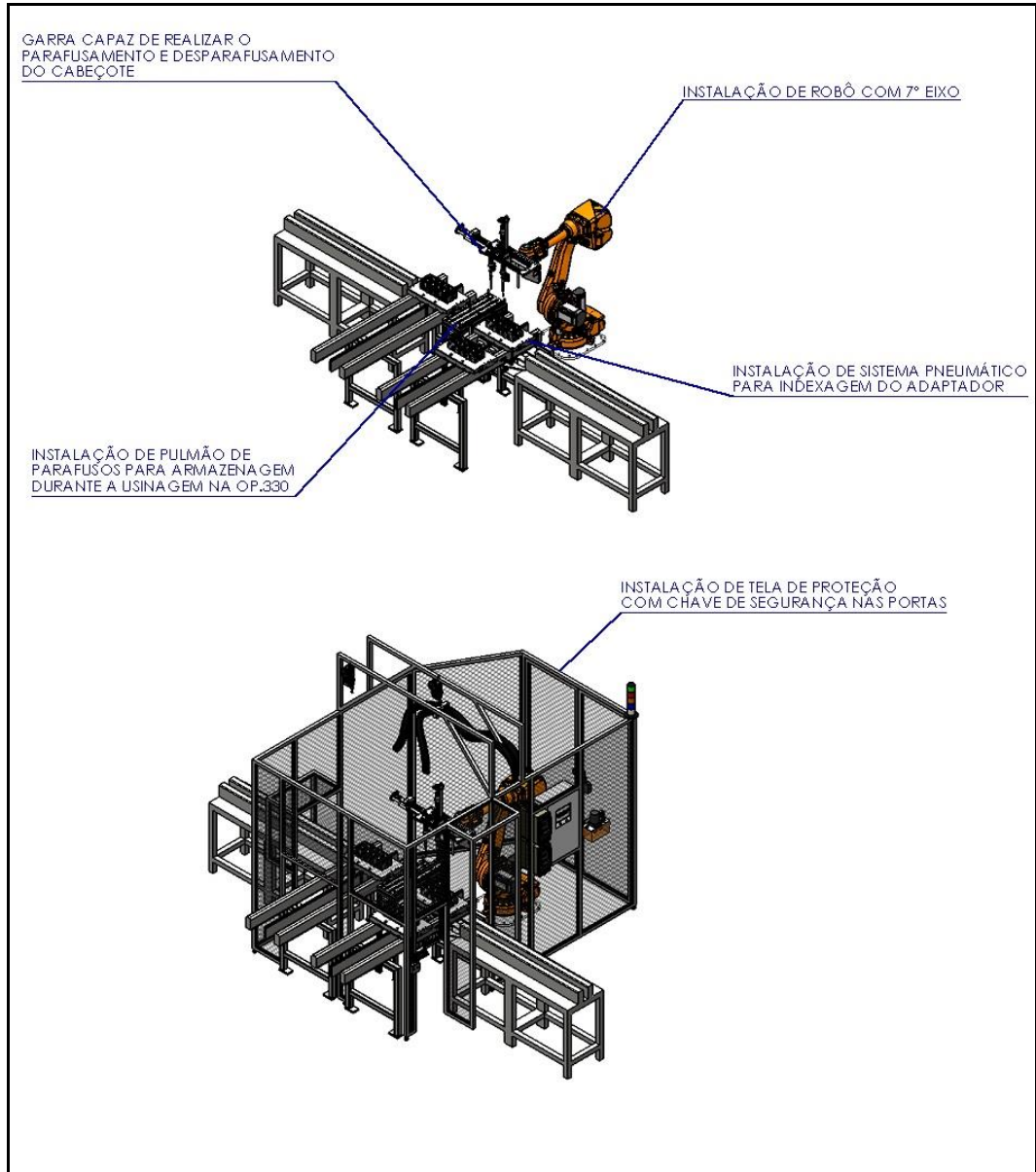
**Figura 13- Layout proposto com o robô.**  
**Fonte: Autoria própria.**

A grande finalidade do projeto foi realizar as operações 320 e 340 do processo de fabricação dos cabeçotes de forma automática. Para isso, além da instalação de um robô, foram necessárias várias modificações na linha de produção da fabricante.

A Figura 14 mostra as principais ações realizadas para o desenvolvimento do projeto. Para a instalação de um robô, deve-se conhecer as principais características e requisitos para a instalação e funcionamento do mesmo. Entre esses, as necessidades prediais e de calibração do próprio robô como, por exemplo, pontos para definição do plano de trabalho e zeramento de eixos.

Uma das modificações realizadas na linha de produção foi a instalação de um sistema pneumático para o indexamento do adaptador do cabeçote, garantindo assim que o mesmo pare sempre na mesma posição, possibilitando o trabalho do robô. Além disso, foi necessária a instalação de telas de proteção, para garantir que

pessoas não entrem na área de trabalho do robô enquanto esse estiver em operação ou que materiais sejam depositados nessa área.



**Figura 14- Principais ações para automatização das operações.**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DA GARRA

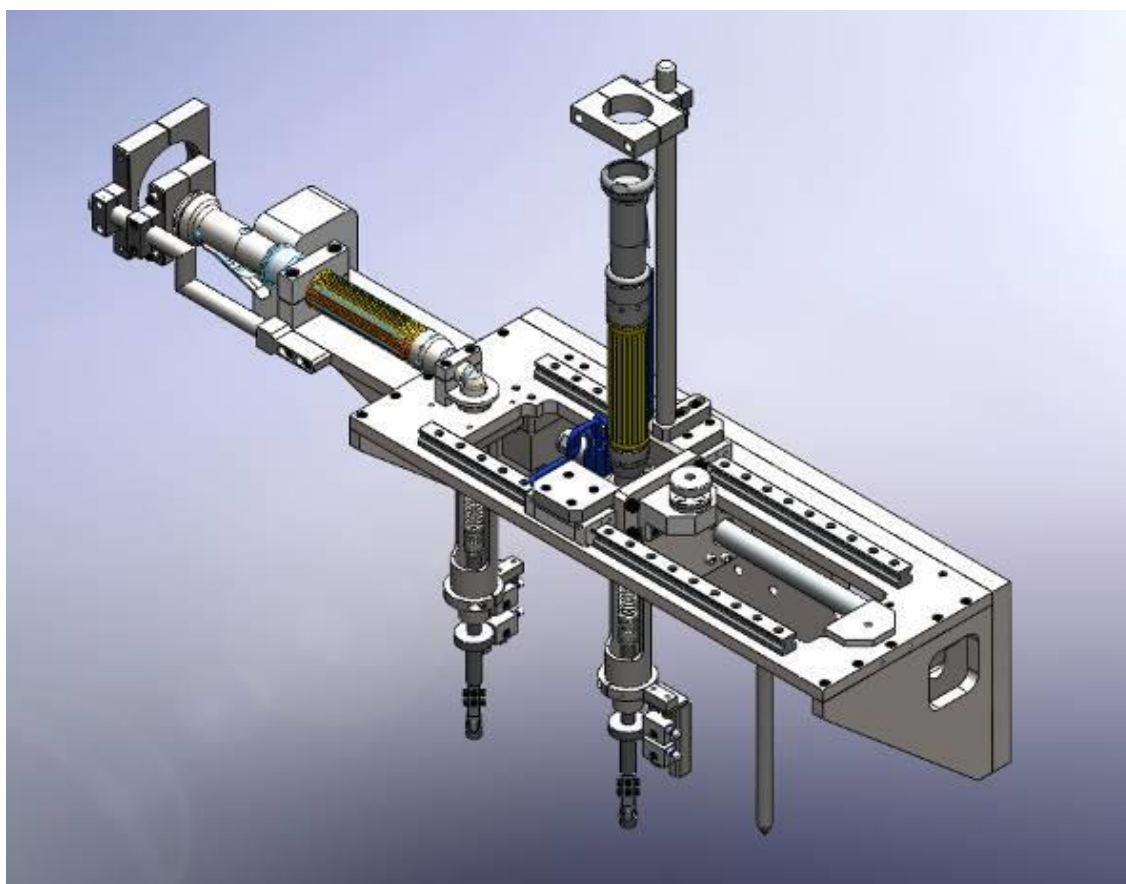
O projeto mecânico da garra foi realizado com o auxílio de um *software* de modelagem, o 3D *Solidworks*, possibilitando a visualização da estrutura desenvolvida e do funcionamento do equipamento. Com isso foi possível realizar a

avaliação inicial do projeto e realizar as correções necessárias no projeto, que foi discutido na área de engenharia da Direfex e em reuniões com a empresa fabricante de motores.

No desenvolvimento do projeto foram realizadas várias etapas solicitadas pelo cliente, sendo essas:

- A Análise de Modos de Falha e seus Efeitos sobre sua a Criticidade (AMDEC), onde são analisados todos os possíveis pontos de falha na operação do equipamento na empresa fabricante de motores.
- O Acordo Técnico de Fim de Estudo (ATFE) onde, em reunião com os setores de produção, manutenção, engenharia, automação da empresa e o fornecedor, são discutidos os pontos de funcionamento do sistema e realizada a aprovação para produção do equipamento.

