



## **Programação de Sistema Robótico para Aplicação em Indústria Automotiva**

**HIAGO HENRIQUE BORIGOTO DE NOVAIS**

Outubro de 2018

# PROGRAMAÇÃO DE SISTEMA ROBÓTICO PARA APLICAÇÃO EM INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Hiago Henrique Borigoto de Novais



Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2018**



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -  
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Hiago Henrique Borigoto de Novais, Nº 1162119, 1162119@isep.ipp.pt

Orientação científica: Nuno Filipe da Fonseca Bastos Gomes, nbg@isep.ipp.pt

Empresa: WRK, Lda

Supervisão: Carlos Lopes, carlos.lopes@wrk.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2018**



Aos meus pais Evandro e Nelci, por terem sempre oferecido aos seus filhos provisão,  
incentivo, e amor em proporções imensuráveis.



## *Agradecimentos*

Agradeço a Deus, autoridade sobre o universo, que permitiu a concretização de mais esta etapa em minha trajetória. Ao meu professor orientador Nuno Filipe da Fonseca Bastos Gomes, por sua disponibilidade e auxílio prestado. Aos colaboradores da empresa WRK, por me acolherem tão gentilmente e terem me auxiliado em tudo que precisei, tendo papel crucial na minha formação acadêmica e profissional. Aos meus amigos, que foram responsáveis por tornar Portugal meu novo lar nos últimos meses. Aos meus pais, pelo apoio, incentivo, e cuidado, mesmo à distância.



## *Resumo*

Este relatório refere-se ao projeto e execução de um sistema robótico automático para inserção de componentes em peças plásticas do setor automotivo. O sistema funciona sem a necessidade de um operador, e tem elevada utilidade na indústria e no contexto de automação industrial, devido às suas vantagens de curto tempo de produção e baixos índices de falhas, em comparação com a mão-de-obra humana.

O sistema foi desenvolvido na empresa WRK, Lda., sendo o projeto de responsabilidade duma equipe multidisciplinar. A tarefa desenvolvida no âmbito desta tese prende-se com a programação do sistema que foi realizada integralmente em uma plataforma própria do robô, semelhante à linguagem C, para além de algumas seções com programação em *ladder*. O sistema aqui apresentado foi efetivamente implementado e sua funcionalidade foi verificada, bem como garantido o cumprimento de todos os requisitos pré-estabelecidos para sua operação.

### *Palavras-Chave*

Robô, braço robótico, programação, automação industrial.



## *Abstract*

This report refers to the project and execution of an automatic robotic system to insert components in plastic parts of the automotive industry. The system works without a human operator, and has been largely used in the current industry scenario, due to its benefits of short time of production and low levels of failures, in comparison to the human labor.

The system was developed in the company WRK, Lda., in which the project was responsibility of a multidisciplinary team. The task developed in this paper sticks to the programming of the system, which was completely made in the robot's own environment, similar to C programming language, and also some sections programmed in ladder language. The system here presented was effectively implemented and its functionality was verified, as well as all the requirements defined for its operation were assured to be fulfilled.

### *Keywords*

Robot, robotic arm, programming, industrial automation.



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1.OBJETIVOS .....	1
1.2.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....	2
<b>2. ROBÓTICA INDUSTRIAL</b> .....	<b>5</b>
2.1.HISTÓRIA DA ROBÓTICA INDUSTRIAL .....	5
2.2.APLICAÇÕES DOS ROBÔS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS .....	7
2.3.ARQUITETURA DOS ROBÔS INDUSTRIAIS .....	9
3.3.3ATUADORES.....	11
2.4.PROGRAMAÇÃO NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	13
A.LINGUAGEM LADDER.....	13
B.LINGUAGEM C.....	14
<b>3. TAREFAS DESENVOLVIDAS NO ÂMBITO DO ESTÁGIO</b> .....	<b>17</b>
3.1.DESCRICÃO .....	17
3.2.FUNÇÕES E PROJETOS DESEMPENHADOS NO ESTÁGIO .....	18
<b>4. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO (CÉLULA)</b> .....	<b>21</b>
4.1.OBJETIVOS ESPECÍFICOS DA CÉLULA .....	21
4.2.PROJETO MECÂNICO.....	24
4.3.ESQUEMA ELÉTRICO E QUADRO DE LIGAÇÃO .....	33
4.4.INICIALIZAÇÃO, MOVIMENTOS E COORDENADAS.....	37
4.5.ALGORITMO E PROGRAMAÇÃO.....	40
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>47</b>



## Índice de Figuras

Figura 1	Braço robótico utilizado para soldadura	7
Figura 2	Braços robóticos utilizados para pintura	8
Figura 3	Braço robótico em trabalho de paletização	8
Figura 4	Braço robótico para inserção de componentes em peça	9
Figura 5	Partes principais de um braço robótico	9
Figura 6	Exemplos de ferramentas de trabalho. (A) Pinça (B) Ventosa (C) Soldador	11
Figura 7	Exemplos de controladores de robô. (A) DX200 - Yaskawa (B) IRC5 - ABB	12
Figura 8	Consola de programação	13
Figura 9	Linha de programação em linguagem <i>ladder</i>	14
Figura 10	Máquina de deteção de componentes e corte	19
Figura 11	Máquina de inserção de componentes	19
Figura 12	Robô SEPRO para transporte de peças	22
Figura 13	Peça tipo 1 – três clips plásticos em cada peça do par	23
Figura 14	Peça tipo 2 - três clips plásticos em cada peça do par	23
Figura 15	Peça tipo 3 - três clips plásticos e um metaloplástico em cada peça do par	24
Figura 16	Diagrama de blocos – Funcionamento geral da Célula	24
Figura 17	Projeto mecânico da Célula	25
Figura 18	Vista superior diagonal da Célula completa com redoma e prateleira	26

Figura 19	Célula pronta	27
Figura 20	Braço robótico MH5L II	28
Figura 21	Controlador FS100 e consola de programação	28
Figura 22	Ferramenta de inserção de clips	29
Figura 23	Dedos da ferramenta de inserção de clips	29
Figura 24	Alimentadores de clips: (A) metaloplásticos e (B) plásticos	31
Figura 25	Tampo para afixação do par de peças tipo 1 e 2 (base A)	32
Figura 26	Tampo para afixação do par de peças tipo 3 (base B)	32
Figura 27	Leitor de código de barras	33
Figura 28	Exemplo de esquema elétrico das entradas	35
Figura 29	Exemplo de esquema elétrico das saídas	35
Figura 30	Quadro elétrico	36
Figura 31	(A) Eixos do robô e (B) orientação de coordenadas cartesianas	38
Figura 32	(A) Coordenadas cilíndricas (B) Coordenadas de ferramenta (C) Coordenadas do usuário	38
Figura 33	Principais partes da consola de programação	40
Figura 34	Fluxograma de algoritmo do robô em linguagem escrita	41
Figura 35	Cilindros para isolamento do clip metaloplástico	42
Figura 36	Fluxograma de isolamento de clip metaloplástico	43
Figura 37	Cilindros para isolamento do clip plástico	43
Figura 38	Fluxograma de isolamento de clip plástico	44



## *Índice de Tabelas*

Tabela 1	Entradas do sistema	33
Tabela 2	Saídas do sistema	34





# 1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia tem proporcionado cada vez mais agilidade, precisão, e eficiência para diversos setores da indústria. A automatização de processos industriais através da incorporação de máquinas e *softwares* à sua rotina tem se tornado cada vez mais recorrente, substituindo, em muitos casos, a mão-de-obra humana.

No caso da indústria automotiva, a produção de peças em grande escala exige a execução de movimentos repetitivos para inserção de componentes, além da constante verificação de sua qualidade. Se essas funções forem desempenhadas manualmente por funcionários da indústria, é necessário que eles trabalhem com alto nível de concentração e realizem movimentos repetitivos por longos períodos de tempo, o que pode levar a uma maior probabilidade de falhas devido à exaustão física e mental dos funcionários, além da quantidade de produção ser reduzida pelos mesmos motivos. Por isso, a automatização desse processo é relevante e amplamente utilizada nesse contexto.

## 1.1. OBJETIVOS

A Tese/ Dissertação em empresa, unidade curricular constituinte do plano de estudos do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), tem como objetivo possibilitar aos discentes que apliquem em um ambiente

empresarial os conhecimentos adquiridos ao longo da Licenciatura e Mestrado, proporcionando um primeiro contacto com o mercado de trabalho e oferecendo ao aluno a aquisição de experiência por meio do confronto com situações reais no âmbito da engenharia.

Este projeto, desenvolvido na WRK, Lda., empresa portuguesa com sede em Gondomar, teve a duração de 9 meses, iniciando-se em novembro de 2017 e finalizando em agosto de 2018; e teve como objetivo principal o estudo e programação completa de um sistema automático de inserção e deteção de componentes em peças automotivas com o uso de um braço robótico. Tal sistema é tratado neste trabalho pelo nome de Célula. Os objetivos específicos desse trabalho, por sua vez, são:

- Analisar o funcionamento completo de um sistema robótico de inserção e deteção de componentes em uma peça do setor automotivo.
- Analisar a literatura sobre automação industrial e programação lógica.
- Comparar o sistema utilizado com outros modelos existentes no mercado em termos de custo, aplicação, programação, rendimento, etc.
- Programar integralmente o sistema em questão, que inclui: braço robótico, alimentadores vibratórios, base com sensores e cilindros pneumáticos, e comunicação com outro robô externo.

## **1.2. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO**

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: no Capítulo 1 são mostrados os objetivos do trabalho, que foi realizado em ambiente empresarial. No Capítulo 2, é apresentada a empresa onde foi realizada o estágio e desenvolvida a dissertação, e também são mostradas outras funções e projetos realizados pelo aluno durante seu período de estágio. O Capítulo 3 aborda conceitos gerais sobre robótica no âmbito industrial, tais como sua história, suas abordagens, e principais modelos e técnicas utilizados na atualidade. O Capítulo 4 mostra detalhadamente todas as etapas realizadas para execução do projeto da Célula, desde a parte mecânica até às ligações elétricas e programação. No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões do trabalho.





## 2. ROBÓTICA INDUSTRIAL

A aplicação de robôs em processos industriais tem sido cada vez mais acentuada, e o desenvolvimento de novas ferramentas e tecnologias para todos os setores da indústria cresce a cada ano. Isso se dá pelos inúmeros benefícios econômicos que a automatização dos processos traz para a indústria, e a tendência é que a utilização de tais sistemas se torne cada vez mais constante.

Neste capítulo será apresentada uma breve história dos processos industriais desde seu início até a utilização de máquinas automáticas, e serão mostradas definições, comparações, e particularidades dos robôs utilizados nesses processos.

### 2.1. HISTÓRIA DA ROBÓTICA INDUSTRIAL

O método mais antigo existente e ainda utilizado em indústrias de produção em larga escala é o uso da mão-de-obra humana para execução das atividades de montagem, verificação, medição e qualquer demais tarefas desempenhadas em um ambiente industrial. Esse modelo de trabalho tem como principal vantagem o número de empregos gerados, visto que, para produção de muitas unidades, são necessários muitos funcionários para executar todas as etapas do processo. Entretanto, apesar de causar um impacto positivo no âmbito social, a indústria não tem um alto rendimento ao utilizar exclusivamente a mão-de-obra humana. A execução de todas essas etapas por longos e repetitivos períodos de

trabalho levam os funcionários à exaustão física e psicológica, diminuindo seu rendimento e fazendo com que percam a concentração necessária para o correto cumprimento das tarefas. Isso faz com que a empresa tenha que ter alta rotatividade de funcionários e divisão de tarefas, o que acarreta em perda de tempo e, conseqüentemente, redução de lucro [2].

Um marco histórico na inclusão de máquinas automatizadas aos processos industriais foi a incorporação de uma esteira transportadora como auxiliar na linha de produção. Concebida por Henry Ford no ano de 1913 para fabricação de automóveis Ford, a esteira possibilitou aos funcionários executarem suas respectivas tarefas se movendo o menos possível, e, conseqüentemente, reduzindo o tempo de produção. Enquanto eles ficavam parados, o produto passava à sua frente por meio da esteira e parava por um determinado período de tempo para que cada operador realizasse sua tarefa, de forma progressiva e sequencial [5].

Esse modelo de trabalho foi amplamente debatido como sendo extremamente prejudicial para a saúde dos operadores. Além de não receberem qualquer tipo de qualificação extra devido à tarefa simples e básica que cada um tinha que executar, os funcionários desse sistema de produção eram condicionados a um trabalho repetitivo e exaustivo, com baixa remuneração e impactos negativos na saúde mental e satisfação pessoal dos trabalhadores [6].

Com a chegada da automação industrial, que é definida pela movimentação automática de materiais, a incorporação de máquinas ao processo de produção foi se tornando cada vez mais abrangente, de modo que muitos dos movimentos minuciosos antes executados apenas pelos operadores puderam ser substituídos pela precisão de máquinas controladas por algoritmos de lógica. O conceito facilmente se popularizou, já que as máquinas apresentam mais resistência, precisão e agilidade que os seres humanos em muitas tarefas. Nesse sentido, a chegada de máquinas ao contexto industrial de produção em grande escala fez com que a maioria das linhas de produção inteiramente humana fosse substituída [1].

Inicialmente, surgiu o conceito de máquinas semi-automáticas, que necessitam da participação de um ser-humano para seu funcionamento. Nas máquinas semi-automáticas, o operador tem a função de fazer os movimentos mais simples do processo e dar ordem à máquina, que executa os movimentos mais complexos. A máquina pode também verificar com precisão fatores que garantem a qualidade final do produto. Muitas das máquinas hoje

em dia ainda seguem esse conceito, que é amplamente utilizado e muitas vezes necessário dado o tipo do processo industrial em questão.

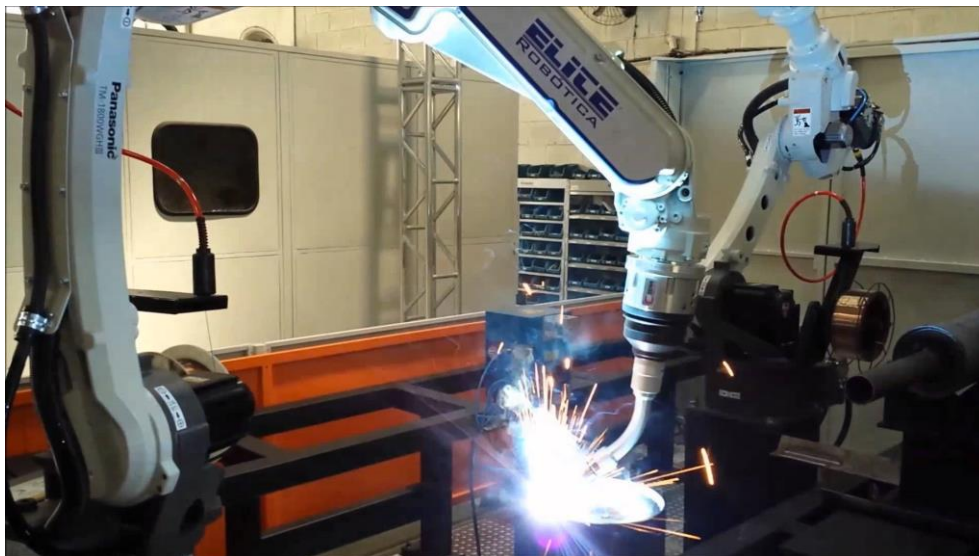
Por fim, graças ao desenvolvimento de circuitos integrados, eletrônica, e computadores, a evolução tecnológica proporcionou a concepção de máquinas automáticas, que realizam todo o processo de forma independente e autônoma, como é o caso do sistema abordado neste trabalho: o braço robótico.