A figura 15 apresenta o projeto mecânico da garra desenvolvida pela Direfex.



**Figura 15- Projeto mecânico da garra desenvolvido pela Direfex.  
Fonte: Autoria própria.**

As peças mecânicas foram produzidas na Direflex com a utilização de equipamentos de usinagem convencional e CNC.

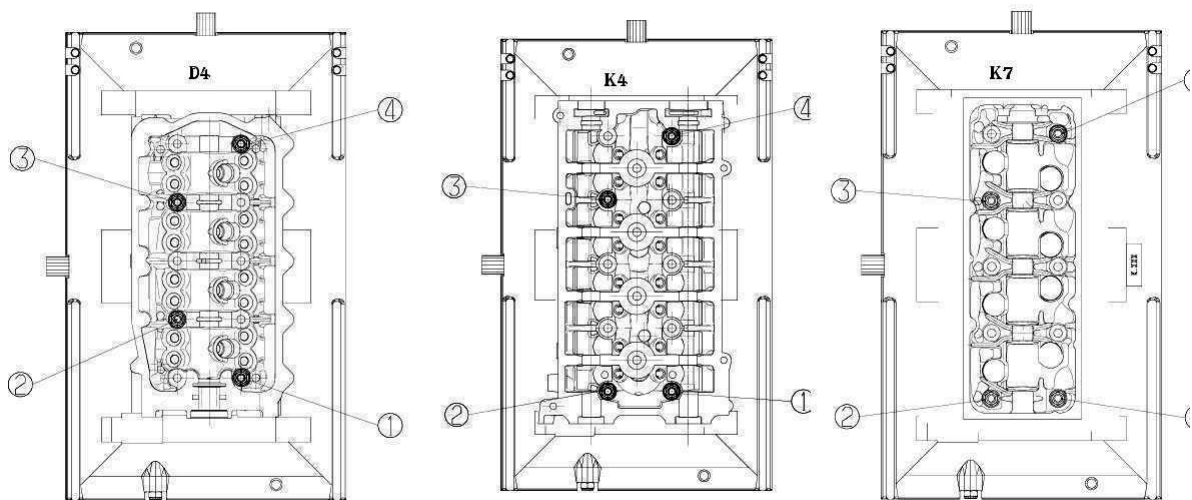
Na garra foram utilizadas duas parafusadeiras automáticas com controle de torque, para executar o parafusamento e o desparafusamento do cabeçote no adaptador; Essas parafusadeiras são da marca Atlas Copco, sendo uma com ponta reta e outra com ângulo de 90° em relação ao cabo.

A parafusadeira com ângulo de 90° é removível para que a linha possa rodar em modo degradado, que é um termo utilizado pela empresa fabricante de motores quando o equipamento automático está em manutenção, ou seja, caso ocorra algum problema que necessite de parada do robô, a linha deve continuar funcionando com a utilização de um operador. Para operar nesse modo degradado, a parafusadeira com ângulo de 90° deve ser retirada da garra e utilizada manualmente e, por esse motivo, possui um fácil desacoplamento do sistema da garra.

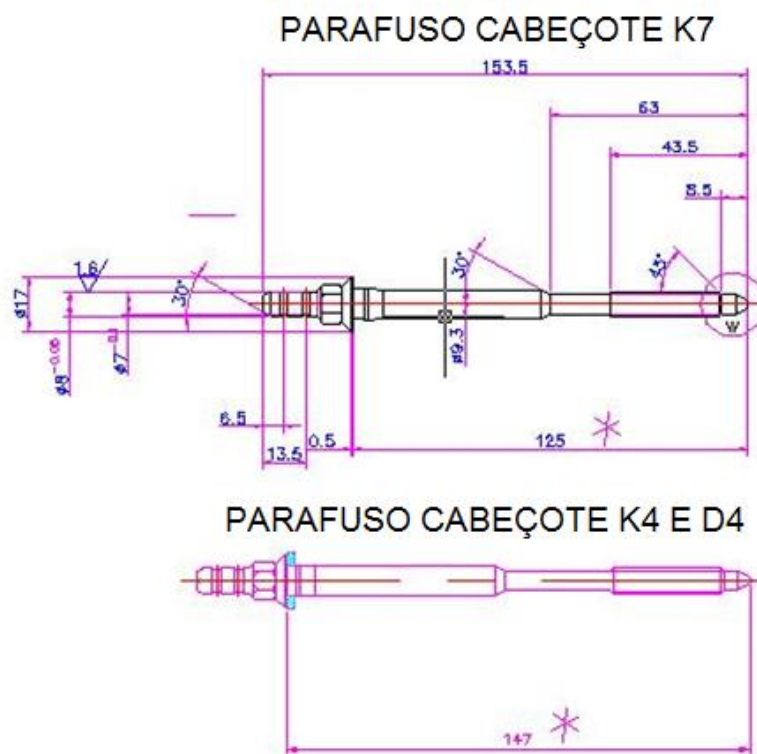
Uma das dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto foi à necessidade da garra possuir posições de parafusamento variáveis dentro da própria garra. Essa necessidade foi devido à variedade de produtos da montadora e da necessidade da linha não parar em caso de defeito no robô, sendo possível uma rápida desmontagem de uma das parafusadeiras para utilização em modo manual.

A empresa fabricante de motores possui três modelos de cabeçotes e dois modelos de parafusos. Dessa forma, o sistema da garra do robô foi desenvolvido para permitir que o parafusamento fosse realizado em várias posições, sendo esse sistema controlado pelo robô. Portanto, foi utilizado o sétimo eixo no robô. A Figura 16 apresenta os diferentes pontos de parafusamento nos três modelos de cabeçote e a Figura 17 apresenta os dois modelos de parafuso.

Somente o sétimo eixo do robô não resolveria a necessidade do projeto, pois o mesmo possui movimento circular e para realizar a movimentação de uma das parafusadeiras é necessário um movimento linear. Sendo assim, foi acoplado um fuso de esferas à ponta do sétimo eixo, sendo sua principal característica realizar a transformação do movimento circular em movimento linear.



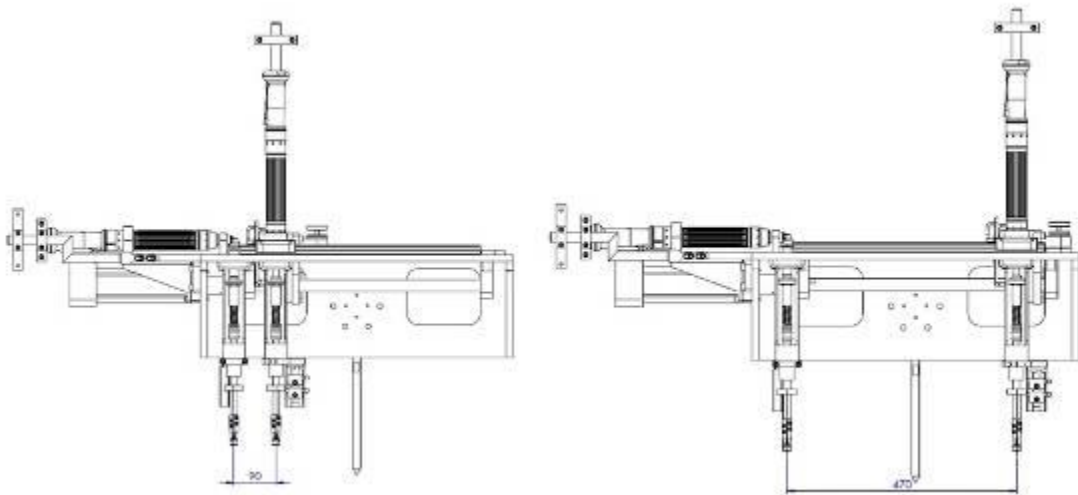
**Figura 16- Modelos de cabeçote de motores.**  
**Fonte: Autoria própria.**



**Figura 17- Modelos de parafuso para cabeçotes.**  
**Fonte: Autoria própria.**

A Figura 18 apresenta os limites de funcionamento da garra, onde os espaços entre os centros das parafusadeiras variam de, no mínimo, 90mm para, no máximo, 470mm.





**Figura 18- Limites de funcionamento da garra.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Desenvolveu-se um sistema para realizar o parafusamento e o desparafusamento, mantendo a garra do robô imóvel no espaço. O parafusamento e o desparafusamento de qualquer parafuso necessita de um movimento linear da ferramenta para suprir o avanço gerado pela rosca do parafuso. Sendo assim, como não se pode movimentar o robô durante a operação, foi desenvolvida uma ponteira especial com molas para suprir essa necessidade. A Figura 19 apresenta a ponteira desenvolvida.



**Figura 19- Ponteira com sistema de movimento.**  
**Fonte: Autoria própria.**

No sistema da ponteira foram instalados sensores indutivos para detectar a posição da ponteira no momento inicial e final do parafusamento e do desparafusamento. Desta forma, foi possível desenvolver uma lógica no programa do robô garantindo que sempre serão realizadas as operações. A forma de utilização dos sensores instalados na ponteira está descrito no item 3.6.

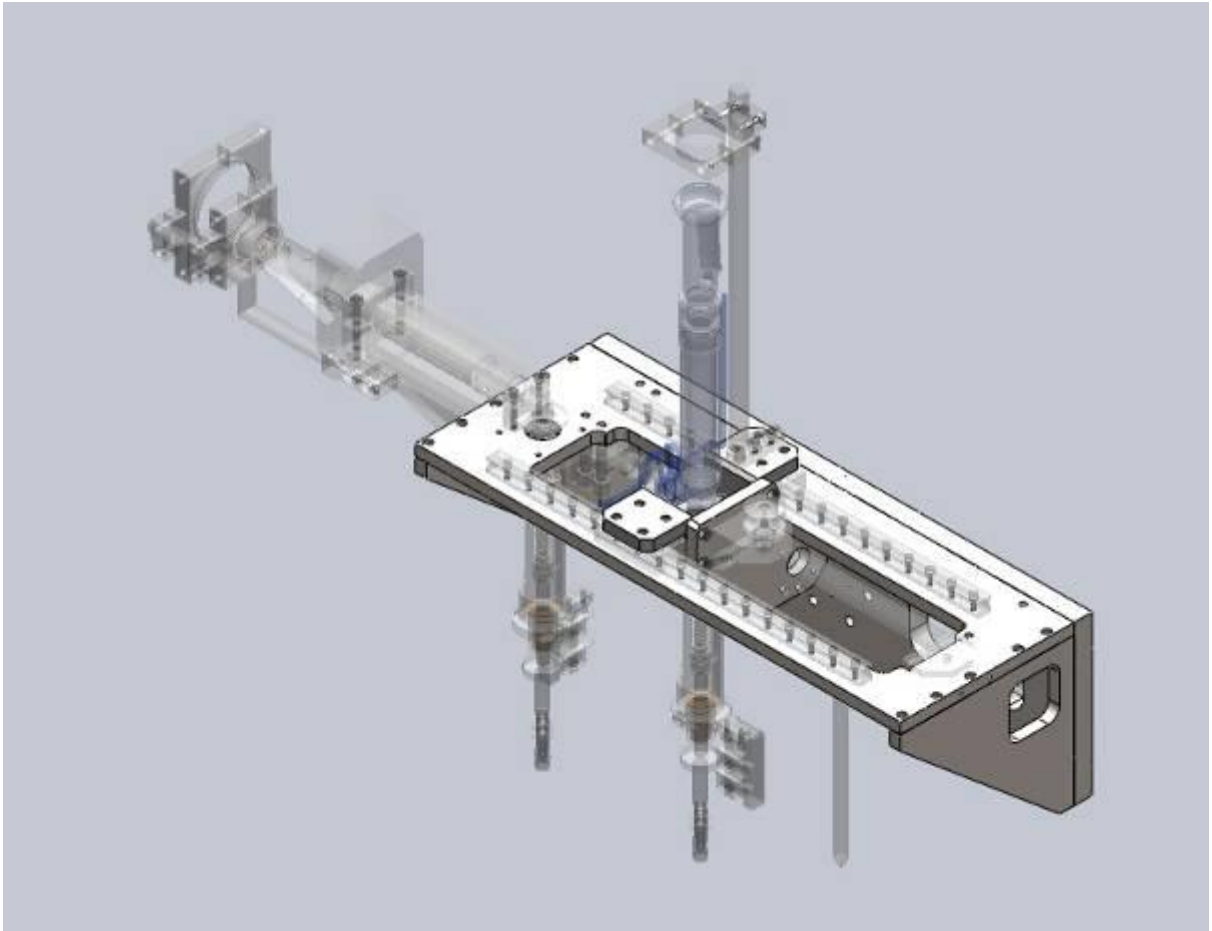
O robô utilizado para a automação das operações foi do modelo IRB4600-60/2.05 da fabricante ABB. Esse modelo de robô suporta uma carga máxima de 60 kg na extremidade terminal do braço, sendo necessário utilizar um material resistente com baixa densidade para o desenvolvimento das principais peças estruturais da garra.

O material escolhido foi o alumínio aeronáutico classe 7075-T6. O Quadro 3 apresenta o comparativo entre os limites de tensões e peso específico do alumínio 7075-T6 e do aço carbono SAE 1020.

Material	Limites de Resistência à Tração (Mpa)	Limite de Escoamento (Mpa)	Peso específico
Al 7075-T6	520 - 630	460 - 590	2,85g/cm <sup>3</sup>
Aço SAE 1020	440	345	7,86g/cm <sup>3</sup>

**Quadro 3- Comparativo entre o alumínio e o aço.**  
**Fonte: Norton (2004).**

Com a utilização do alumínio foi possível desenvolver uma garra com peso de, aproximadamente, 43 kg. A mesma garra utilizando aço carbono teria um peso de, aproximadamente, 71 kg, ou seja, utilizando o alumínio obteve-se uma garra 40% mais leve. A Figura 20 apresenta em destaque as peças que foram fabricadas em alumínio.



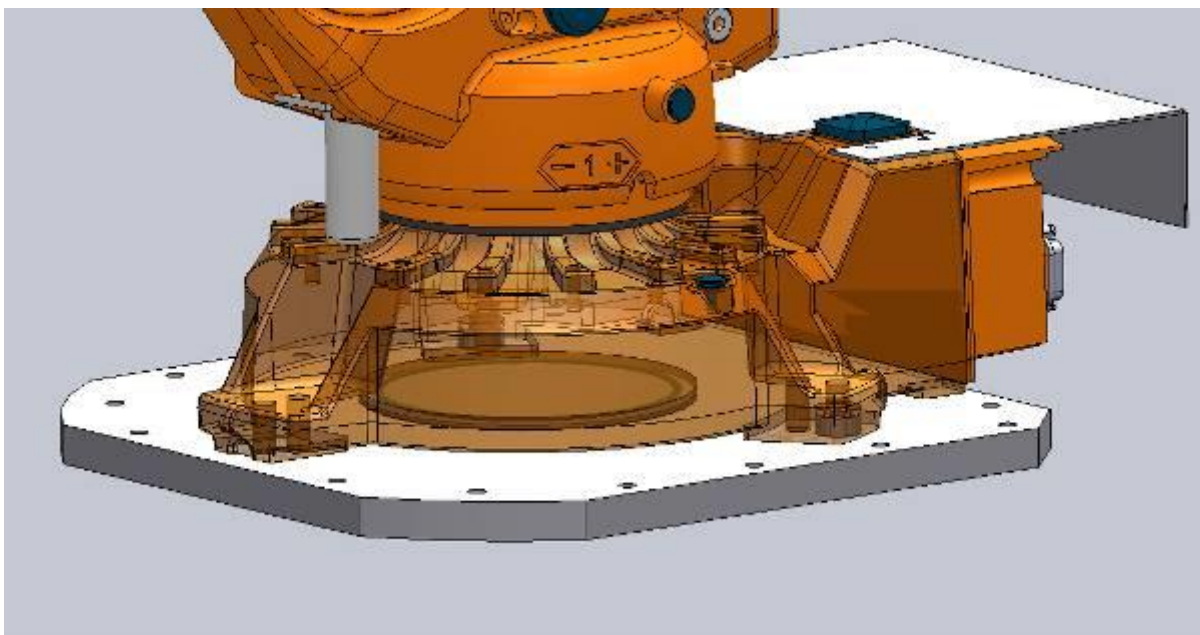
**Figura 20- Peças fabricadas em alumínio.**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 3.4 INSTALAÇÃO DO ROBÔ

Antes da instalação definitiva do robô, o mesmo foi energizado em uma área fora da linha de produção para a montagem da garra e testes iniciais de funcionamento. Após a verificação do correto funcionamento do movimento dos seis eixos do robô, do sétimo eixo instalado na garra e que a garra não possuía nenhum problema quanto à sua construção mecânica, o robô foi liberado para instalação na linha de produção.

Para a instalação do robô é recomendado que o mesmo não seja chumbado diretamente no solo, ou seja, é necessário uma chapa de aço com espessura de 30 mm entre o robô e o piso. Isso é necessário para que seja possível a utilização de buchas centralizadoras que garantam a posição do robô, caso seja necessária a remoção do mesmo para manutenção, além da chapa absorver

algumas vibrações do sistema. A Figura 21 apresenta a base do robô com as buchas de centro e a chapa de chumbamento.



**Figura 21- Buchas centralizadoras e chapa de chumbamento.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Para realizar o chumbamento da base foram utilizados chumbadores químicos aderentes ao concreto e barra de aço roscadas de 1/2" (12,7 mm). Após o tempo de cura do chumbador, o robô foi parafusado à chapa. A Figura 22 apresenta o robô chumbado na estação de trabalho.

Além da fixação do robô no piso, é necessária a criação de um ponto de referência para definição do plano de trabalho do robô. Esse ponto foi criado no conjunto do pulmão. A Figura 23 apresenta o robô verificando esse ponto.