Com o passar dos anos, os robôs passaram por grande evolução em termos de velocidade, peso, vida útil, forma de programação e integração com outros dispositivos; sendo hoje utilizados nas mais diversas áreas e em diferentes contextos industriais.

## **2.2. APLICAÇÕES DOS ROBÔS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Os robôs são frequentemente criados e moldados para atuar nos mais variados setores. A arquitetura mais utilizada para esse tipo de processo automático é o braço robótico (um robô que imita o braço humano), contendo eixos giratórios e vários graus de liberdade e mobilidade, facilitando o posicionamento exato para cumprir com sua finalidade. Na extremidade desse braço é instalada a ferramenta de trabalho apropriada para a função a ser desempenhada.

Nas figuras a seguir são mostrados exemplos de aplicações de robôs na indústria. A Figura 1 mostra a utilização de um braço robótico para soldadura.



**Figura 1 Braço robótico utilizado para soldadura**

A Figura 2 mostra a utilização de braços robóticos na pintura de peças de automóveis.



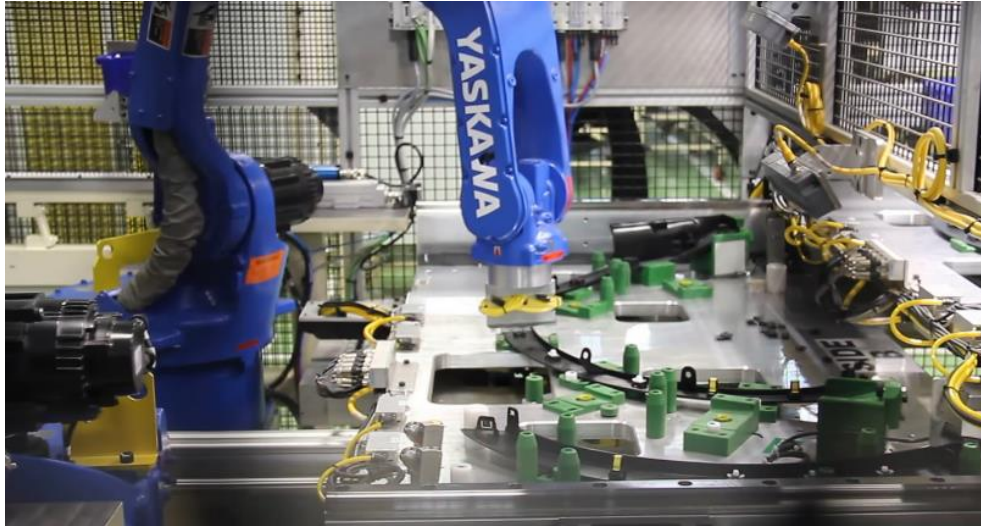
**Figura 2 Braços robóticos utilizados para pintura**

A Figura 3 mostra a utilização de um braço robótico para paletização, que consiste no empilhamento de materiais em uma ordem específica para serem transportados após sua produção.



**Figura 3 Braço robótico em trabalho de paletização**

A Figura 4 mostra a utilização de um braço robótico para inserção de componentes em uma peça, semelhantemente à aplicação principal do projeto descrito no presente trabalho.



**Figura 4 Braço robótico para inserção de componentes em peça**

### **2.3. ARQUITETURA DOS ROBÔS INDUSTRIAIS**

Como mencionado, o tipo mais comum de robô industrial é o que se assemelha ao braço humano. Na Figura 5 são mostradas as partes principais de um braço robótico, constituído de base, braço, e punho. A base é a região que dá sustentação ao robô, permitindo um movimento rotacional ao redor de seu eixo. O braço é a parte associada ao posicionamento do robô no espaço físico, e é normalmente formado por duas estruturas ligadas entre si por um eixo (representando o braço e o antebraço humano). A função do punho é orientar a ferramenta de trabalho, possibilitando-a alcançar e manipular os pontos necessários à execução de sua tarefa [7].



**Figura 5 Partes principais de um braço robótico**

Entretanto, um sistema robótico completo envolve mais elementos em sua composição, de forma a garantir o funcionamento integral do conjunto, sendo eles:

1. Estrutura mecânica;
2. Ponta ou ferramenta de trabalho;
3. Atuadores;
4. Sensores
5. Controlador;
6. Consola de programação;

Tais elementos são descritos detalhadamente a seguir.

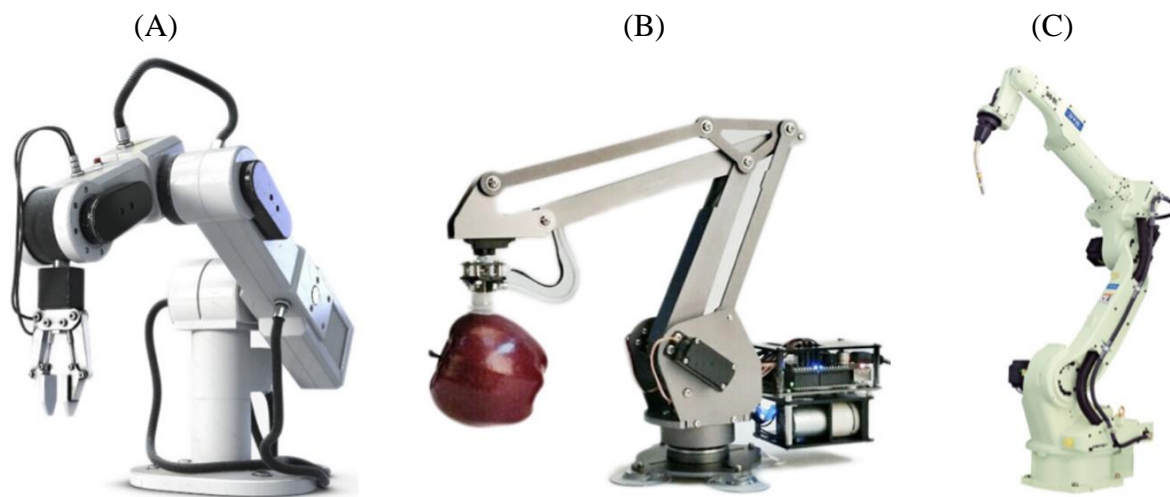
### **3.3.1 ESTRUTURA MECÂNICA**

A estrutura mecânica consiste em todas as partes físicas que compõem o sistema, e elas estão presentes não apenas no braço robótico, como também ao seu redor, como por exemplo, a armação/ base em que ele está inserido. Podem ser necessários à estrutura mecânica:

- Base para apoio do braço robótico;
- Base para apoio das peças a serem produzidas;
- Estruturas de segurança para proteção do sistema;
- Base de apoio para todos os dispositivos que deverão se comunicar com o robô.

### **3.3.2 PONTA OU FERRAMENTA DE TRABALHO**

A ponta ou ferramenta de trabalho é o dispositivo que fica fixado à extremidade do braço robótico (punho), designado para uma finalidade específica. Este elemento pode ser uma garra, uma pinça, um dispositivo de sucção, uma ferramenta rotativa, entre muitas outras possibilidades de manipulação de objetos. Alguns exemplos são mostrados na Figura 6.



**Figura 6 Exemplos de ferramentas de trabalho. (A) Pinça (B) Ventosa (C) Soldador**

### **3.3.3 ATUADORES**

Os atuadores são dispositivos responsáveis por atuar mecanicamente no sistema, desempenhando movimentos para auxiliar o trabalho do braço robótico. Os tipos mais comuns de atuadores são os hidráulicos, elétricos, e pneumáticos, que utilizam a energia da água, eletricidade e ar, respectivamente, para executar movimentos pré-definidos no sistema robótico.

Um exemplo de atuador é o motor elétrico, que usualmente é acoplado a polias e peças previamente projetadas para realizar movimentos rotacionais de auxílio. Outro exemplo é o cilindro pneumático, que utiliza o fluxo de ar comprimido para avançar ou recuar a partir do seu eixo fixo. Tais atuadores servem para, por exemplo, prender ou mover o objeto de trabalho do braço robótico.

### **3.3.4 SENSORES**

Os sensores são responsáveis por enviar informações do meio externo para o robô. Os sensores mais comuns são sensores de presença, sensores de temperatura, e sensores de fim de curso. Sem a informação proveniente dos sensores o robô não atuaria da melhor maneira possível, pois não teria conhecimento de qual o estado atual de diversos fatores e componentes que fazem parte de seu ciclo de trabalho. Um exemplo do uso de sensores em um sistema robótico é o sensor de presença de peça, que “avisa” o robô que já há uma peça

no local certo para ele poder realizar suas tarefas. Outro exemplo é o sensor de fim de curso aplicado a calcadores de peça: eles “avisam” o robô que o calcador já chegou ao fim de seu curso, e, portanto, a peça está pronta para a próxima etapa.

### 3.3.5 CONTROLADOR

O controlador é a parte que abriga o sistema operacional do robô. É nele que são executadas todas as rotinas de programação, e onde acontece todo o controle e gestão das entradas e saídas pertencentes ao sistema. É possível integrar o controlador a dispositivos externos, e isso pode ser muito útil em termos de segurança e aumento da funcionalidade de um sistema robótico. Alguns exemplos de controladores são mostrados na Figura 7.



Figura 7 Exemplos de controladores de robô. (A) DX200 - Yaskawa (B) IRC5 - ABB

### 3.3.6 CONSOLA DE PROGRAMAÇÃO

A consola de programação é um dispositivo associado ao controlador que permite a integração visual entre o utilizador do robô e seu sistema de operação. Através dela, o programador pode criar rotinas e escrever algoritmos, bem como visualizar o estado atual de todos os sinais gerenciados pelo controlador.

Geralmente a consola de programação é composta por um ecrã tátil, associado a uma estrutura que contém botões para gerenciamento de suas funções e movimentação do robô, como o exemplo mostrado na Figura 8.



Figura 8 Consola de programação

## 2.4. PROGRAMAÇÃO NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Uma parte fundamental de um sistema industrial automático é a programação lógica. O algoritmo que corre em uma máquina industrial é o responsável por toda a gestão de seu bom desempenho. A programação lógica tem sido investigada e aprimorada desde a sua criação, quando inicialmente foi proposto um “programa para formar conclusões imediatas a partir de uma lista de premissas”, e atualmente há incontáveis métodos, *softwares*, e linguagens diferentes para programação, que são utilizados para as mais diversas finalidades [8].

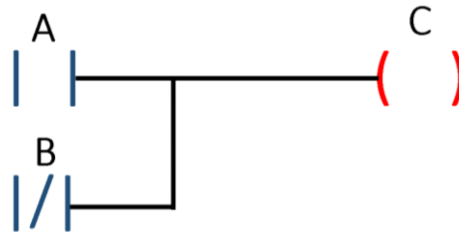
Neste trabalho foram utilizadas duas linguagens de programação para o desenvolvimento dos algoritmos necessários: linguagem *ladder* e uma outra linguagem própria do robô, semelhante à linguagem C.

### A. LINGUAGEM LADDER

A linguagem *ladder*, ou linguagem “escada”, é uma linguagem visual para programação lógica, onde todos os sinais e funções são representados, basicamente, através de contatos e bobinas, semelhantemente a um circuito elétrico real. O nome dessa linguagem deriva-se do fato de que as etapas do algoritmo seguem uma ordem sequencial de acontecimentos, de cima para baixo, como os degraus de uma escada. A vantagem dessa lógica é que ela é

vista hoje como uma linguagem de fácil compreensão, por ser intuitiva e visual, tornando-se acessível a programadores de diferentes níveis de conhecimento.

A Figura 9 mostra um exemplo das funções mais básicas da linguagem *ladder*: contato aberto, contato fechado e bobina. Nesta linha lógica, está programado que, se o sinal de entrada A estiver ligado ou o sinal de entrada B estiver desligado, o sinal de saída C será ativado.



**Figura 9** Linha de programação em linguagem *ladder*

Esse foi um exemplo mostrado para uma lógica básica booleana, ou seja, onde os sinais só assumem estados de 0 ou 1 (desligado ou ligado). Dentro da linguagem *ladder* atual, existem muitas outras funções disponíveis para incorporar ao algoritmo, tais como: verificação de números inteiros, uso de temporizadores, operações matemáticas, entre outras.

A linguagem *ladder* é utilizada essencialmente na programação de PLCs (*Programmable Logic Controllers*), dispositivos que utilizam o algoritmo para atuação em saídas elétricas, a partir da leitura de sinais de entrada conectados em seus terminais.

## **B. LINGUAGEM C**

A linguagem C é uma das formais mais populares de programação utilizadas atualmente. Sua forma visual é em texto, onde o utilizador deve escrever na plataforma de programação todos os comandos necessários para a finalidade desejada. A linguagem utilizada nesse trabalho é uma versão simplificada da linguagem C, pois o *software* utilizado traz comandos prontos que podem ser utilizados sem a necessidade de digitá-los manualmente. No entanto, a estrutura de linguagem e sintaxe é semelhante.

A seguir, é mostrado um exemplo simplificado de programação em C, que executa a mesma lógica do exemplo mostrado anteriormente para a linguagem *ladder*.

```
if (A=1) or (B=0)
```

```
    C = 1;
```

```
end
```

Nesse caso, é utilizado o comando “if”, que se traduz do inglês como a partícula condicional “se”. Se a variável A for igual a 1 ou a variável B for igual a 0, a variável C será igual a 1.



# 3. TAREFAS DESENVOLVIDAS NO ÂMBITO DO ESTÁGIO

Neste capítulo são apresentadas características gerais da empresa WRK, Lda., onde foi desenvolvido o trabalho, bem como outras funções e projetos desempenhados pelo aluno durante o estágio.