**Figura 22- Robô chumbado na estação de trabalho.  
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 23- Ponto de plano de trabalho do robô.  
Fonte: Autoria própria.**

### 3.5 SISTEMA PNEUMATICO

Uma das necessidades de um processo automático é a garantia de repetibilidade das posições das peças envolvidas no processo. Sendo assim, para garantir a posição dos cabeçotes na operação de desparafusamento, foi instalado um sistema pneumático que realiza o indexamento do adaptador. O sistema consiste de um cilindro pneumático, comandado pelo Controlador Lógico Programável (CLP) já existente na linha de produção da empresa montadora de motores, e por um sistema mecânico de pinos, que realiza o indexamento, guiado por buchas. Para o acionamento do cilindro foi utilizada a rede de ar comprimido da própria empresa, sendo necessária apenas a instalação de uma válvula direcional comandada pelo CLP.

Como na operação de parafusamento já existia um sistema de indexamento para realização de uma operação de ar *check*, para verificação da usinagem do cabeçote, foi desenvolvido um sistema semelhante para utilização na operação de desparafusamento (OP. 320).

A Figura 24 apresenta o comparativo da estação da operação de desparafusamento (OP. 320) antes e depois da instalação do sistema pneumático que realiza o indexamento do adaptador.

No sistema de indexamento, onde existe uma grande repetição de movimentos, deve-se observar o desgaste dos materiais utilizados para a fabricação das peças, pois um desgaste excessivo dessas poderia ocasionar na falta de repetibilidade da posição da peça a ser indexada.

Sendo assim, as pontas dos pinos que encostam no adaptador foram produzidas em aço SAE 8620 e foi aplicado tratamento térmico e cementação, criando uma superfície resistente ao desgaste. Foram utilizadas buchas de bronze grafitado, diminuindo o atrito entre as peças durante o processo de indexamento. A Figura 25 apresenta as peças que possuem materiais especiais.

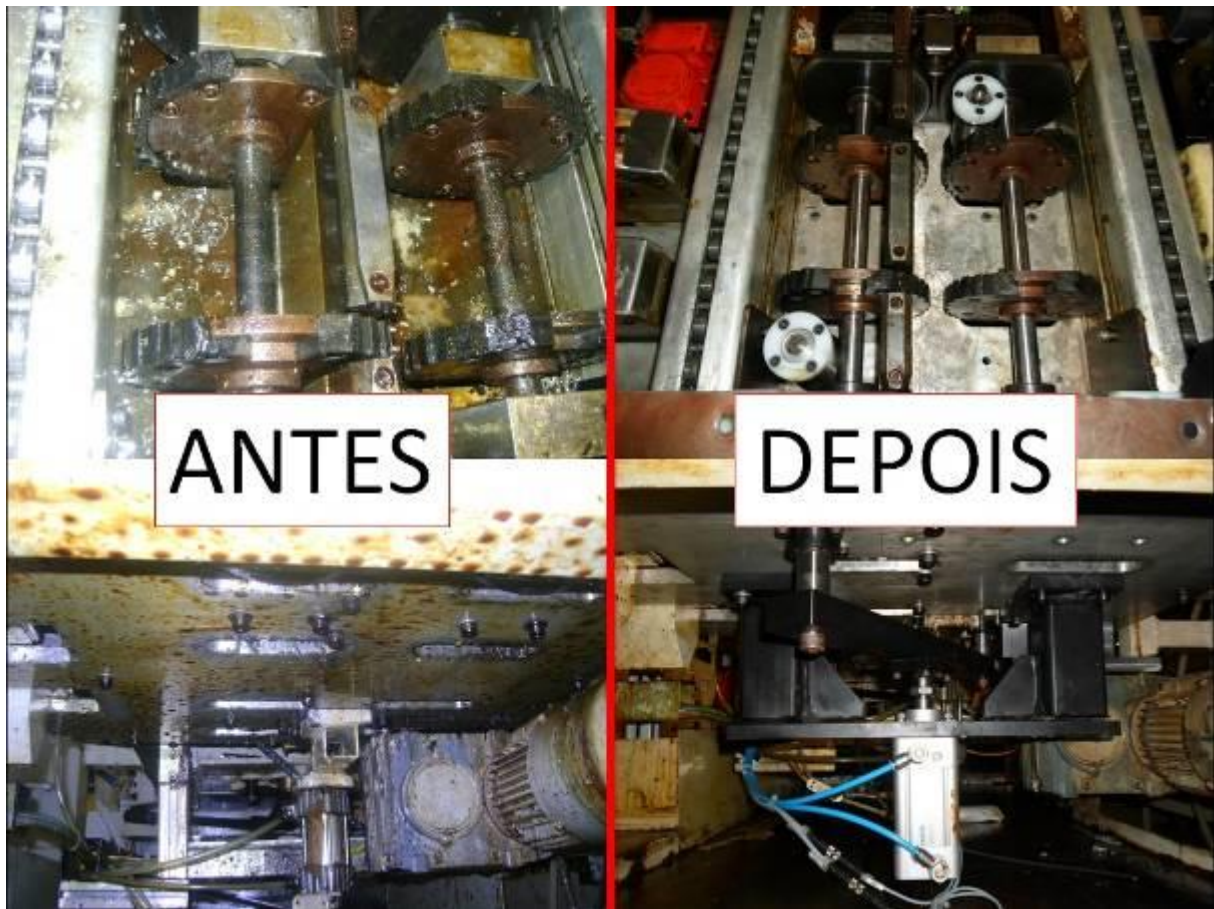


Figura 24- Comparativo da estação da operação de desparafusamento.  
 Fonte: Autoria própria.

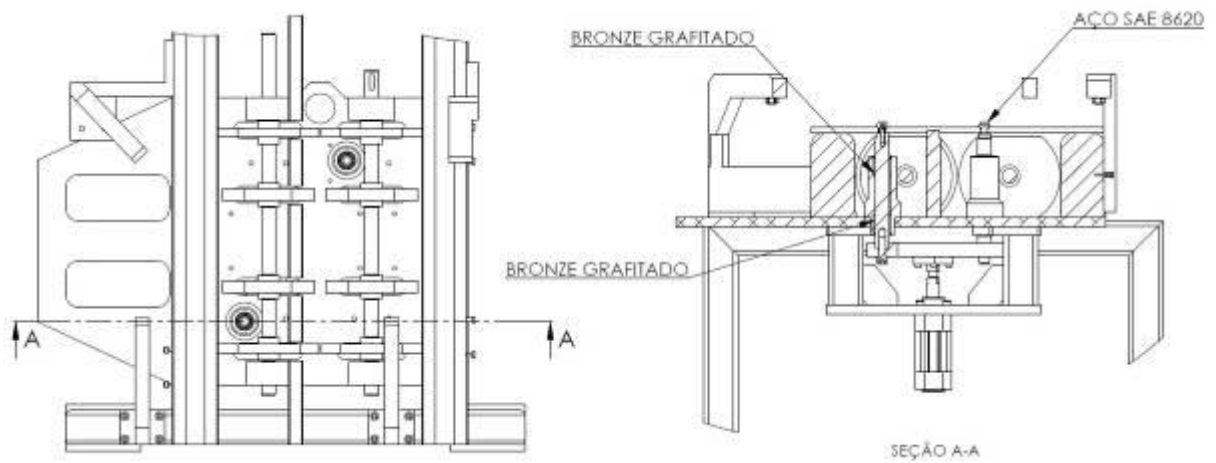


Figura 25- Aplicação de material no conjunto de indexamento.  
 Fonte: Autoria própria

### 3.6 SEGURANÇA DA CÉLULA ROBOTIZADA

Toda célula robotizada deve possuir um sistema de segurança para evitar acidentes com usuários, ou seja, basicamente a célula robotizada deve ficar isolada por grades, a norma que regulamenta a proteção de células robotizadas é a ISO10218 segundo CRESPO (2011) essa norma foi criada devido aos riscos particulares presentes nos sistemas robotizados.

No projeto foram utilizadas grades para o enclausuramento do robô e nas portas de acesso foram utilizadas chaves de segurança que desarmam o robô, parando seu funcionamento e evitando assim acidentes com o operador. Nos locais destinados a entrada e saída das peças, foi feito um túnel para evitar que os usuários tenham acesso às peças, o que poderia causar um acidente com o robô. A Figura 26 apresenta a grade de proteção e as distâncias utilizadas e, na Figura 27, pode-se observar a trava de segurança na porta de acesso.

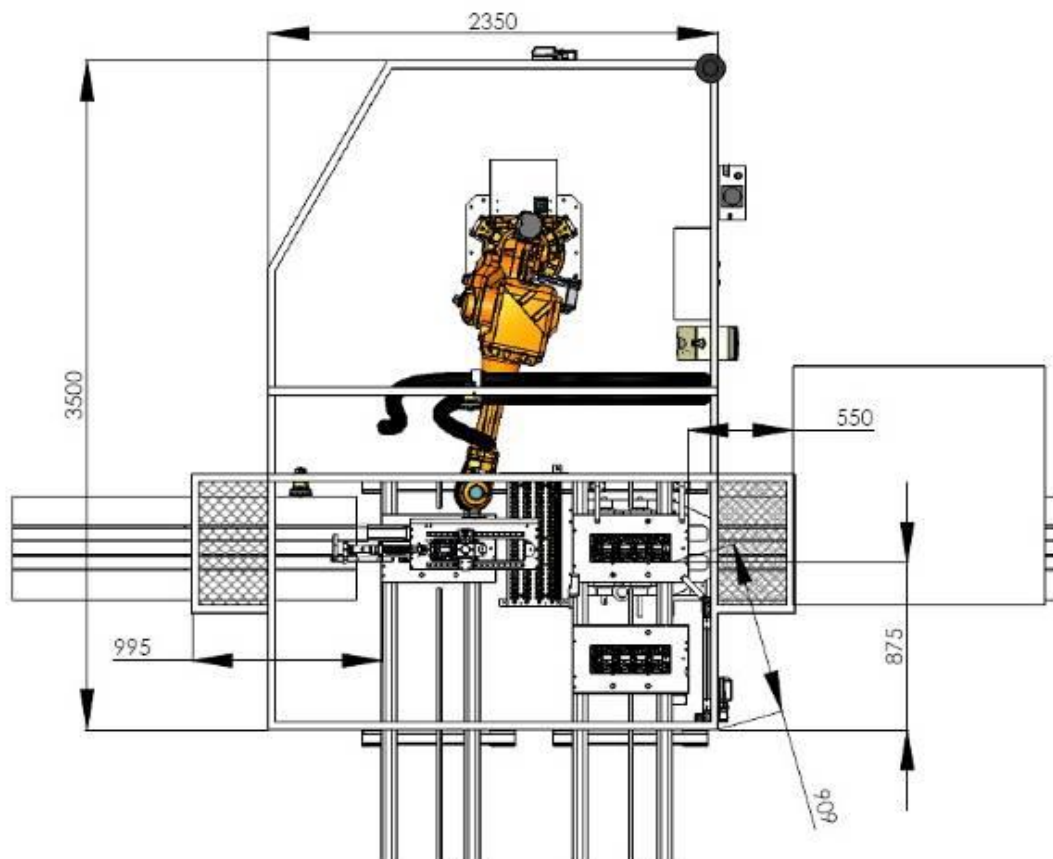


Figura 26- Grade de proteção da célula robotizada.  
Fonte: Autoria própria.



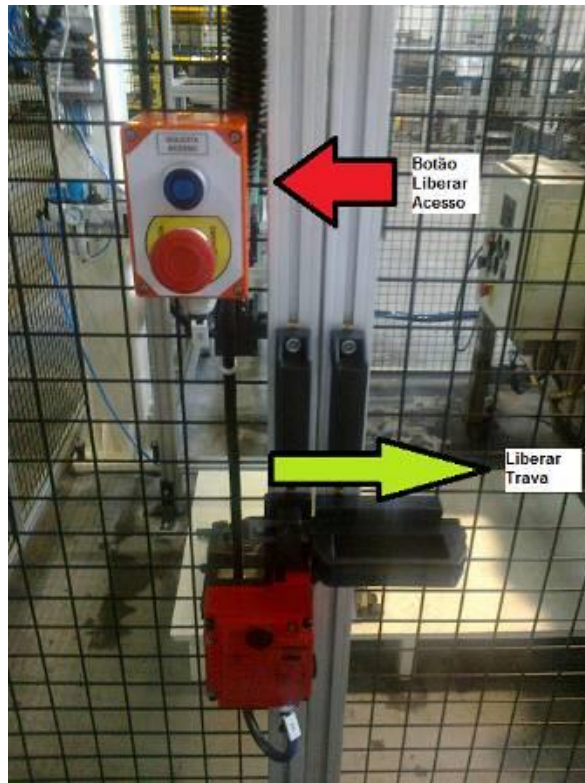


Figura 27- Trava de segurança na porta de acesso.  
Fonte: Autoria própria.

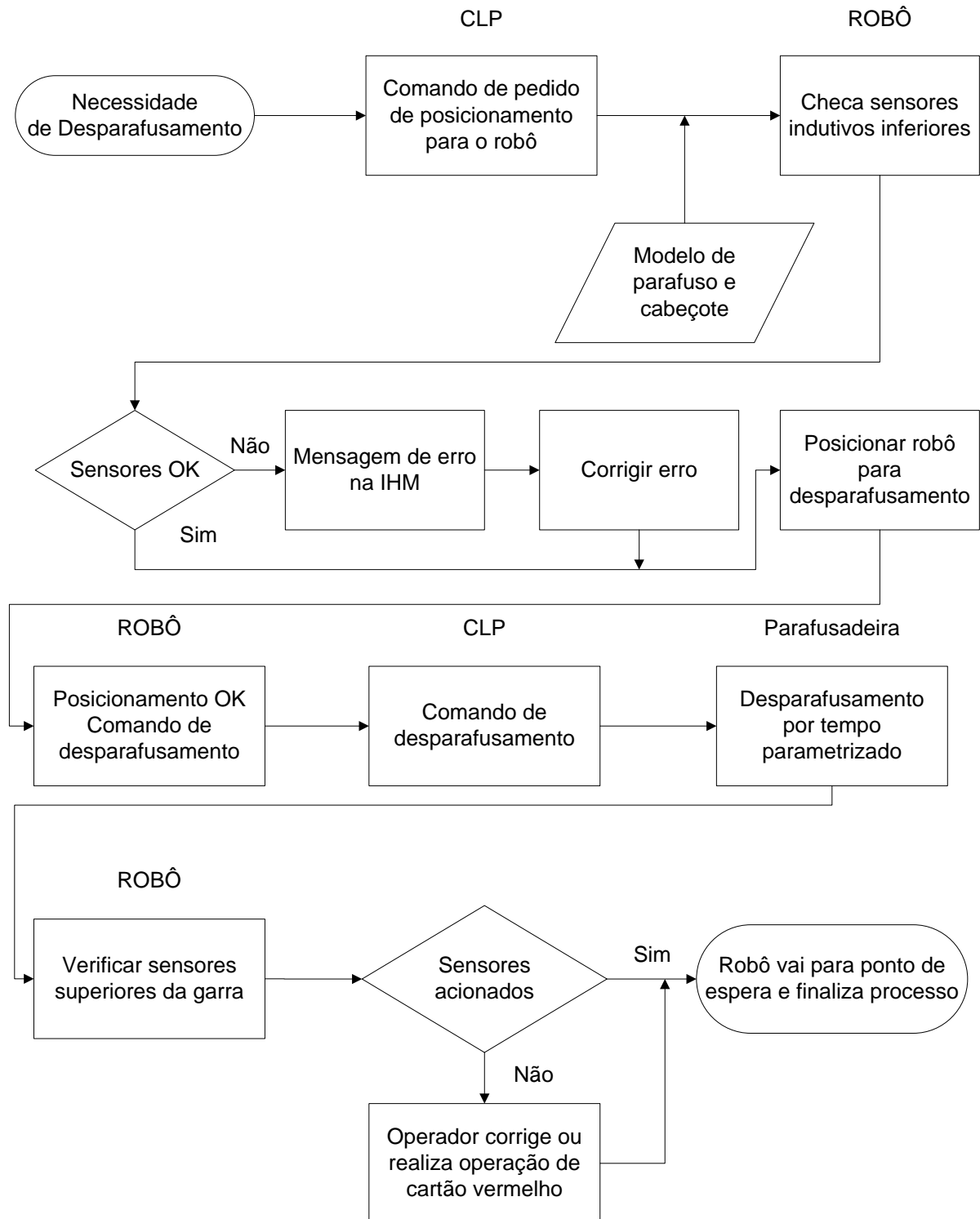
### 3.6 LÓGICA DE FUNCIONAMENTO DAS OPERAÇÕES

A programação do robô, da Interface Homem Máquina (IHM) e do CLP foram realizadas por uma empresa terceirizada parceira da Direfex, sendo que a lógica de funcionamento foi desenvolvida pela Direfex em conjunto com a empresa fabricante de motores.

Na descrição da lógica de funcionamento das operações de desparafusamento e de parafusamento, apresentadas nas seções 3.6.1 e 3.6.2, para a realização de algumas ações específicas existe a necessidade de um operador. A estação automatizada não possui um operador dedicado e, quando existe a necessidade, um operador é deslocado de outra estação de trabalho ou da equipe de manutenção.

### 3.6.1 Operação de Desparafusamento

A Figura 28 apresenta o fluxograma da operação de desparafusamento.



**Figura 28-** Fluxograma da operação de desparafusamento.  
**Fonte:** Autoria própria.

O detalhamento das ações realizadas na operação de desparafusamento, apresentadas no fluxograma da Figura 28, são descritas na sequência:

- O CLP envia ao robô um comando relativo ao pedido para o posicionamento na OP 320/Pulmão para o desparafusamento, informando o modelo dos parafusos e cabeçotes.
- Ao receber esse comando do CLP, o robô está programado para checar os sensores indutivos inferiores da garra para verificar se os soquetes estão no lugar. Caso não estejam, uma mensagem de falha é gerada na Interface Homem-Máquina (IHM). A Figura 29 apresenta os sensores indutivos inferiores da garra acionados.