## 3.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A WRK, Lda. é uma empresa no ramo da automação que iniciou a sua atividade a 1 de março de 2011. Dedicar-se à conceção e construção de máquinas e equipamentos especiais para montagem e teste de qualidade de peças em subsectores da construção automóvel, disponibilizando os seguintes serviços:

- a. Maquinação Automática - comando numérico computadorizado;
- b. Maquinação Convencional;
- c. Construções Mecânicas;
- d. Mecatrónica;

- e. Automação Industrial;
- f. Medição Tridimensional.

Dotada de competências de projeto, fabrico e assistência técnica, a WRK pretende, em colaboração com os clientes, desenvolver e criar soluções que visam a melhoria nos processos de fabrico, bem como a melhoria da qualidade final dos produtos.

Para elaboração completa de uma máquina, seu projeto passa por uma série de processos sequenciais dentro da WRK. Para isso, há diferentes setores responsáveis por diferentes etapas do funcionamento eficaz do produto final, dentre eles: setor de desenho e projeto mecânico, setor de maquinação de peças, setor de montagem mecânica e elétrica, e setor de automação (no qual o estágio foi realizado).

### **3.2. FUNÇÕES E PROJETOS DESEMPENHADOS NO ESTÁGIO**

O programa de estágio realizado na WRK consistiu na realização de tarefas relacionadas com programação e elaboração de esquemas elétricos das máquinas produzidas na empresa. Além do projeto do braço robótico, tema deste trabalho, outros projetos foram executados pelo estagiário, como se descreve a seguir.

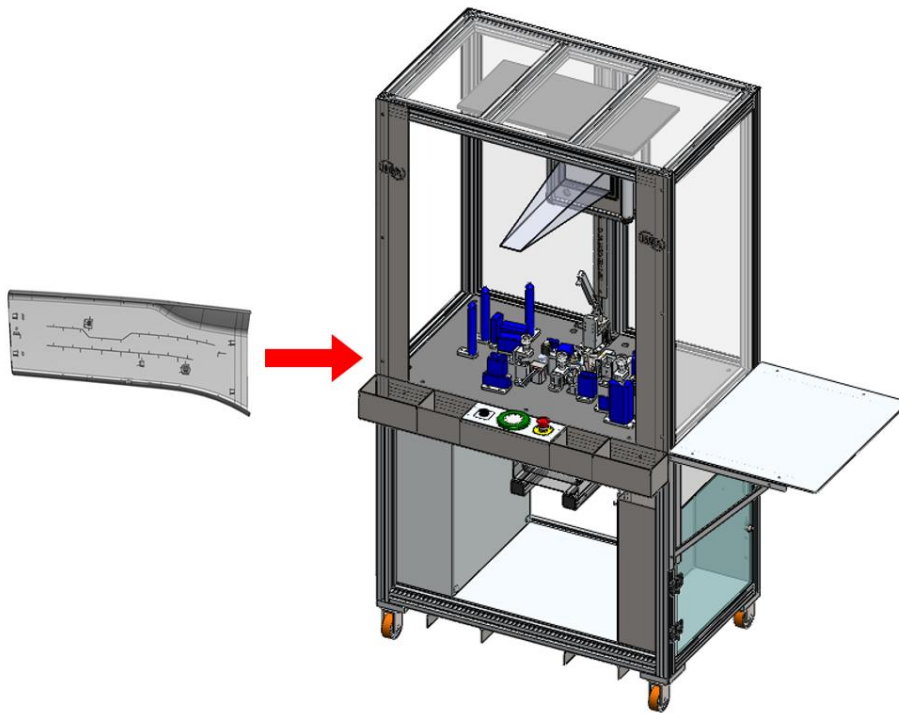
#### **A. Projeto n° 17.097**

O projeto n° 17.097 (Figura 10) trata-se de uma máquina que realiza a detecção automática de componentes de uma peça plástica colocada na máquina pelo operador, e após isso realiza o corte de uma parte excedente da peça através de uma tesoura pneumática. O estagiário desenvolveu toda a programação do PLC (*Programmable Logic Controller*), do relé de segurança e de uma consola interativa, localizada à frente do operador da máquina, que mostra o estado atual do processo e permite que o operador selecione e gereencie todas as funções relacionadas à máquina.

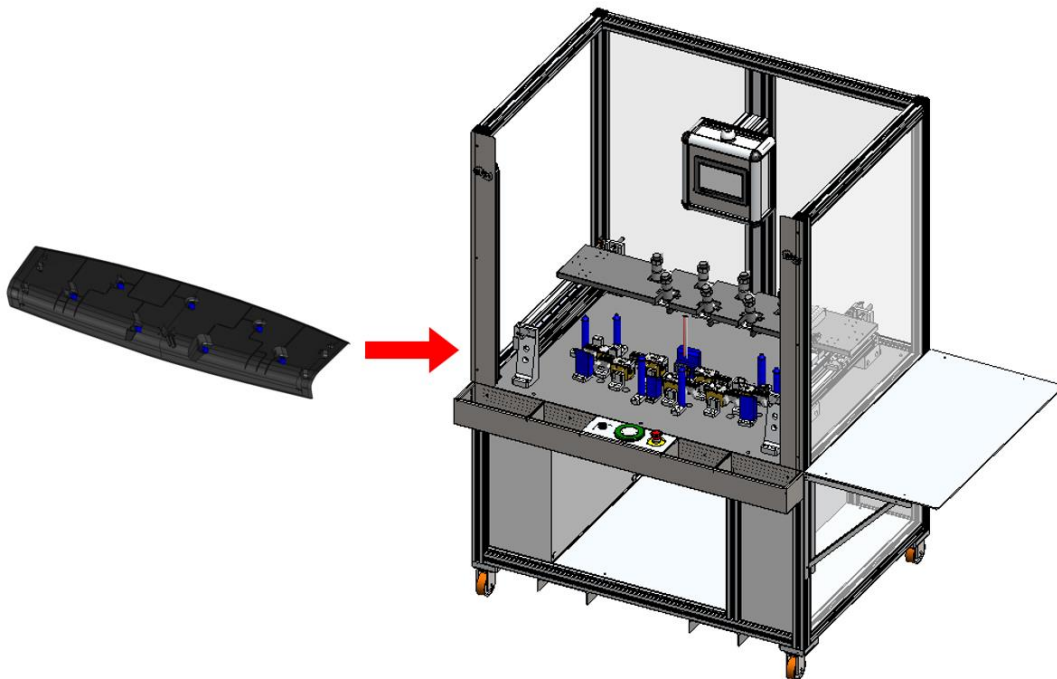
#### **B. Projeto n° 17.110**

Outro exemplo de máquina desenvolvida durante o estágio é a de n° 17.110, mostrada na Figura 11. Essa máquina é responsável por realizar inserções de componentes na peça plástica que é colocada na máquina por um robô externo. Esse robô, de propriedade da fábrica de peças, busca as peças no molde e as traz para a máquina desenvolvida pela WRK para inserção de componentes. Assim como no outro exemplo mostrado, o estagiário desenvolveu a programação do PLC (*Programmable Logic Controller*), do relé de

segurança e de uma consola interativa, além do algoritmo de comunicação com o robô externo.



**Figura 10** Máquina de deteção de componentes e corte



**Figura 11** Máquina de inserção de componentes



## 4. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO (CÉLULA)

Neste capítulo será detalhado todo o trabalho realizado para o desenvolvimento da Célula, através da descrição específica de cada etapa do processo.

### 4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DA CÉLULA

O sistema robótico deste projeto é denominado “Célula”, e tem como função principal inserir clips em peças plásticas que futuramente serão designadas para constituir o interior de um automóvel. A Célula é uma máquina automática, ou seja, não necessita da atuação direta de um operador para o seu funcionamento.

Após as peças serem produzidas na fábrica do cliente por meio da injeção de plástico em moldes, um outro robô industrial as busca e as traz para a Célula desenvolvida pela WRK, onde então devem acontecer alguns processos, detalhados a seguir. Esse robô que traz as peças é da marca SEPRO e pertence à fábrica do cliente, não sendo programado pela WRK. A Figura 12 mostra um exemplo desse robô, que é responsável pelo transporte das peças da saída do molde até à Célula, através de garras e ventosas a vácuo fixadas em sua extremidade de contacto com a peça.



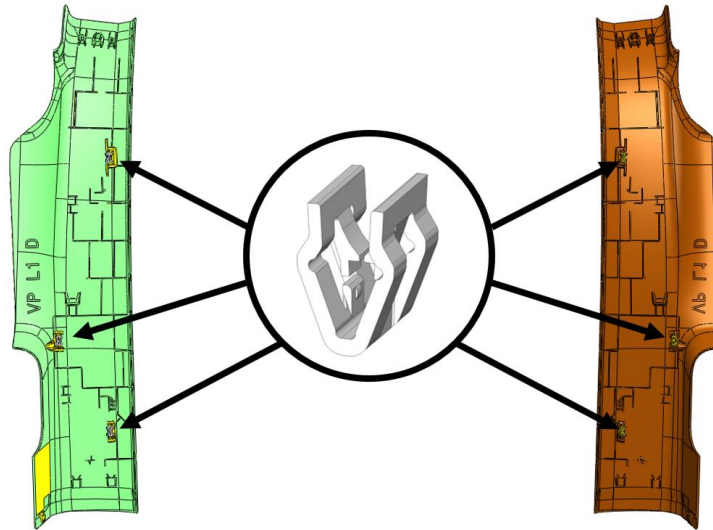
**Figura 12 Robô SEPRO para transporte de peças**

O cliente, comprador da Célula, enviou à WRK um caderno de encargos, que consiste em um documento que consta todas as especificações que o sistema deve ter e requisitos que deve cumprir, sendo os mais importantes ressaltados a seguir:

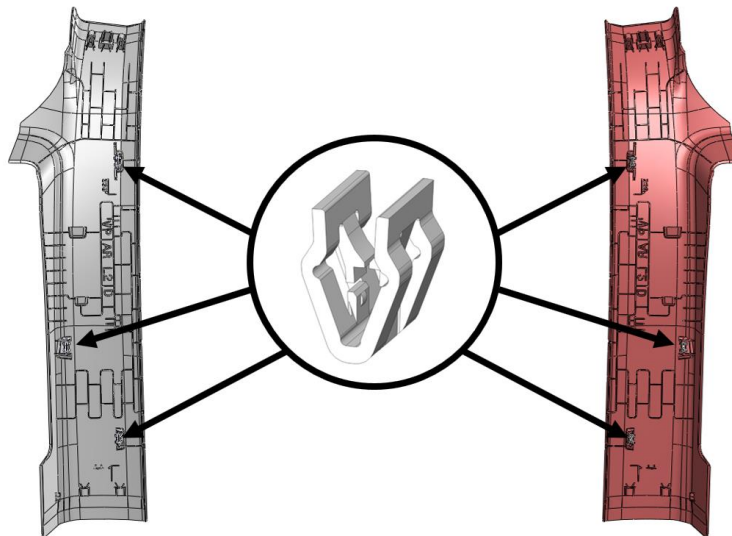
- As peças devem ser calcadas para que não tenham folga de movimento, por meio de atuadores pneumáticos acionados por eletroválvulas;
- A Célula deve realizar uma verificação de que as peças cumprem integralmente a forma do molde (verificar que não houve falha na injeção de plástico no molde) através de sensores de presença denominados “detetores de incompleto”, direcionados a regiões específicas das peças, onde costumam haver falhas de injeção;
- O braço robótico deve inserir componentes complementares que devem ser acoplados às peças, neste caso, clips plásticos e metaloplásticos;
- Deve haver uma verificação final de que a etapa acima foi cumprida, por meio de sensores de presença de clips;
- A Célula deve informar ao robô SEPRO externo, de propriedade do cliente, se as peças passaram pelo processo com êxito ou se houveram falhas;
- Em caso de êxito na inserção de clips e verificação, a peça deve ser marcada com um pequeno furo, através de um cilindro de marcação;
- O tempo de ciclo (carregamento + inserção) não deve ser superior a 36 segundos;
- A Célula deve ter capacidade para alojar três tipos diferentes de peças, em que cada tipo tem quantidades específicas de clips a serem inseridos (neste trabalho as peças

serão denominadas como tipo 1, tipo 2 e tipo 3, onde as peças tipo 1 e 2 levam três clips plásticos cada, e a peça tipo 3 leva três clips plásticos e um clip metaloplástico). Os três tipos de peças e seus respectivos clips são mostrados na Figura 13, Figura 14 e Figura 15. As peças trazidas até à Célula sempre vem em pares de peças simetricamente espelhadas do mesmo tipo;

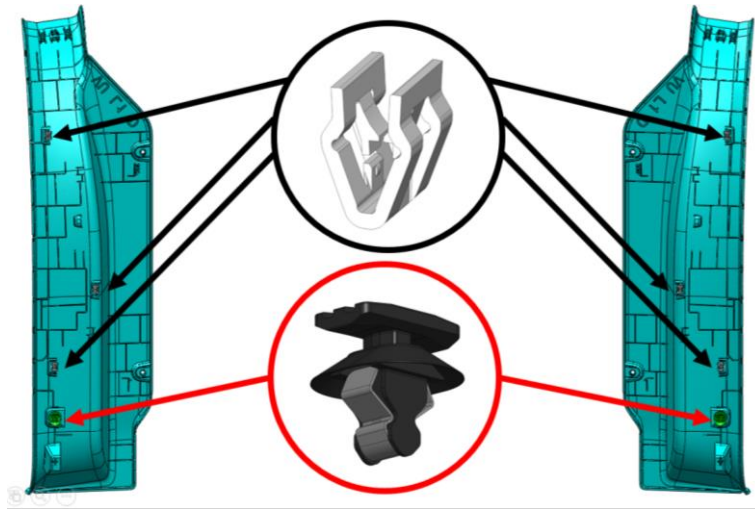
- O operador da máquina deve, no início do ciclo, informar à Célula através da leitura em código de barras qual tipo de peça será produzido;
- Como há dois tipos de clips para serem inseridos nas peças, a Célula deve conter dois alimentadores, responsáveis por fornecer ao braço robótico um clip isolado dos demais clips, na posição exata para ser retirado.