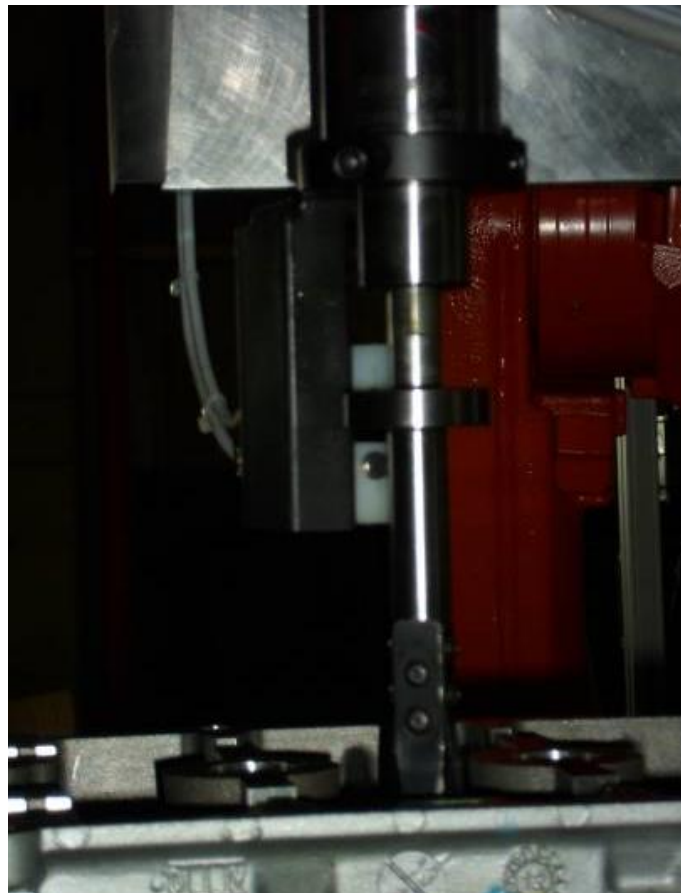


**Figura 29- Sensores inferiores da garra acionados.**  
Fonte: Autoria própria.

- Ao terminar o posicionamento, o robô envia o comando de desparafusamento ao CLP.
- O CLP envia um comando para a parafusadeira, que realiza o desparafusamento dos parafusos por um tempo parametrizado na IHM. Em

seguida o CLP envia um comando ao robô informando o final da operação de desparafusamento.

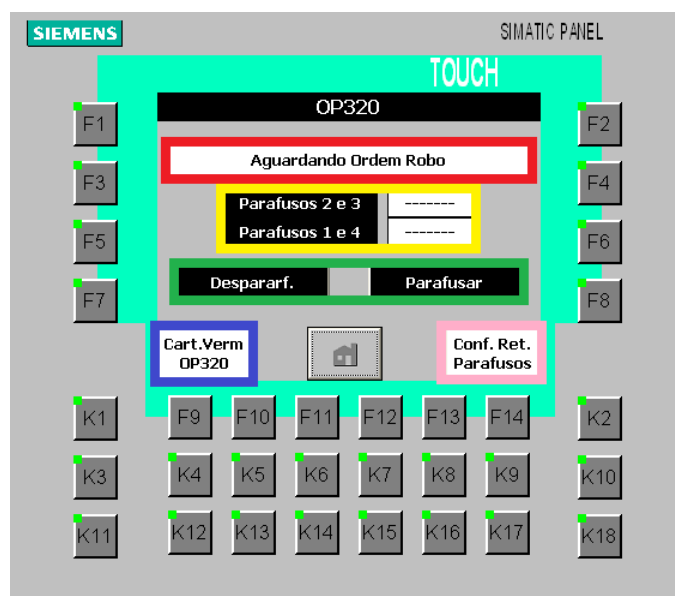
- Ao receber esse comando do CLP, o robô checa os sensores indutivos superiores da garra e, então, toma uma das seguintes decisões:
  - a. Se os dois sensores estão acionados, o robô termina a trajetória e aguarda um novo comando do CLP no ponto de espera, com os parafusos na garra. A Figura 30 mostra o sensor indutivo superior de uma das parafusadeiras acionado.



**Figura 30- Sensor superior de uma das parafusadeiras acionado.**  
**Fonte: Autoria própria.**

- b. Se pelo menos um dos sensores não está acionado, o robô se afasta do cabeçote/pulmão e uma mensagem de falha é indicada na IHM. Neste caso, o operador deve verificar se o parafuso foi totalmente desparafusado ou a bucha do adaptador está presente e bem apertada. Caso corrija o defeito, o operador pode pressionar a tecla <K15> (*Start*) na IHM e o robô continuará o ciclo. Caso o operador não possa corrigir ou

não identifique o defeito, deve identificar a peça com uma operação chamada de cartão vermelho, para que a mesma seja retirada da linha e para que o robô possa continuar a sequência sem verificar os sensores novamente. Para realizar a operação de cartão vermelho, o operador deve apertar o botão denominado “Cart. Verm. OP320” na tela da IHM e, em seguida, confirmar a retirada dos parafusos da garra do robô através do botão denominado “Conf. Ret. Parafusos”. A Figura 31 apresenta a tela da IHM para realizar essas operações.



**Figura 31- Tela da IHM.**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 3.6.2 Operação de Parafusamento

A Figura 32 apresenta o fluxograma da operação de parafusamento.

O detalhamento das ações realizadas na operação de parafusamento, apresentadas no fluxograma da Figura 32, são descritas na sequência:

- O CLP envia ao robô comando referente ao pedido para o posicionamento na OP340/Pulmão para o parafusamento do cabeçote/buffer informando o modelo dos parafusos e cabeçotes.

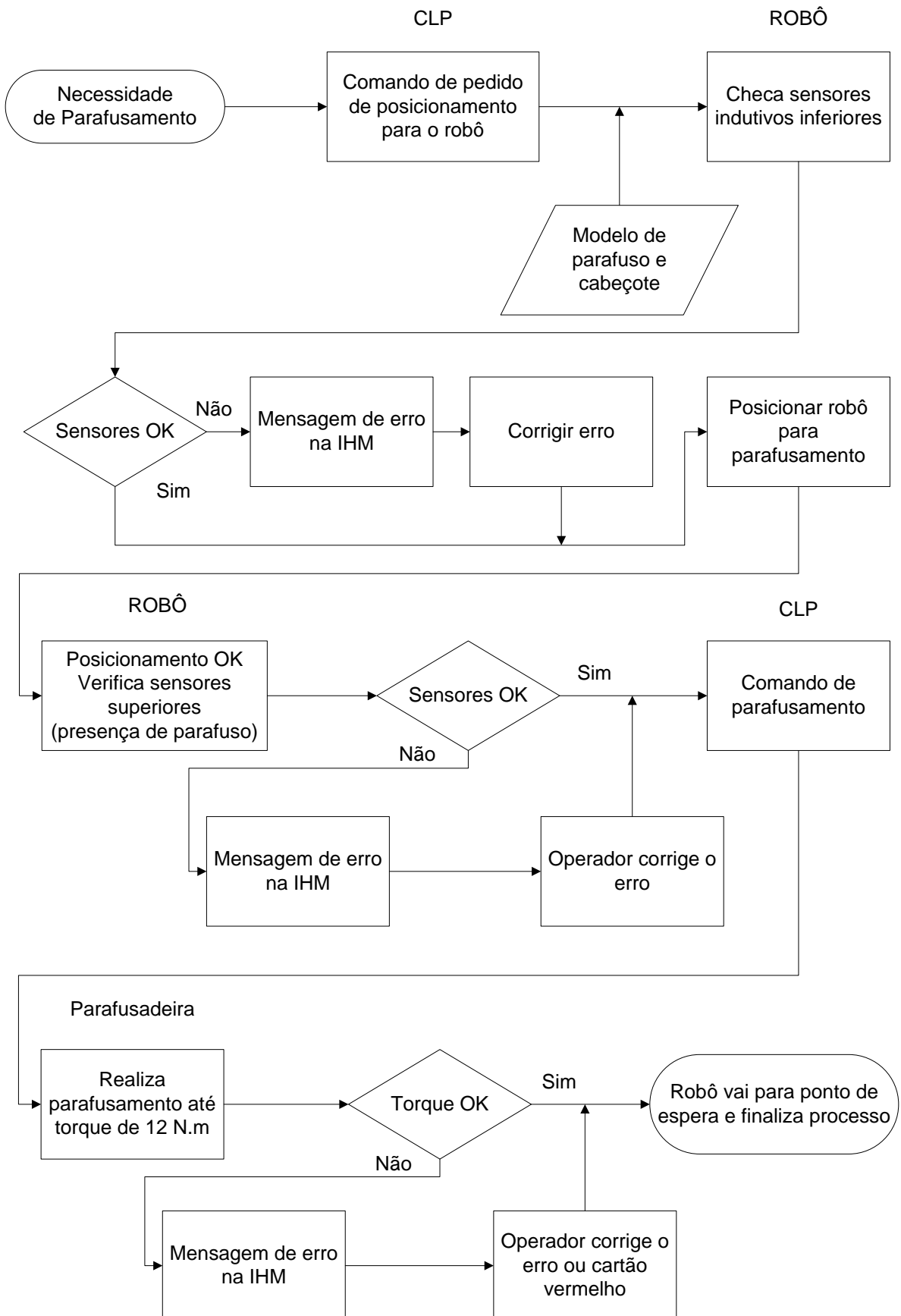


Figura 32- Fluxograma da operação de parafusamento.  
Fonte: Autoria própria.