**Figura 13 Peça tipo 1 – três clips plásticos em cada peça do par**

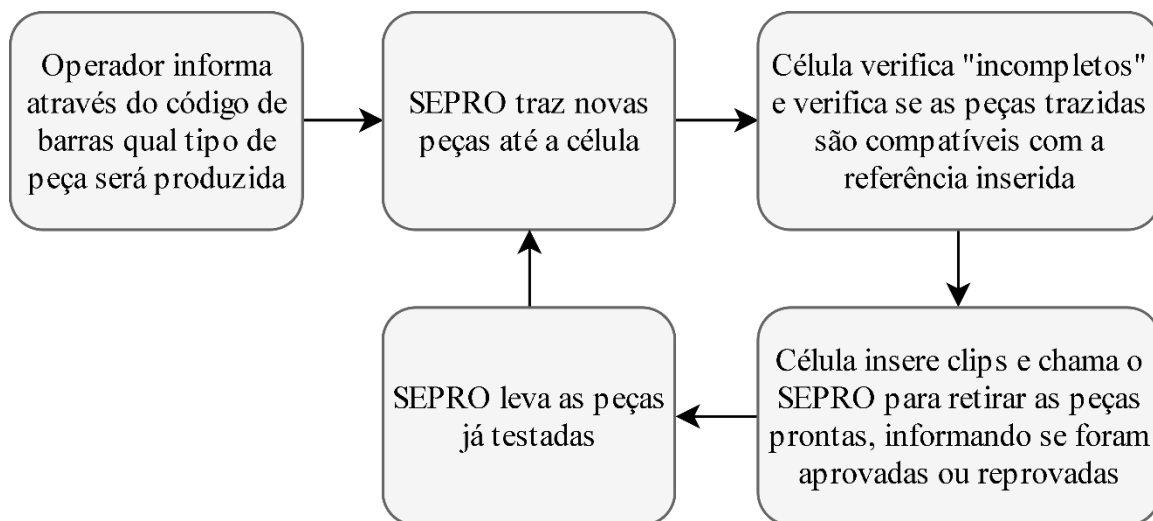


**Figura 14 Peça tipo 2 - três clips plásticos em cada peça do par**



**Figura 15 Peça tipo 3 - três clips plásticos e um metaloplástico em cada peça do par**

Em suma, a Figura 16 mostra de maneira simplificada um diagrama de blocos do funcionamento geral da Célula. Mais detalhes e pormenores de cada etapa do processo serão mostrados nas seções a seguir.

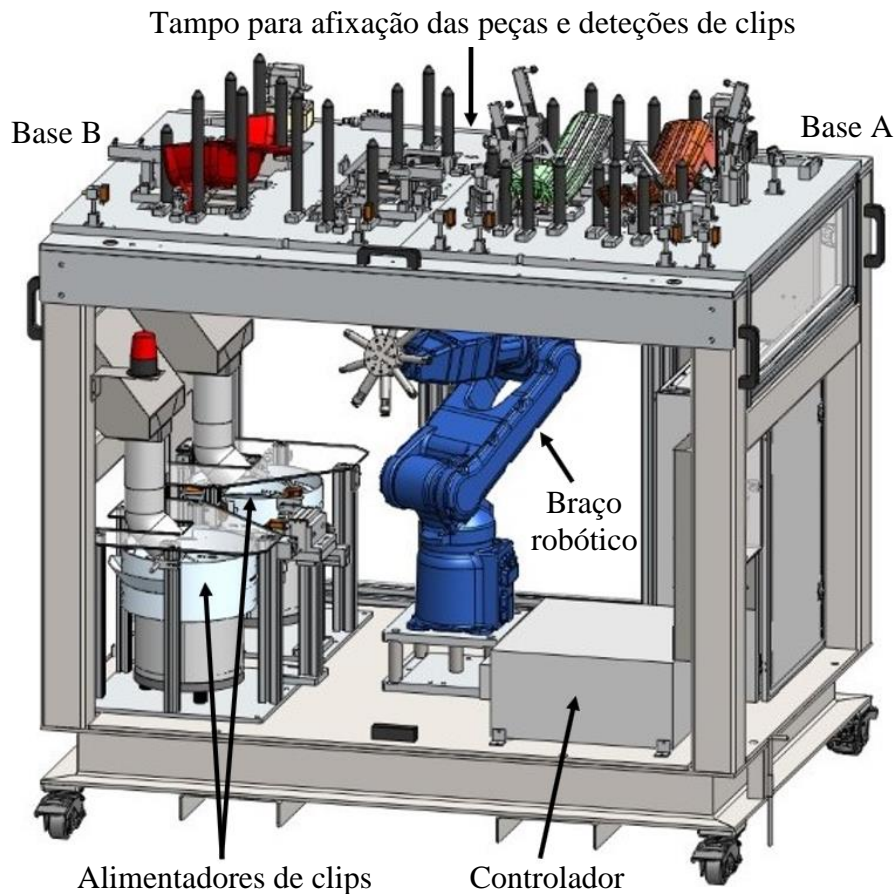


**Figura 16 Diagrama de blocos – Funcionamento geral da Célula**

## **4.2. PROJETO MECÂNICO**

O início do processo de criação do sistema robótico se deu pela parte mecânica. Os responsáveis pela idealização física do sistema são os projetistas do setor de desenho e mecânica da WRK, Lda. Após o estudo das peças a serem produzidas, e em acordo com as requisições do cliente, o sistema foi desenhado e aprovado para ser construído. A Figura 17 mostra o desenho da Célula projetada (sem redoma de proteção). As peças tipo 1 e 2

compartilham a mesma base no tampo superior (base A), enquanto a peça tipo 3 deve ser pousada na outra base (base B).



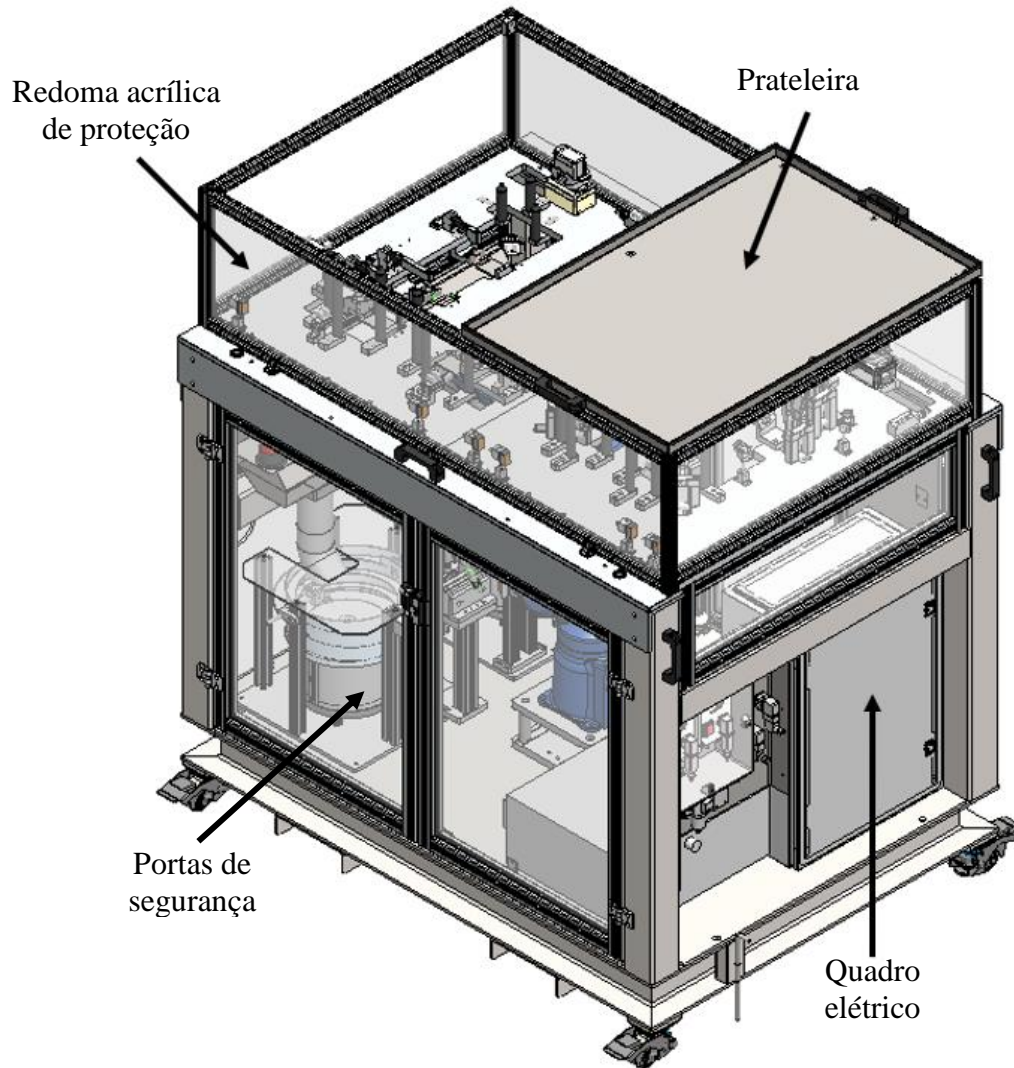
**Figura 17 Projeto mecânico da Célula**

A seguir são mostrados alguns dados gerais sobre a Célula:

- Altura: 1835 mm;
- Comprimento: 1700 mm;
- Largura: 1370 mm;
- Tensão elétrica de alimentação: 230 V<sub>AC</sub>;
- Corrente elétrica máxima: 25 A;
- Pressão de funcionamento para dispositivos pneumáticos: 8 Bar;

A Figura 18 mostra a Célula em uma visão superior diagonal, com a redoma acrílica de proteção, que contém em sua parte superior uma prateleira para que o SEPRO deixe peças não aprovadas pela Célula. Essa prateleira desliza de um lado para o outro e deve estar na posição correta para que o SEPRO deixe peças em uma base ou outra, ou seja, deve estar acima da base não utilizada na hora da produção.

As portas de segurança mostradas na figura tem um sinal elétrico diretamente ligado ao plug de segurança do controlador do robô. Quando as portas são abertas, o braço robótico pára de se movimentar imediatamente para garantir a segurança do operador, e só retoma seu ciclo após as portas estarem fechadas novamente.



**Figura 18** Vista superior diagonal da Célula completa com redoma e prateleira

A Figura 19 mostra a Célula completamente montada, pronta para entrega.



**Figura 19 Célula pronta**

Nos tópicos a seguir são detalhadas as partes principais que compõem o sistema completo mostrado nas figuras anteriores.

### **A. BRAÇO ROBÓTICO E CONTROLADOR**

O braço robótico utilizado é da marca Yaskawa Motoman, subsidiária americana da empresa japonesa Yaswaka Electric Corporation. O modelo utilizado é o MH5L II, que possui 6 eixos de rotação e 895 mm de alcance, mostrado na Figura 20. Mais detalhes sobre os movimentos e controlo desse braço robótico serão mostrados na Seção 4.4.



**Figura 20 Braço robótico MH5L II**

O controlador utilizado é da marca Yaskawa, modelo FS100, mostrado na Figura 21, juntamente com sua consola de programação, cujo funcionamento será detalhado nas seções a seguir.

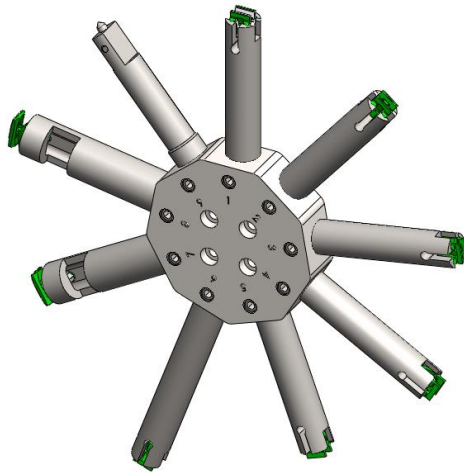


**Figura 21 Controlador FS100 e consola de programação**

## **B. FERRAMENTA**

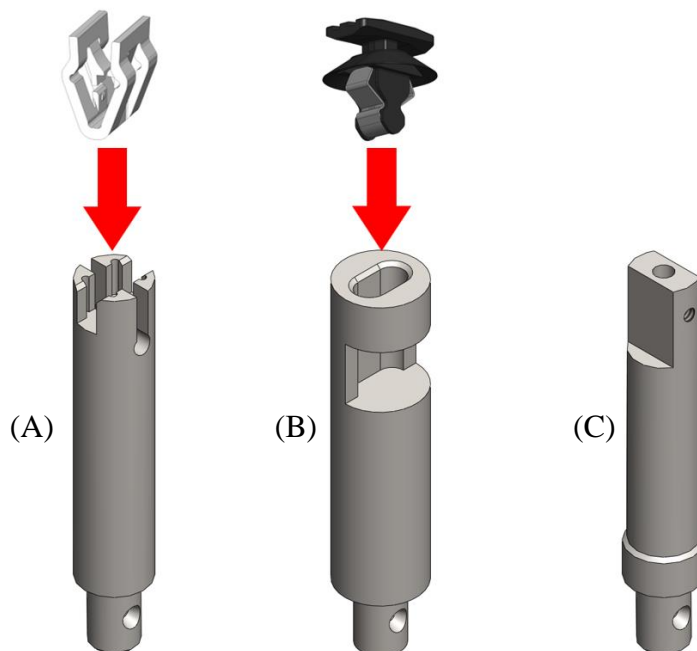
A ferramenta de trabalho, fixada na extremidade do braço robótico, tem como função buscar os clips nos alimentadores, ficando totalmente carregada, e depois inserí-los nas

peças. Essa ferramenta, que neste trabalho é denominada “estrela”, é constituída por nove extremidades denominadas “grippers” ou “dedos”, e é mostrada na Figura 22.



**Figura 22 Ferramenta de inserção de clips**

Oito dedos são responsáveis pela coleta e inserção de clips, sendo seis designados para as funções relativas aos clips plásticos (Figura 23 (A)) e dois para os clips metaloplásticos (Figura 23 (B)). O nono dedo tem a função de retirar clips metaloplásticos já inseridos nas peças caso necessário (Figura 23 (C)).



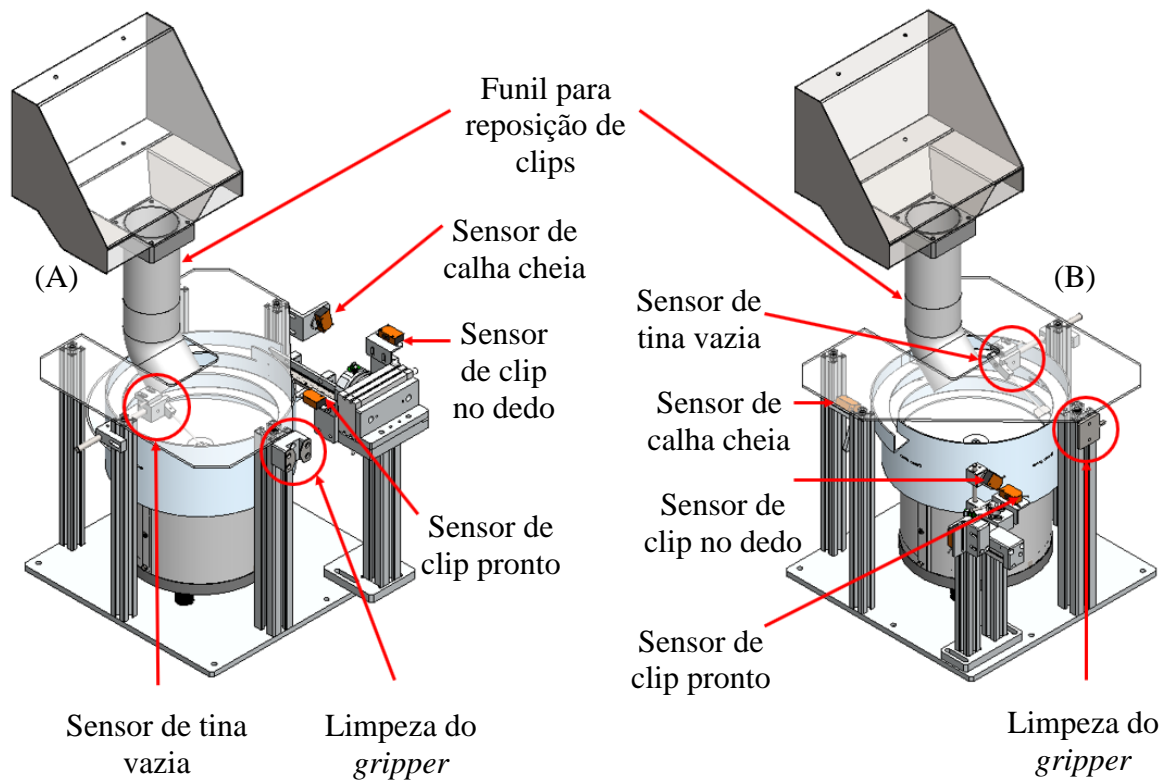
**Figura 23 Dedos da ferramenta de inserção de clips**

## C. ALIMENTADORES

Um alimentador de clips, também chamado de tina vibratória, é como uma panela com vários clips em seu interior, e a partir da vibração de toda sua superfície, os clips sobem por uma trilha que os leva enfileiramente até a extremidade do alimentador. A partir das requisições do cadernos de encargos do cliente para os dois alimentadores (de clips plásticos e metaloplásticos), foram desenvolvidas tinas vibratórias com as seguintes especificações:

- Sensor de calha cheia (para detetar quando a fileira já está cheia de clips, possibilitando desligar o alimentador temporariamente);
- Sensor de presença de clip pronto para robô (para detetar quando o clip já está na posição final onde pode ser retirado pelo *gripper*);
- Sensor de presença de clip na ferramenta do robô (para verificar que a ferramenta conseguiu pegar o clip com sucesso);
- Sensor de nível de cuba (para detetar quando o alimentador está vazio, necessitando de reposição de clips);
- Funil para alimentação de clips (um tubo que liga a área externa da Célula até o meio do alimentador, possibilitando ao operador realizar a reposição de clips quando necessário, sem interferir no ciclo do robô);
- Zona para limpeza do *gripper* (um aparato para o braço robótico tirar clips da ferramenta de trabalho quando necessário);
- Alerta sonoro e luminoso para falta de clips prontos para robô e nível de cuba baixo.

O desenho dos alimentadores projetados e a identificação de suas partes principais são mostrados na Figura 24.

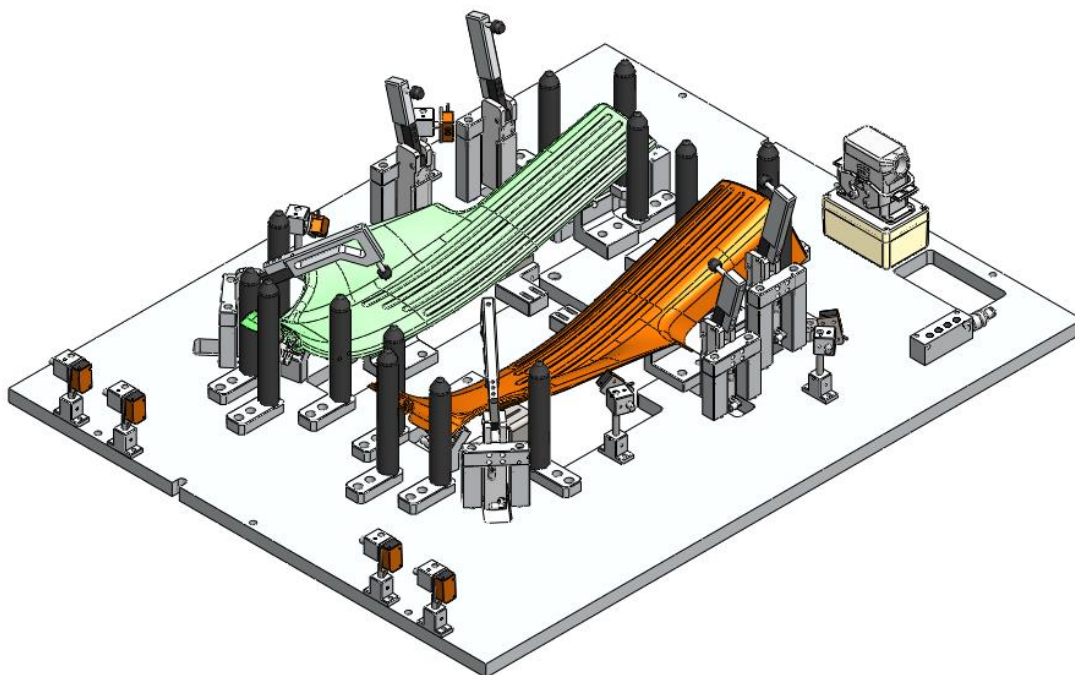


**Figura 24 Alimentadores de clips: (A) metaloplásticos e (B) plásticos**

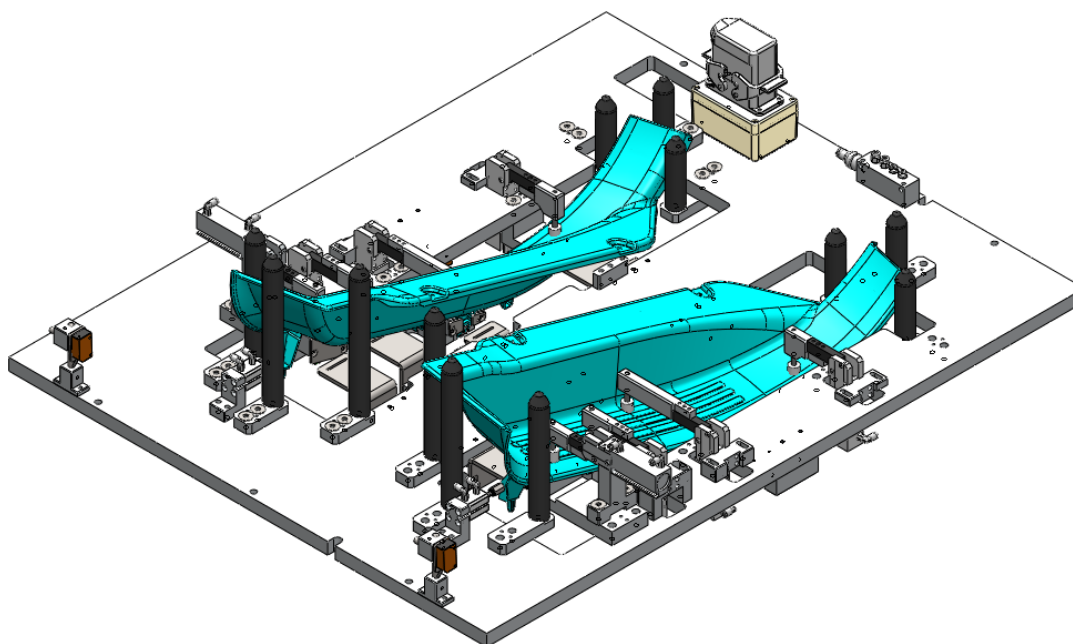
Para possibilitar à ferramenta o encaixe de um clip em seu *gripper*, foi necessária a disponibilização de um clip isolado dos demais que vem enfileirados pelo alimentador. Para isso, foram desenvolvidos sistemas pneumáticos que ajudam a movimentar o primeiro clip da fila isoladamente até um lugar adequado para a atuação do *gripper*, enquanto a fila de clips fica paralisada a uma certa distância atrás. Essa gestão foi programada por meio de rotinas em linguagem escrita e também em *ladder*, que funcionam ininterruptamente enquanto a Célula estiver ligada. Dessa forma, os movimentos do robô acontecem independentemente dos movimentos dos cilindros pneumáticos dos alimentadores. A descrição detalhada dos movimentos desses cilindros e sua programação será tratada na Seção 4.5.

#### **D. TAMPO DE AFIXAÇÃO**

Na parte superior da Célula está localizado o tampo, onde estão todas as estruturas para recepção dos três tipos de peça (tipo 1 e tipo 2 de um lado [base A] e tipo 3 no outro [base B]), bem como os atuadores pneumáticos para calcamento, com sensores de posição avançada ou recuada, e os sensores de presença de peça e clips. A Figura 25 e Figura 26 mostram as duas bases do tampo, onde é possível ver as peças encaixadas em suas respectivas bases.



**Figura 25 Tampo para afixação do par de peças tipo 1 e 2 (base A)**



**Figura 26 Tampo para afixação do par de peças tipo 3 (base B)**

Na parte de baixo das bases ficam os sensores de clips, que enviam um sinal ao controlador do robô quando há presença de clip. Na parte de cima das bases ficam os sensores de peça e de incompleto. Para a base esquerda, há sensores diferentes para as peças tipo 1 e tipo 2, que permitem identificar se a peça trazida pelo SEPRO é realmente condizente com a referência do código de barras fornecido no início do ciclo pelo operador.

## E. LEITOR DE CÓDIGO DE BARRAS

O leitor de código de barras utilizado é o dispositivo mostrado na Figura 27, do modelo QuickScan QD2131 da marca Datalogic. O operador da Célula deve ter em mãos os códigos de barra existentes para as peças que serão testadas, e o algoritmo programado no controlador do robô se encarrega de decodificar a informação recebida e identificar a peça trazida como compatível ou não com as características esperadas para aquela versão, por meio dos sensores de peça específicos para cada versão.



Figura 27 Leitor de código de barras

### 4.3. ESQUEMA ELÉTRICO E QUADRO DE LIGAÇÃO

O esquema elétrico é um documento que consta todos os detalhes de ligação dos dispositivos de proteção e contactos referentes ao funcionamento completo do sistema. Todos esses dispositivos e ligações ficam alojados em um quadro elétrico na parte externa da Célula.

Na etapa inicial, antes da montagem da Célula, foram coletadas as informações de entradas e saídas do sistema, ou seja, todas as informações que o controlador do robô deve receber, e quais comandos ele deve desempenhar a partir da gestão desses sinais. A Tabela 1 mostra a lista com todas as entradas do sistema, e a 0 mostra a lista com todas as saídas.

Tabela 1 Entradas do sistema

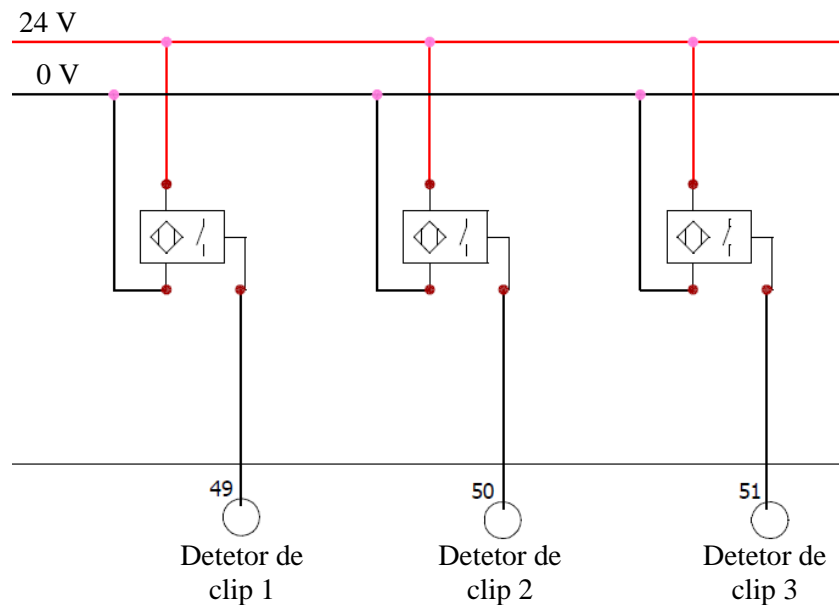
Nº	Nome da entrada	Nº	Nome da entrada
1	Pressostato ok	32	Calcador 2 lado direito posto 1 RC
2	Alimentador 1 – detetor clip embaixo	33	Calcador 1 lado direito posto 1 AV
3	Alimentador 1 - detetor clip na ferramenta	34	Cil. Marcação direito posto 1 AV
4	Alimentador 1 - calha cheia	35	Detetor de versão tipo 1 direito posto 1
5	Alimentador 1 - clip vazio	36	Detetor de versão tipo 2 direito posto 1
6	Alimentador 2 - detetor clip 1ª posição	37	Detetor clip 6 lado direito posto 1

7	Alimentador 2 - detetor clip na ferramenta	38	Detetor clip 4 lado direito posto 1
8	Alimentador 2 - calha cheia	39	Detetor clip 5 lado direito posto 1
9	Barreira alimentadores	40	Detetor incompleto versão 8792 dir. posto 1
10	Alimentador 2 - clip vazio	41	Detetor incompleto tipo 1 dir. posto 1
11	Detetor prateleira esquerdo	42	Calcador 1 lado esquerdo posto 2 AV
12	Detetor prateleira direito	43	Calcador 2 lado esquerdo posto 2 RC
13	Inicio SEPRO	44	Calcador 3 lado esquerdo posto 2 AV
14	Detetor de peça direita posto 2	45	Calcador 4 lado esquerdo posto 2 RC
15	Clip 9 lado direito posto 2	46	Detetor de peça esquerdo posto 2
16	Clip 5 lado direito posto 2	47	Cil. Marcação esquerdo posto 2 AV
17	Clip 6 lado direito posto 2	48	Detetor clip 8 lado esquerdo posto 2
18	Clip 4 lado direito posto 2	49	Detetor clip 1 lado esquerdo posto 2
19	Detetor incompleto lado direito posto 2	50	Detetor clip 2 lado esquerdo posto 2
20	Calcador 1 lado esquerdo posto 1 AV	51	Detetor clip 3 lado esquerdo posto 2
21	Calcador 2 lado esquerdo posto 1 RC	52	Detetor incompleto lado esquerdo posto 2
22	Calcador 3 lado esquerdo posto 1 AV	53	Calcador 1 lado direito posto 2 AV
23	Cil. Marcação esquerdo posto 1 AV	54	Calcador 2 lado direito posto 2 RC
24	Detetor de versão 8970 esquerdo posto 1	55	Calcador 3 lado direito posto 2 AV
25	Detetor de versão 8792 esquerdo posto 1	56	Calcador 4 lado direito posto 2 RC
26	Detetor clip 1 lado esquerdo posto 1	57	Alimentador 1 - detetor clip pronto em cima
27	Detetor clip 2 lado esquerdo posto 1	58	Alimentador 1 - cil. Rotativo AV
28	Detetor clip 3 lado esquerdo posto 1	59	Alimentador 1 - cil. Rotativo RC
29	Detetor incompleto tipo 1 lado esq. posto 1	60	Alimentador 2 - detetor clip pronto
30	Detetor incompleto tipo 2 lado esq. posto 1	61	Alimentador 2 - cil. Move clip AV
31	Calcador 3 lado direito posto 1 AV	62	Alimentador 2 - cil. Move clip RC