- Ao receber esse comando do CLP, o robô está programado para checar os sensores indutivos inferiores da garra para verificar se os soquetes estão no lugar. Caso não estejam, uma mensagem de falha é gerada na IHM.
- Ao terminar o posicionamento, o robô está programado para checar os dois sensores indutivos superiores da garra para verificar se os parafusos estão presentes e uma das seguintes decisões é tomada:
  - a. Se os dois sensores indutivos estão acionados, o robô termina a trajetória e envia o comando de parafusamento ao CLP.
  - b. Se pelo menos um dos sensores indutivos não está acionado, o robô se afasta do cabeçote/pulmão e uma mensagem de falha é indicada na IHM. Neste caso, o operador deve verificar se o parafuso está presente ou se a bucha do adaptador está presente e bem apertada. Caso corrija o defeito, o operador pode pressionar a tecla <K15> (*Start*) na IHM e o robô continuará o ciclo. Caso o operador não possa corrigir ou não identifique o defeito, deve identificar a peça com uma operação de cartão vermelho para que o robô possa continuar a sequencia sem verificar os sensores novamente, sendo esse procedimento igual ao realizado para o desparafusamento. Se esta falha ocorrer no pulmão, o operador é obrigado a corrigir a falha.
- O CLP envia um comando para a parafusadeira, que realiza o parafusamento dos parafusos. Após, o CLP envia um comando ao robô informando que a operação de desparafusamento foi concluída e qual das seguintes ações deve ser tomada:
  - a. Se o torque para os dois parafusos está correto, o robô termina a trajetória e aguarda, no ponto de espera, um novo comando do CLP. O torque é controlado pela parafusadeira, que possui um *drive* para medir o torque aplicado pela parafusadeira e enviar essa informação ao CLP. O valor do torque é parametrizado em 12 N.m podendo variar em, no máximo, 0,5 N.m. A Figura 33 apresenta os *drives* das parafusadeiras realizando a verificação do torque aplicado.



**Figura 33- Drive das parafusadeiras.**  
**Fonte: Autoria própria.**

- b. Para o cabeçote: Se um dos parafusos não tiver sido colocado com o valor do torque correto, o sistema desparafusa e tenta parafusar novamente. Caso a segunda tentativa falhe, o robô se afasta do cabeçote e é indicada uma mensagem de falha na IHM. Neste caso, o operador deve verificar se o parafuso está em bom estado ou se a bucha do adaptador está presente e bem apertada. Caso corrija o defeito, pode-se pressionar a tecla <K15> (*Start*) na IHM e o robô continuará o ciclo. Caso o operador não possa corrigir ou não identifique o defeito, deve identificar a peça com uma operação de cartão vermelho para que o robô possa continuar a sequencia sem verificar o resultado do torque necessário.
- c. Para o pulmão: Se um dos parafusos não tiver sido colocado com o valor do torque correto, o sistema desparafusa e tenta parafusar novamente. Caso a segunda tentativa falhe, o robô se afasta do pulmão e é indicada uma mensagem de falha na IHM. Neste caso, o operador deve verificar se



o parafuso está em bom estado ou se a bucha do pulmão está presente e bem apertada. Caso corrija o defeito, pode-se pressionar a tecla <K15> (*Start*) na IHM e o robô continuará o ciclo. Caso o operador não possa corrigir ou não identifique o defeito deve, então, liberar o robô para que esse possa continuar a sequencia sem verificar o resultado do valor do torque necessário.

### 3.6.3 Operação em Modo Degradado

A estação de trabalho possui um modo de operação degradado que possibilita que as operações de parafusamento e desparafusamento possam ser realizadas de forma manual, caso haja alguma falha no sistema automático. Para realizar esse modo de operação deve-se seguir os seguintes passos:

- Se o robô estiver funcional e em modo automático, deve-se acessar a tela *Screen Container* clicando no ícone com esse nome no canto inferior esquerdo da IHM do robô, conforme apresentado na Figura 34.

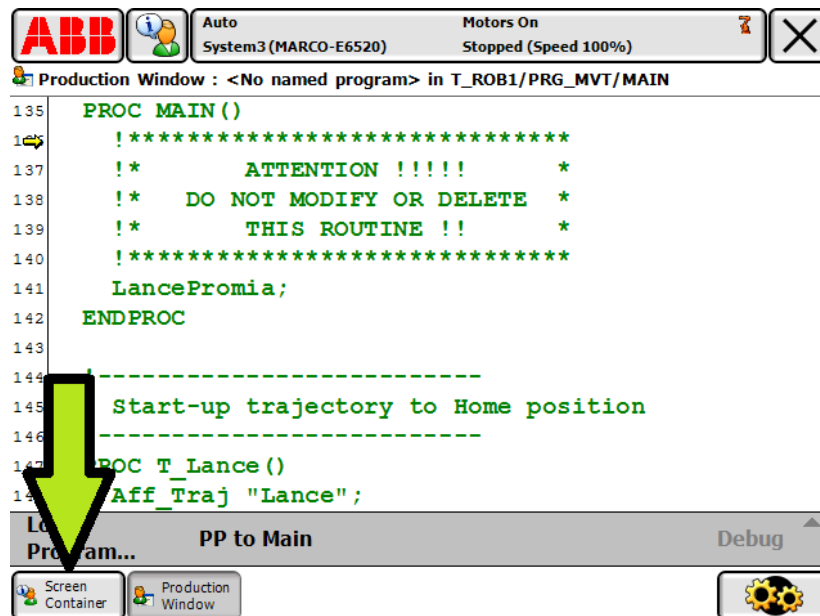


Figura 34- Seleção da tela *Screen Container* na IHM do robô.  
Fonte: Autoria própria.

- Acessar a tela de botões através de um dos ícones no campo superior direito, conforme identificado na Figura 35.

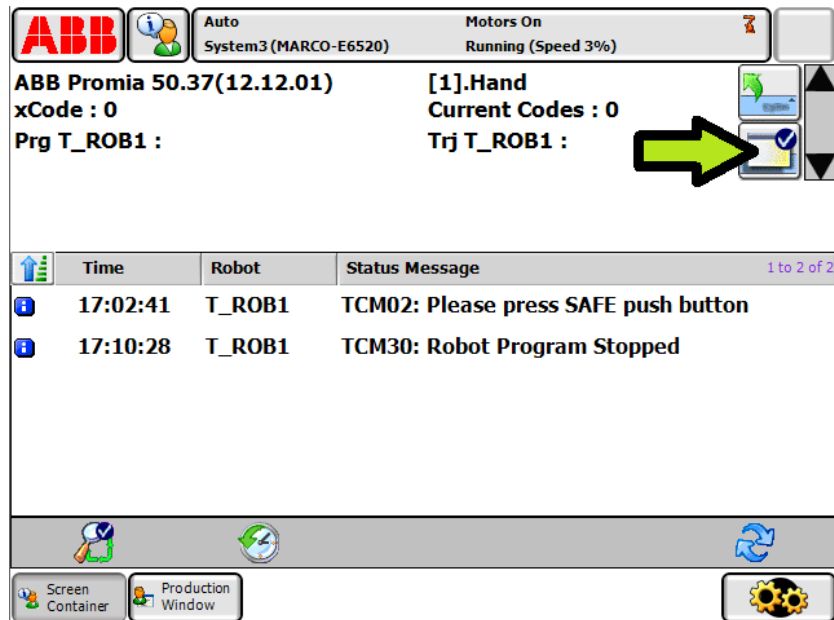


Figura 35- Acesso à tela de botões.  
Fonte: Autoria própria.

- Pressionar o botão “Pos. Modo Degradado”, indicado na Figura 36. O robô se moverá até um ponto programado, onde não interfira no trabalho do operador.

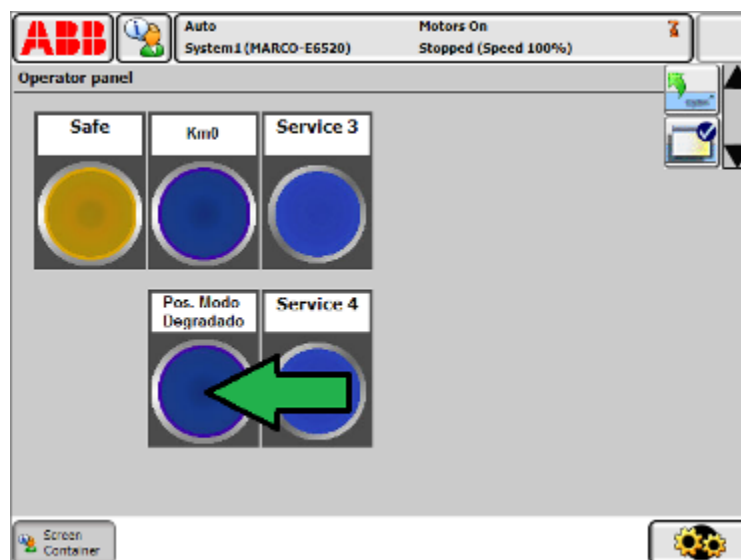


Figura 36- Botão para mover o robô para modo degradado.  
Fonte: Autoria própria.