**Tabela 2 Saídas do sistema**

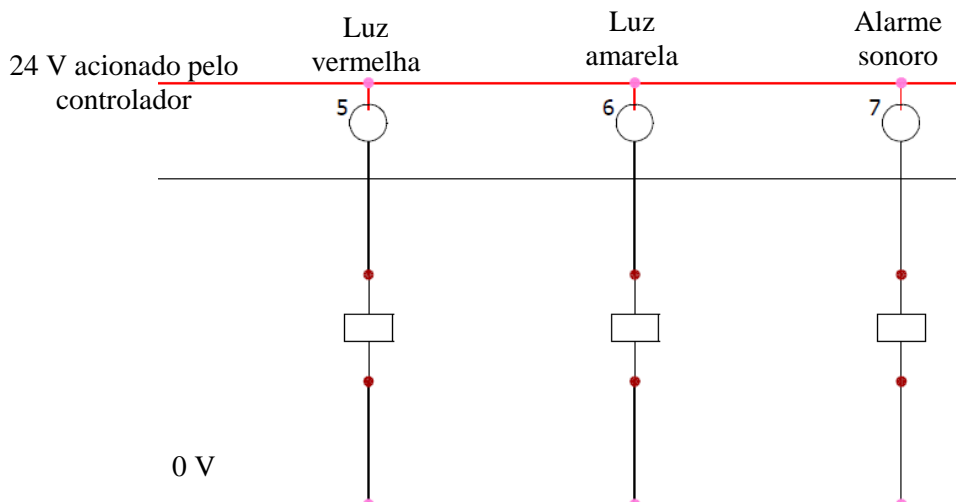
Nº	Nome da entrada	Nº	Nome da entrada
1	Eletroválvula geral corte	19	Eletroválvula calca peça direita posto 1 AV
2	Ligar alimentador 1	20	Eletroválvula pico esquerdo posto 1
3	Ligar alimentador 2	21	Eletroválvula calca peça direita posto 1 RC
4	Luz verde	22	Eletroválvula calca peça esq. Posto 1 RC
5	Luz vermelha	23	Eletroválvula pico direito posto 1
6	Luz amarela	24	Eletroválvula pico esquerdo posto 2
7	Alarme sonoro	25	Eletroválvula pico direito posto 2
8	Luz e alarme sonoro para alimentadores	26	Eletroválvula calca peça esq. Posto 2 RC
9	Sepro máquina pronta	27	Eletroválvula calca peça direita posto 2 RC
10	Sepro peça ok	28	Eletroválvula calca peça direita posto 2 AV
11	Sepro peça nok	29	Eletroválvula rotativo alimentador RC
12	Sepro reserva	30	Eletroválvula calca peça esq. Posto 2 AV
13	Sepro reserva	31	Eletroválvula rotativo alimentador AV
14	Sepro reserva	32	Eletroválvula move clip alimentador RC
15	Sopro alimentador 1	33	Eletroválvula stop fila de clips
16	Eletroválvula sopro 1	34	Eletroválvula move clip alimentador AV
17	Eletroválvula calca peça esq. Posto 1 AV	35	Eletroválvula pega clip
18	Eletroválvula sopro 2	36	Eletroválvula tranca clip

A partir da lista de entradas e saídas, foi então criado o esquema elétrico de ligação dos sinais. Cada sinal de entrada ou saída é ligado a um borne dentro do quadro elétrico para fazer a conexão até o controlador do robô. A Figura 28 mostra um exemplo de como é feito o esquema elétrico de ligação das entradas. Cada detetor possui três fios: dois para alimentação (24 V e 0 V), e um para transmitir o sinal ao controlador, de presença ou ausência daquela detecção.



**Figura 28 Exemplo de esquema elétrico das entradas**

A Figura 29 mostra um exemplo de como é feito o esquema elétrico de ligação das saídas. Para ativar uma saída, é necessário alimentá-la com 24 V e 0 V. O fio de 0 V da saída fica permanentemente ligado, e o sinal de 24 V fica a cargo do controlador para gerenciar quando será acionado.

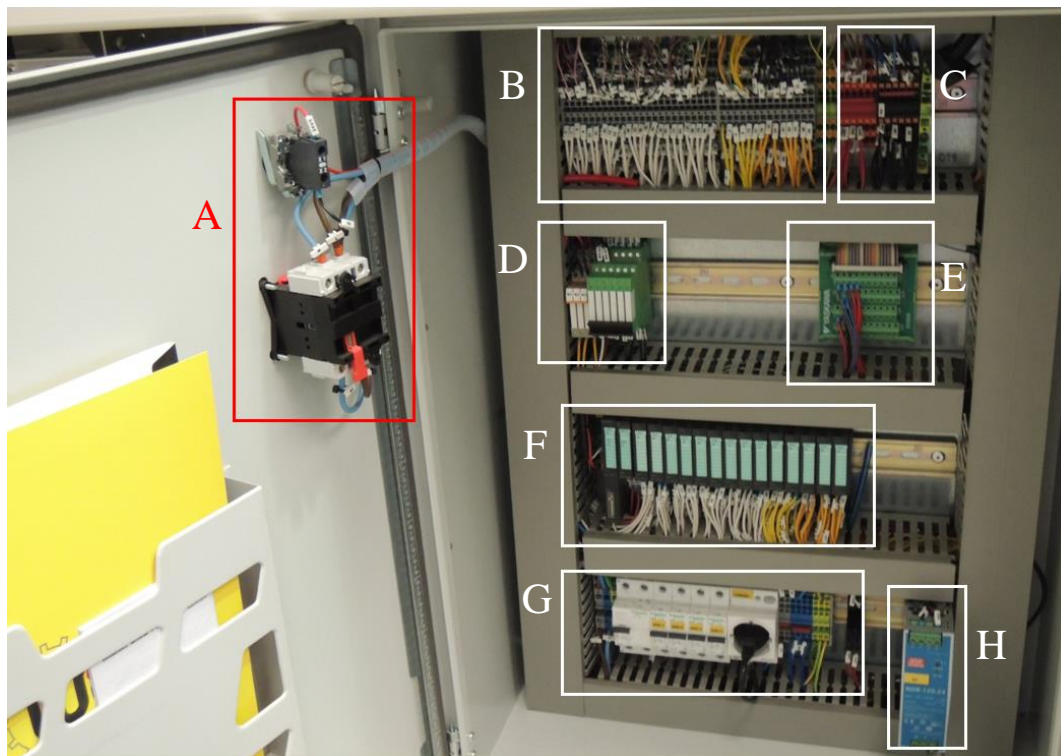


**Figura 29 Exemplo de esquema elétrico das saídas**

Devido ao grande número de entradas e saídas, foram utilizadas expansões da marca VIPA para receber e enviar todos os sinais ao controlador, através de um protocolo de comunicação denominado DeviceNet.

Além das ligações de entradas e saídas, no quadro elétrico também ficam os dispositivos de proteção (como os disjuntores), dispositivos de atuação (como os relés), entre outros. A Figura 30 mostra o interior do quadro elétrico depois de pronto, e a seguir são mostrados detalhes sobre cada dispositivo que o compõe:

- A. LED para sinalização de quadro ligado e manopla de ligação do quadro elétrico (ambos ficam com a frente voltada para o lado exterior da porta do quadro);
- B. Bornes de ligação para entradas e saídas do sistema;
- C. Contactos para disponibilização de 0 V e 24 V para dispositivos do quadro;
- D. Relés para comunicação com SEPRO, pois é necessária isolação elétrica entre os sinais da Célula e do SEPRO;
- E. Módulo de controle Yaskawa;
- F. Expansões VIPA para comunicação com controlador através de DeviceNet;
- G. Fusíveis, diferencial, disjuntores, bornes de fase, neutro e terra;
- H. Fonte para fornecimento de 24 V<sub>DC</sub> a partir de 230 V<sub>AC</sub>.



**Figura 30 Quadro elétrico**

#### **4.4. INICIALIZAÇÃO, MOVIMENTOS E COORDENADAS**

Uma das primeiras etapas a serem cumpridas para dar início à programação do robô é a parametrização de sua ferramenta de trabalho. Para garantir um bom desempenho do sistema em termos de velocidade, repetibilidade e fluidez de movimentos, é preciso informar ao controlador os detalhes físicos do dispositivo que está fixado em sua extremidade.

A ferramenta de trabalho (estrela), mostrada no item B da Seção 4.2, possui 250 mm de diâmetro se medido pelos dedos mais curtos, e 320 mm se considerar o dedo maior. Essas medidas foram inseridas na consola de programação, na seção que permite a calibração da ferramenta. É importante o fornecimento de tais dados ao controlador para que ele possa automaticamente prever e evitar colisões entre as partes originais do braço robótico e a ferramenta de trabalho anexada a ele.

A seguir foi efetuada uma auto-calibração do peso da ferramenta. Ao selecionar essa função, o robô executou alguns movimentos específicos enquanto calculava o peso da estrela, e ao fim obteve o valor de 2,7 kg. Essa calibração é importante pois o controlador utiliza a informação do peso para controlar sua velocidade. Sem essa informação, a tendência do robô seria trabalhar em uma velocidade mais baixa que o normal, pois estaria percebendo um sobrepeso ou uma sobreforça desconhecida em sua extremidade.

Com o robô calibrado e devidamente parametrizado, as posições puderam começar a serem gravadas. Para levar um dedo específico da ferramenta de trabalho até uma posição específica dentro da Célula, foi necessário entender como o braço robótico se movimenta.

O robô possui 6 eixos de rotação, denominados Eixos S, L, U, R, B e T, como mostrado na Figura 31 (A). Tais eixos podem ser rotacionados individualmente ou em conjunto, dependendo do sistema de coordenadas que está a ser utilizado. Um dos sistemas de coordenadas trazidos pelo controlador é o cartesiano, onde é possível mover a ponta da ferramenta de trabalho (neste caso, o centro da estrela) ao longo dos eixos X, Y e Z, mostrados na Figura 31 (B). Neste caso, todos os eixos individuais do braço robótico se movimentam automaticamente para garantir que a extremidade se mova exclusivamente em coordenadas cartesianas.

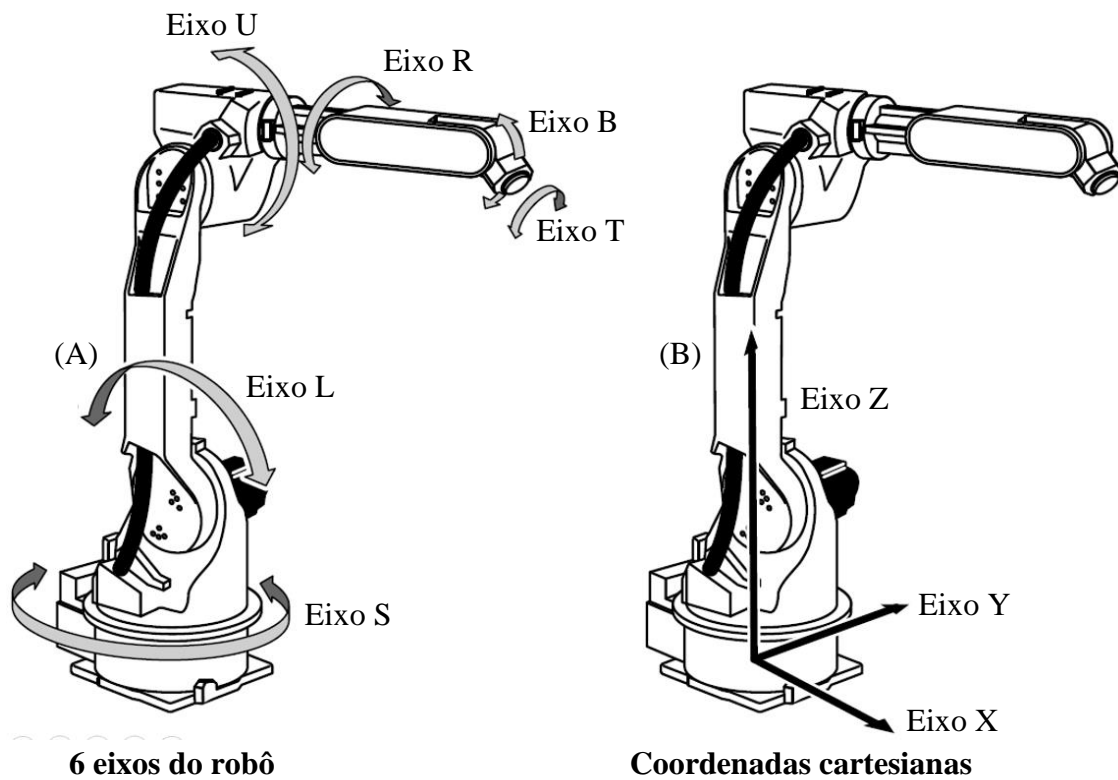


Figura 31 (A) Eixos do robô e (B) orientação de coordenadas cartesianas

Além das coordenadas cartesianas, o controlador possui coordenadas cilíndricas (eixos Z, r e  $\theta$ ), e oferece a possibilidade do usuário criar um sistema de coordenadas com referência na ferramenta (conhecido como TCP, do inglês, *Tool Center Point*) ou ainda, criar uma coordenada personalizada. Tais opções de coordenadas são mostradas na Figura 32.

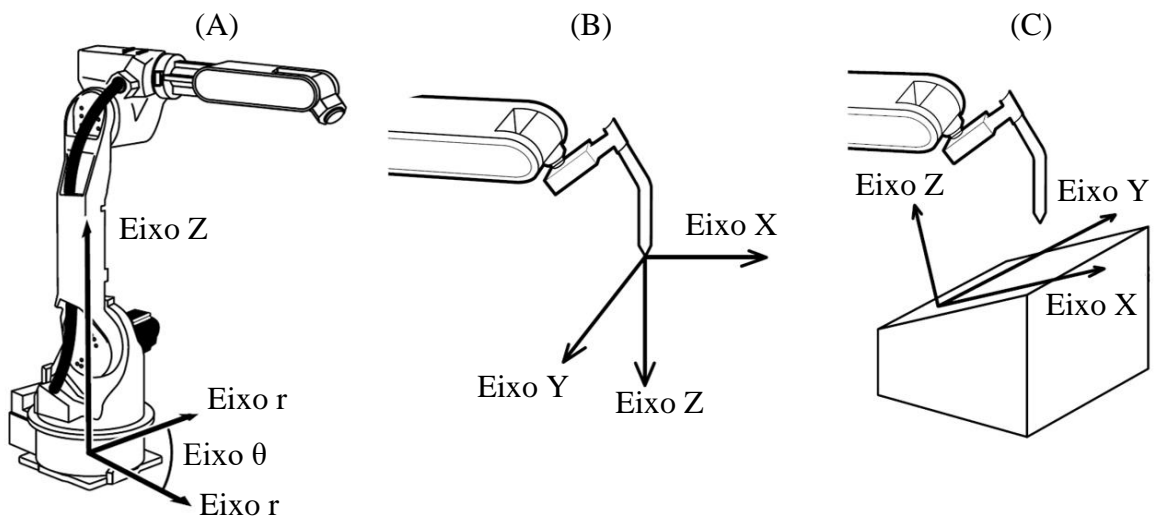


Figura 32 (A) Coordenadas cilíndricas (B) Coordenadas de ferramenta (C) Coordenadas do usuário

Apesar da existência de diversas coordenadas, a única utilizada para gravar as posições do robô neste trabalho foi a coordenada cartesiana, devido aos seguintes motivos: o posicionamento das peças na base e a direção da inserção de clips, carregamento e limpeza se alinham aos eixos X e Y do braço robótico em coordenada cartesiana, já que o braço e todas as estruturas mecânicas foram fixados dentro da Célula intencionalmente alinhados por esses parâmetros. Além disso, pelo fato da ferramenta se tratar de uma estrela com vários dedos, a criação de um sistema de coordenadas única para cada dedo demandaria mais tempo e dificuldade na programação, além de não ser necessário dada a facilidade do uso da coordenada cartesiana para este caso. Inicialmente, cada eixo era movido individualmente até se obter a rotação e inclinação desejada da estrela, e então utilizava-se a coordenada cartesiana para guiá-la em eixos até as posições que seriam gravadas. Todas as sequências de posições foram meticulosamente analisadas antes de serem gravadas, de modo a garantir que o braço robótico não colidisse com nenhuma estrutura mecânica da Célula durante seu ciclo de operação. Ao final das gravações, cada posição foi associada a uma velocidade de movimento, definida pelo programador ao analisar o tipo de tarefa que cada movimento executa, e também de modo a garantir o menor tempo de ciclo possível.

A escolha de coordenadas e controlo da movimentação do robô são realizados na consola de programação, onde também ficam armazenadas as posições e rotinas de programação. A consola é mostrada na Figura 33, onde estão destacadas as funções de seus principais botões.

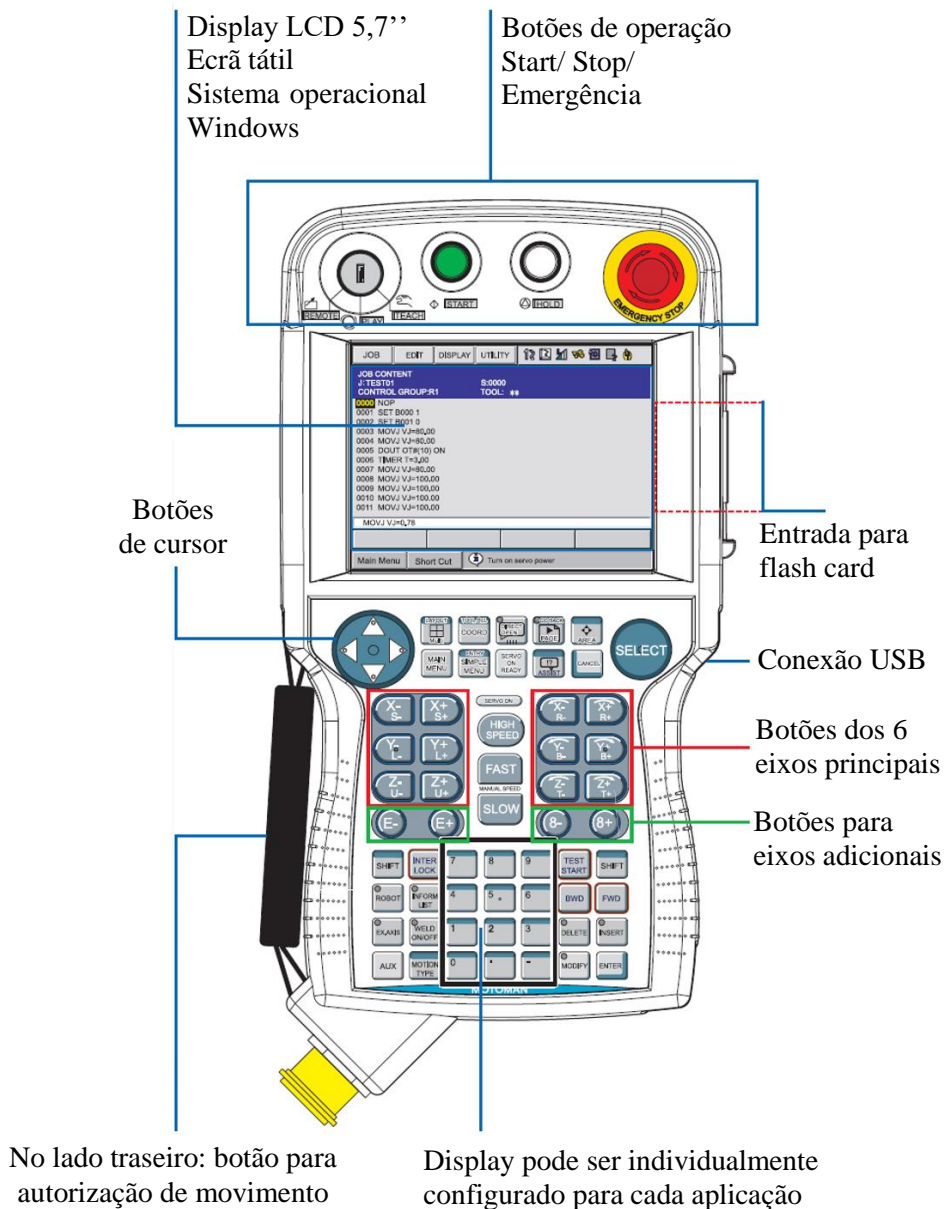


Figura 33 Principais partes da consola de programação

#### 4.5. ALGORITMO E PROGRAMAÇÃO

Após a gravação de todas as posições do robô, o algoritmo foi programado. São nas rotinas de programação que acontece a gestão de todos os sinais de entradas e de ordem às saídas, bem como a ordem ao robô para executar os movimentos já gravados previamente. Como explicado, a programação do robô foi feita em duas linguagens diferentes: *ladder* e uma linguagem própria do sistema, que assemelha-se à linguagem C. Basicamente, em *ladder* são programadas todas as ações que devem ocorrer paralelamente ao ciclo do robô, ou seja, de forma independente. Na linguagem escrita são programadas rotinas para serem chamadas conforme a necessidade, de acordo com a etapa do processo em operação.

A Figura 34 mostra um fluxograma com o algoritmo do ciclo completo do robô, programado em linguagem escrita.

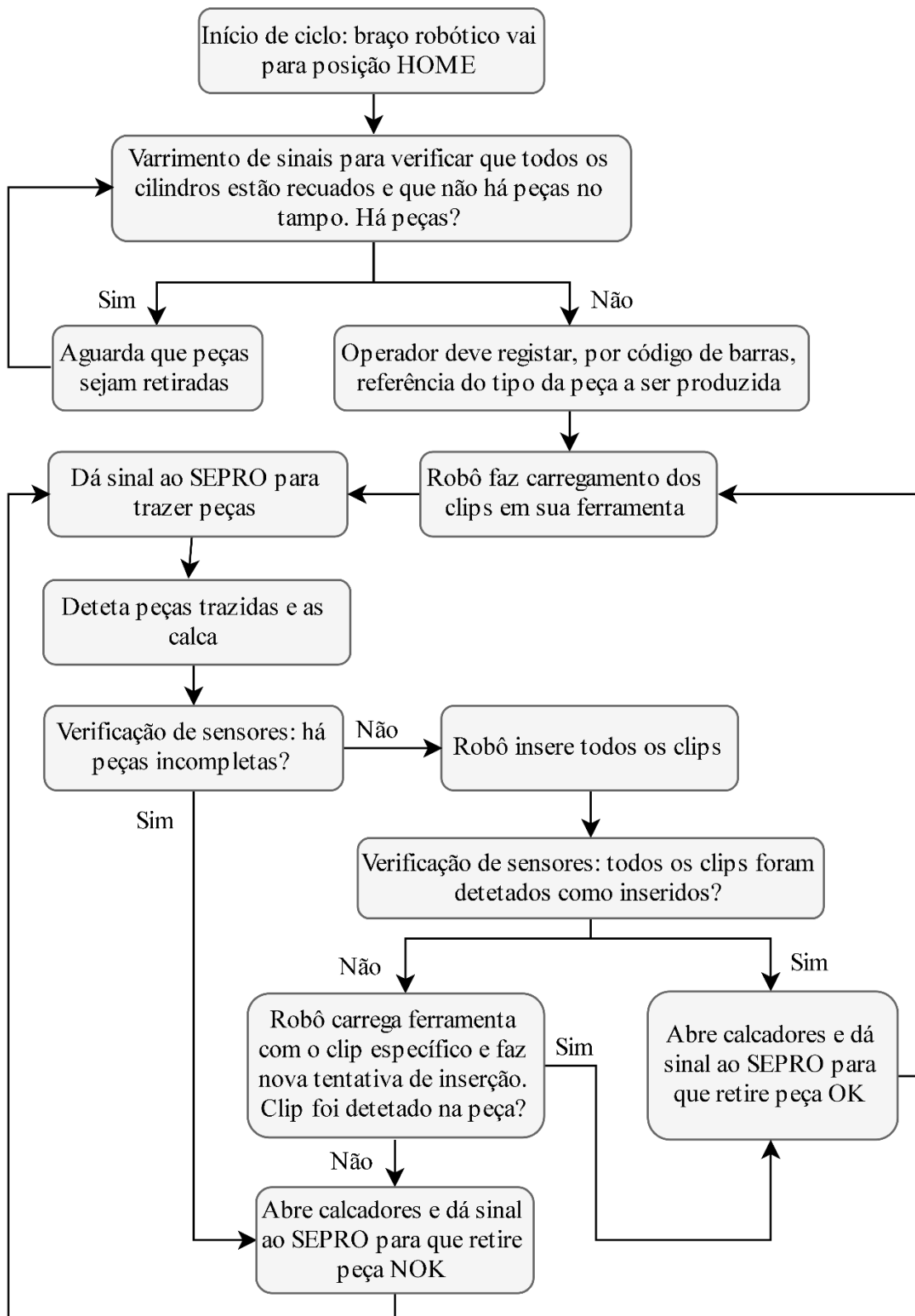
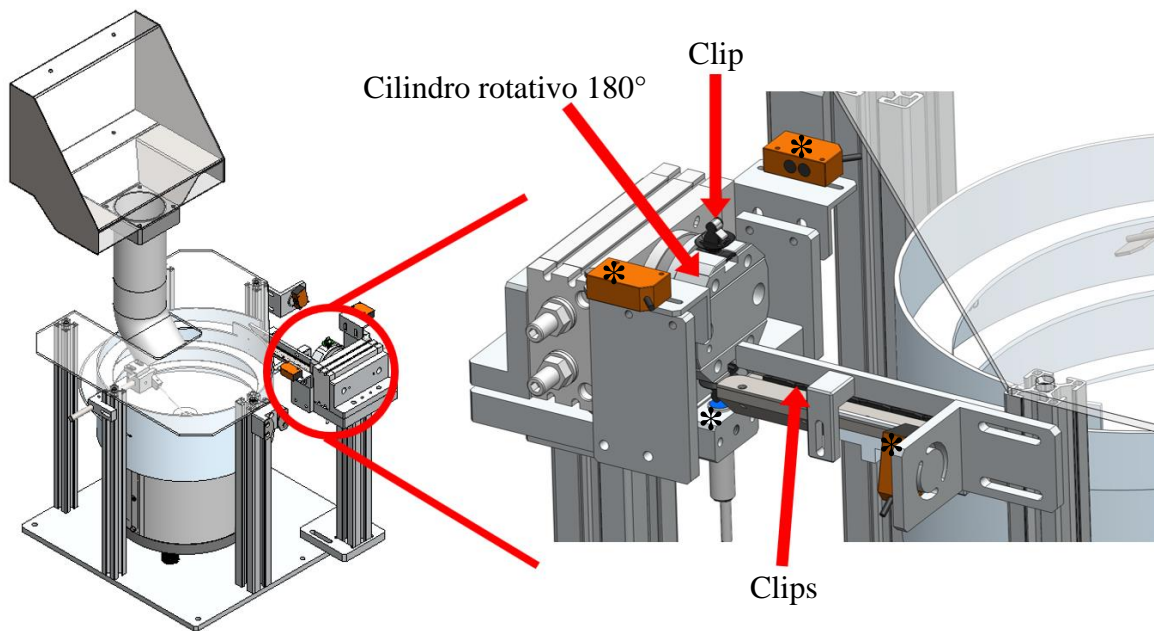


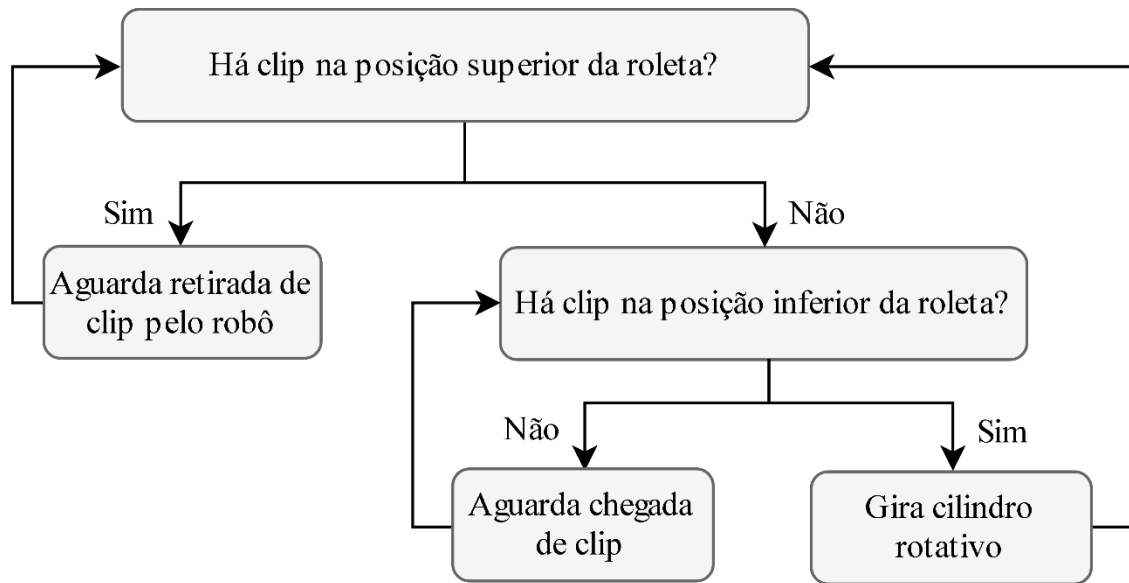
Figura 34 Fluxograma de algoritmo do robô em linguagem escrita

Além do ciclo de inserção de clips, outra rotina de programação em linguagem escrita foi desenvolvida para o funcionamento dos cilindros pneumáticos dos alimentadores. Como citado no item C da seção 4.2, tais cilindros servem para movimentar um clip da fila de clips até uma posição isolada que permita a entrada e atuação do *gripper*, e são mostrados com detalhes na Figura 35. Os dispositivos com a indicação de um asterisco (\*) na figura são sensores de presença, e cada sensor serve para detetar o clip individualmente em cada etapa de sua movimentação pelo alimentador, de modo a garantir a operação correta desse ciclo.