- Colocar o sistema em modo semiautomático clicando na tecla <K13> da IHM. O *led* ficará aceso confirmando a operação nesse modo.
- Colocar o sistema em posição inicial pressionando a tecla <K11>.
- Acessar a tela de modo semiautomático através da tecla <F11>.
- Clicar no botão virtual “Modo Degradado”, apresentado na Figura 37.

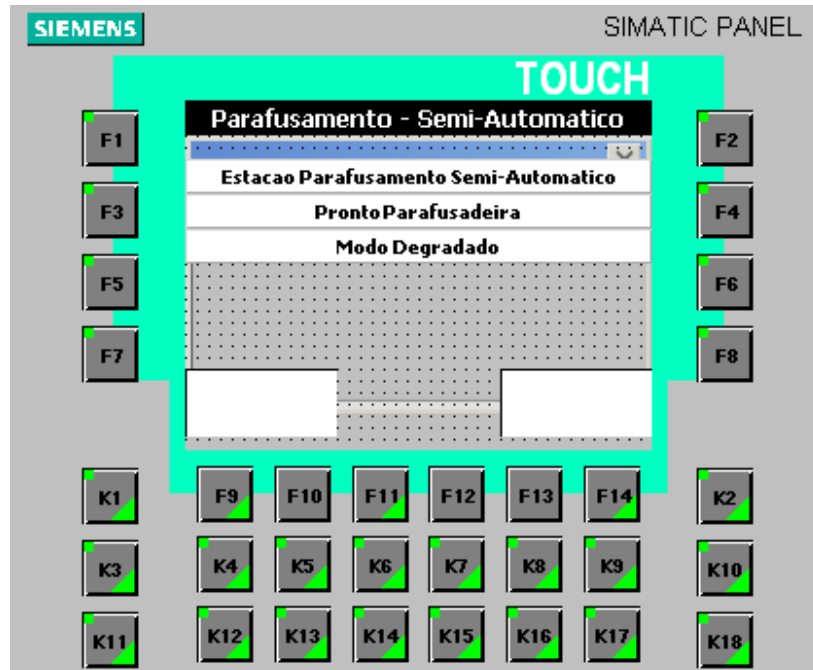


Figura 37- Tela para acionamento de modo degradado na IHM.  
Fonte: Autoria própria.

- Pressionar o botão “Função +”, indicado na cor amarela na Figura 38.
- Desligar a parafusadeira superior, indicada na cor verde na Figura 38.
- Abrir o *drive* da parafusadeira superior pela parte de trás, como indicado na Figura 39.
- Trocar o cabo da parafusadeira do robô pelo cabo da parafusadeira manual, conforme apresentado na Figura 40.
- Fechar a parafusadeira superior.
- Ligar a parafusadeira superior.
- Retirar todos os parafusos do pulmão, conforme indicado na Figura 41.
- Fixar a boteira com a caixa de parafusos, conforme indicado na Figura 42. A boteira já existia antes da inclusão do robô na operação de desparafusamento e parafusamento.

- Colocar o sistema em modo automático através da tecla <K12> da IHM.
- Iniciar o sistema (*Start*) através da tecla <K15> IHM.



Figura 38- Seleção de função e desligamento da parafusadeira.  
Fonte: Autoria própria.



Figura 39- Abertura do *drive* da parafusadeira.  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 40- Troca de cabos da parafusadeira.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 41- Retirada de parafusos do pulmão.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 42- Fixação da caixa de botoeiras.**  
Fonte: Autoria própria.

## 4 TESTES E RESULTADOS

Para validação do sistema implantado foram realizados cinco dias de acompanhamento da produção com a utilização do robô. Durante esse tempo, foram realizados testes simulando diversas falhas. Os resultados obtidos foram:

- Colocação de cabeçote sem parafuso – O robô tenta realizar o desparafusamento mas, como não existe parafuso, o sensor indutivo superior da garra não está acionado, sendo gerada uma mensagem de falha na IHM.
- Queda de parafuso – O robô chega à posição de parafusamento porém, como não existe parafuso, o sensor indutivo superior da garra não é acionado, sendo gerada uma mensagem de falha na IHM.
- Adaptador sem bucha roscada – A parafusadeira não atinge o valor do torque parametrizado, de 12 N.m, sendo gerada uma mensagem de falha na IHM.
- Bucha do pulmão com rosca espanada – A parafusadeira não atinge o valor do torque parametrizado de 12 N.m, sendo gerada uma mensagem de falha na IHM.
- Abertura da porta da célula robotizada – O robô foi imediatamente parado.
- Acionamento do botão de emergência – O robô foi imediatamente parado.

Todos os testes realizados resultaram de acordo com o projetado e desenvolvido.

Além dos testes funcionais da célula robotizada, foram verificados aspectos de processo, tais como, o tempo de ciclo e a repetibilidade do processo. O tempo de ciclo do sistema instalado ficou abaixo dos 48 segundos por ciclo, que foi solicitado pela empresa. A repetibilidade do torque na parafusadeira teve variação inferior a 0,5 Nm, conforme solicitado pela empresa.

Após a realização dos testes, o sistema foi liberado para a produção normal.

## 5 CONCLUSÃO

A garra desenvolvida para o robô permite que essa seja utilizada com os diferentes modelos de cabeçote e parafusos da empresa. Além disso, permite que, em caso de defeito do robô, uma das parafusadeiras seja rapidamente desmontada para a utilização em modo manual.

Com a utilização do alumínio, o peso da garra ficou em torno de 43 kg tornando possível a utilização com o robô IRB4600-60/2.05 da ABB. Se a garra fosse fabricada em aço carbono o peso seria de, aproximadamente, 71 kg e não seria possível usar esse modelo de robô da ABB que suporta, no máximo, 60 kg na extremidade terminal.

O robô foi chumbado em uma chapa de aço e foram utilizadas buchas centralizadoras para o correto posicionamento do robô e para facilidade de manutenção. O ponto de referencia para a definição do plano de trabalho do robô foi estabelecido no conjunto do pulmão.

Para garantir a correta posição dos cabeçotes na operação de desparafusamento foi instalado um sistema de indexamento pneumático.

A célula robotizada foi protegida com grades para isolá-la e evitar acidentes com os operadores. Nas portas de acesso foram utilizadas chaves de segurança que desarmam o robô caso essas portas sejam abertas enquanto esse estiver em funcionamento.

Foi desenvolvida a lógica das operações de desparafusamento e de parafusamento dos cabeçotes envolvendo o robô, o CLP, os sensores, as parafusadeiras, os sistemas de indexamento e a garra.

Desta forma, os aspectos construtivos, de segurança e de funcionamento do sistema foram satisfeitos. Com o desenvolvimento da garra, a instalação do robô, das grades de proteção, do sistema de indexamento pneumático e com a lógica de programação do sistema desenvolvida, pode-se afirmar que a operação de parafusamento e de desparafusamento dos cabeçotes foi automatizada com sucesso, não sendo mais necessária a utilização de um operador para realizar tais atividades. Esse operador foi designado para realização de outras atividades na empresa.

## REFERÊNCIAS

ABB. ABB *Robotic. IRB 4600 data sheet*. Disponível em: <<http://www.abb.com/robotics>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7. ed. São Paulo-SP: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.

CRAIG, John J. **Robótica**. 3. ed. São Paulo: Pearson do Brasil, 2012.

CRESPO, Daniel A. **Especificações de segurança para células robotizadas**. 2011. 24 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CRISPIM, Sérgio F; MEDINA, Rene M. **Fatores determinantes no processo de decisão de investimentos em robotização na indústria Brasileira de autopeças**. Revista Gestão da Produção. v. 17, n. 3, 2010.

DRAPINSKI, Janusz. **Hidráulica e pneumática industrial e móvel**: elementos e manutenção: manual prático. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

GERDAU. **Manual de aços especiais**, aço construção mecânica. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br/gerdauacosespeciais>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

GROOVER, Mikell P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson do Brasil, 2012.

HENRIQUES. Renato V. B.. **Utilização de robôs industriais**. Disponível em: <<http://www.ece.ufrgs.br/~rventura/ExerBasico.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

HIWIN. **Ball screws technical information**. Hiwin Technologies Corp. 2007.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**: uma abordagem integrada. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.



PAZOS, Fernando. **Automação de sistemas & robótica**. 1. ed. Bonsucesso: Axcel Books, 2002.

PEPPERL+FUCHS. **Sensores industriais**. Disponível em: <<http://www.pepperl-fuchs.com.br/brazil/pt/122.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

RIVIN, Eugene. **Mechanical design of robots**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

ROCKWELL. **Fundamentos de detecção de presença**. Manual de treinamento Rockwell Automation/Allen-Bradley. 1999.

ROMANO, Vitor F. **Robótica industrial: aplicação na indústria de manufatura e de processos**. 1. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2002.

ROSÁRIO, João M. **Princípios de mecatrônica**. 1. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

ROSEN, Charles A. **Robots and machine intelligence**. Handbook of Industrial Robotics. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 1985.

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de engenharia mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

STEWART, Harry L. **Pneumática & Hidráulica**. 3. ed. São Paulo: Hemus, 1994.

STURM, Wilerson. **Sensores industriais: conceitos teóricos e aplicações práticas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Papel Virtual Editora: 2004.

THOMAZINI, Daniel. **Sensores industriais, fundamentos e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2007.