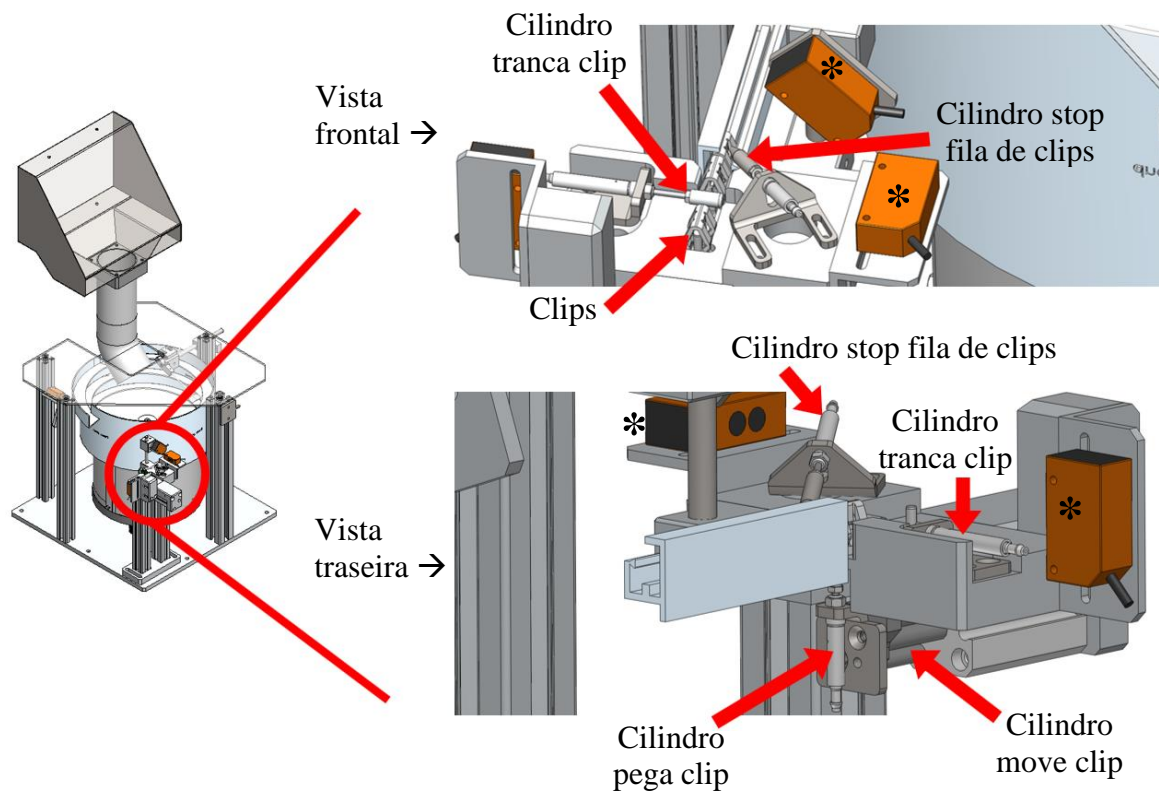
**Figura 35 Cilindros para isolamento do clip metaloplástico**

A Figura 36 mostra um fluxograma que explica a lógica criada para isolamento do clip metaloplástico através dos sensores e cilindros pneumáticos. Sempre que no fluxograma é citada a presença ou não de clip em determinada posição, isso significa que o sinal de algum sensor está a ser utilizado para tal verificação.



**Figura 36 Fluxograma de isolação de clip metaloplástico**

Os cilindros pneumáticos para isolação do clip plástico são mostrados com detalhes na Figura 37. Assim como no alimentador anterior, os dispositivos com a indicação de um asterisco (\*) na figura são sensores de presença, e cada sensor serve para detetar o clip individualmente em cada etapa de sua movimentação pelo alimentador, de modo a garantir a operação correta do ciclo.



**Figura 37 Cilindros para isolação do clip plástico**

A Figura 38 mostra um fluxograma que explica a lógica criada para isolamento do clip plástico através dos sensores e cilindros pneumáticos. Tal como no fluxograma anterior, sempre que é citada a presença ou não de clip em determinada posição, isso significa que o sinal de algum sensor está a ser utilizado para tal verificação.

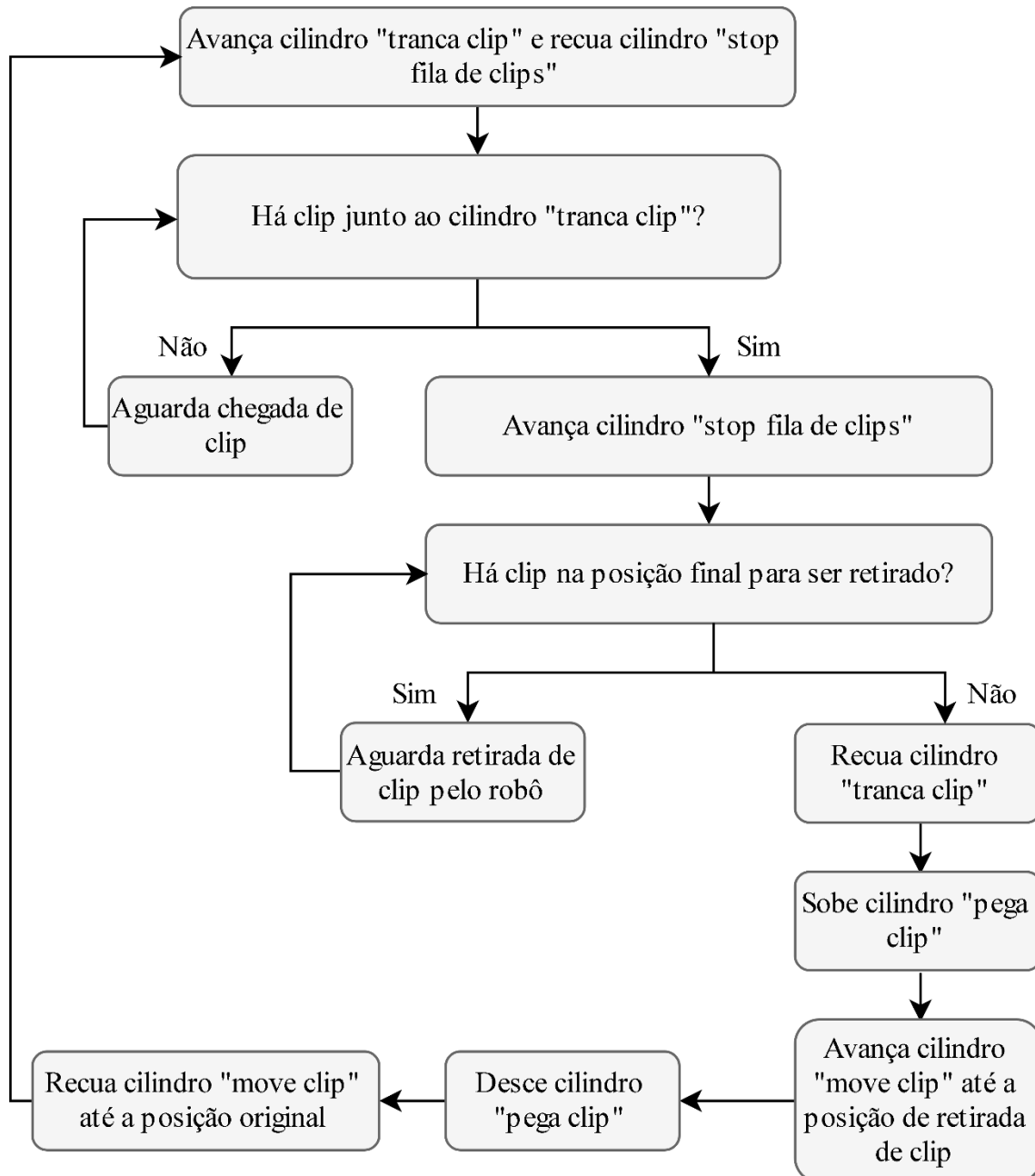
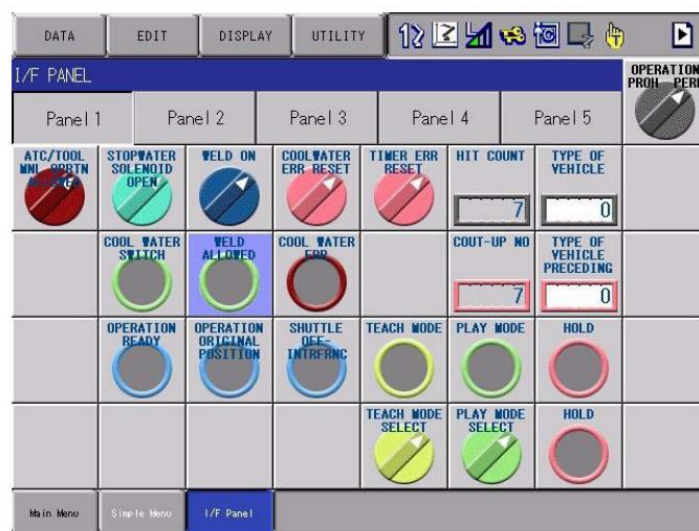


Figura 38 Fluxograma de isolamento de clip plástico

Paralelamente, em *ladder*, foram programados o acionamento do alarme em caso de falta de clips nos alimentadores, o desligamento dos alimentadores quando estão com a trilha cheia, entre outras funções de coordenação dos alimentadores.

Finalmente, além da programação já citada, foram também criados ecrãs de informações para o operador da Célula, que mostram o estado atual de todos os sinais, qual versão de peça está em operação, a contagem de peças aprovadas e rejeitadas, e a contagem de falhas em cada componente. A Figura 39 mostra um exemplo de como é o ecrã de informações disponibilizado pela consola de programação. Em um painel de 32 posições (8 x 4), é possível configurar cada quadrado para conter um indicador de sinal *on-off*, ou um quadro que mostra valores inteiros, ou interruptores digitais para alterar o estado de uma variável. Pode-se criar vários painéis diferentes e o usuário facilmente seleciona qual ecrã deve ser mostrado.



**Figura 39** Exemplo de ecrã de informações do robô



## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar e programar um sistema robótico completo para inserção de clips em peças plásticas, denominado Célula. Ao final do projeto, a Célula cumpriu perfeitamente os objetivos específicos e requisitos exigidos pelo cliente, tais como o tempo de ciclo máximo de 36 segundos e o bom desempenho dos alimentadores e ferramenta de trabalho.

Até o presente momento, a Célula foi testada apenas nas localidades da WRK, ou seja, operando sem a comunicação real com o SEPRO para trazer e levar as peças. Após o cliente receber a Célula e começar a produção das respectivas peças, a coordenação do sistema será inteiramente testada. Contudo, todos os requisitos foram verificados e aprovados pelo cliente ao visitar a empresa e observar o funcionamento do sistema sem o SEPRO, cujos sinais e atuação foram simulados manualmente.

Através da observação de outras máquinas automáticas já concluídas e testadas no seu destino final, é possível perceber a vantagem para o cliente em utilizar sistemas automáticos, tal como a máquina mostrada na Figura 11, que também tem coordenação com o SEPRO e não necessita de um operador. Tais máquinas garantem um maior número de peças produzidas por dia e números significativamente reduzidos de falhas, devido às

desvantagens humanas em relação aos robôs nos quesitos velocidade, fadiga, concentração e repetibilidade.

Relativamente a outras tarefas desempenhadas no estágio, conclui-se que o aluno obteve proveito significativo, tendo adquirido conhecimentos essenciais que acompanham a engenharia no meio profissional, tais como noções avançadas de ligações elétricas, controle, lógica, comunicação entre dispositivos, proteção elétrica, estruturas mecânicas, entre outros.

Como sugestão para futuros trabalhos na mesma área abordada por este relatório, pode-se citar: utilização das coordenadas de ferramenta (TCP) para gravação de posições e avaliação das vantagens e desvantagens verificadas com este método; teste de novas ferramentas e funções disponibilizadas por diferentes controladores de diferentes marcas, que podem auxiliar e facilitar este tipo de trabalho desempenhado por um braço robótico; adição de diferentes dispositivos de comunicação com o robô, de modo a tornar o sistema mais interativo, tal como uma consola tátil.

## *Referências Documentais*

- [1] AUTOMAÇÃO Industrial – Definição e História. Disponível em: <<https://www.comatroleco.com.br/automacao-industrial-historia/>>. Acesso em: 22 Julho 2018.
- [2] CARRARA, V. **Introdução á robótica industrial**. 2015.[s.n.], 2015.
- [3] CORPORATION, YASKAWA ELECTRIC. **FS100 OPERATOR'S MANUAL**. 2014.[s.n.]. Japão, 2014.
- [4] CORPORATION, YASKAWA ELECTRIC. **Handling & General Applications with the MH-series**. [s.n.].
- [5] GOUNET, Thomas. **Fordismo e toyotismo na civilização do automóvel**. São Paulo: Boitempo Editorial, 1992.
- [6] MASS production. Disponível em: <<https://www.economist.com/news/2009/10/20/mass-production>>. Acesso em: 12 Agosto 2018.
- [7] SANTOS, V. M. F. **Sebenta Robótica Industrial 2003-2004**. 2004.[s.n.], 2004.
- [8] XAVIER, Gley F. C. **Lógica de programação**. São Paulo: [s.n.], 2007.