



OTÁVIO VILANI ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE UM MANIPULADOR
CARTESIANO PARA UMA MÁQUINA INJETORA NA
EMPRESA PLASCAR**

**LAVRAS – MG
2020**

OTÁVIO VILANI ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE UM MANIPULADOR CARTESIANO PARA UMA
MÁQUINA INJETORA NA EMPRESA PLASCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia de
Controle e Automação, para a obtenção do
título de Bacharel.

Prof. Dr. Leonardo Silveira Paiva
Orientador

**LAVRAS – MG
2020**

OTÁVIO VILANI ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE UM MANIPULADOR CARTESIANO PARA UMA
MÁQUINA INJETORA NA EMPRESA PLASCAR**

**DEVELOPMENT OF A CARTESIAN MANIPULATOR FOR AN INJECTION
MOLDING MACHINE IN THE COMPANY PLASCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia de
Controle e Automação, para a obtenção do
título de Bacharel.

APROVADO em 17 de agosto de 2020.

Dra. Silvia Costa Ferreira UFLA

Me. Gabriel Cambraia Soares CEFET-MG

Prof. Dr. Leonardo Silveira Paiva
Orientador

**LAVRAS – MG
2020**

À minha família, Mirian, José Ricardo e João Miguel por todo apoio e carinho em todas as etapas e por serem minha base, meus exemplos e minha inspiração.

Aos meus familiares e amigos por sempre estarem presentes e na torcida e a empresa

Plascar por todo o suporte e disponibilidade.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por estar sempre presente, cuidando da minha vida e me guiando dia após dia, dando forças e perseverança.

À toda a minha família por sempre estarem do meu lado, me apoiando em minhas decisões e me dando forças para nunca desistir. Em especial a minha mãe Mirian e a meu pai José Ricardo, que são os pilares da minha família, sendo sempre presentes e sempre dispostos a enfrentar todas as adversidades para que eu chegasse até aqui. A vocês, a meu irmão João Miguel, meus familiares e amigos todo o meu carinho e gratidão por fazerem parte dessa conquista.

Ao Professor e Orientador Leonardo Silveira Paiva pela paciência e orientação para com o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os colegas e amigos que tive a satisfação em conhecer e trabalhar junto durante a graduação, que de certa forma contribuíram direta ou indiretamente para minha formação.

À empresa Plascar LTDA, de Varginha, pela contribuição significativa para o meu crescimento pessoal e profissional. E de maneira especial aos colaboradores da empresa, Tiago Elói, Roberto Mudesto, Roberto de Carvalho, Kellisson Pereira, José Elvécio Maia e ao meu supervisor de estágio Rullyan Marques Vieira, por toda disponibilidade e apoio durante meu período de estágio e desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela oportunidade.

A TODOS, MEU SINCERO OBRIGADO!

RESUMO

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um manipulador cartesiano na empresa Plascar Indústria de Componentes Plásticos LTDA., localizada na cidade de Varginha, sul de Minas Gerais. O desenvolvimento desse robô tem como objetivos promover ganhos consideráveis de eficiência e produtividade, tanto da máquina, quanto do operador, reduzir a quantidade de refugos e o desperdício de materiais, assim, reduzindo custos, ocasionar a melhoria ergonômica, aumentar a qualidade das peças, podendo entregar para o cliente dentro do prazo estabelecido. Para a realização desse trabalho foi feito um acompanhamento da produção da máquina a ser automatizada e assim, definindo os materiais a serem utilizados para o desenvolvimento do projeto. Em seguida, foi realizada a usinagem do manipulador para que este fosse instalado na máquina e realizada a comunicação entre as partes. Foram executadas simulações e cálculos no ambiente virtual Matlab, a fim de obter resultados da cinemática do robô, foi elaborado um croqui do projeto por meio do TopSolid, foram feitas simulações do diagrama ladder por meio do LogixPro e a elaboração de esquemas elétricos pelo CADe SIMU. Os resultados foram satisfatórios, diminuindo o tempo de ciclo de produção e, conseqüentemente, dobrando a quantidade de peças produzidas por hora, e com isso, conclui-se que é válida a automação do processo em questão.

Palavras-Chave: Plascar. Injetoras. Manipulador. Haitian. Euromap 12.

ABSTRACT

The present work aimed at the development of a Cartesian manipulator in the company Plascar Indústria de Componentes Plásticos LTDA., located in the city of Varginha, south of Minas Gerais. The development of this robot intends to promote considerable gains in efficiency and productivity, both for the machine and for the operator, to reduce the amount of refuse and the waste of materials, thus reducing costs and causing ergonomic improvements, increasing the quality of parts, being able to deliver to the customer within the established term. To carry out this work, the production of the machine to be automated was monitored and, thus, defining the materials to be used for the development of the project. Then, the manipulator was machined and then installed on the machine and performed communication between the parties. Simulations and calculations were performed in the Matlab virtual environment, in order to obtain results from the robot kinematics, a sketch of the project was elaborated through TopSolid. Finally, simulations of the ladder diagram using LogixPro and the elaboration of electrical schematics by CADe SIMU. The results were satisfactory, reducing the production cycle time and, consequently, doubling the quantity of parts produced per hour, and with that, it is concluded that the automation of the process in question is valid.

Keywords: Plascar. Injection molding machines. Manipulator. Haitian. Euromap 12.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Unidade de Varginha – MG.....	12
Figura 2 - Principais setores consumidores de transformados plásticos.....	14
Figura 3 - Injetora a pistão “máquina de hyatt”.....	15
Figura 4 - Estrutura de uma máquina injetora de plástico.	16
Figura 5 - Molde de injeção.....	17
Figura 6 - Máquina injetora vertical.	18
Figura 7 - Máquina injetora horizontal.	18
Figura 8 - Localização do prédio I e II	19
Figura 9 - Distribuição das máquinas na unidade de varginha.	19
Figura 10 - Injetora Haitian 86t Htf86x.....	20
Figura 11 - Um robô manipulador puma mostrando juntas e elos.	21
Figura 12 - Robô NEPAL W3 da marca Dal Maschio.....	27
Figura 13 - Robô 2D-PP.	28
Figura 14 - Participação da EUROMAP na produção e exportação mundial.....	28
Figura 15 - Comunicação máquina/robô.	30
Figura 16 - Croqui do projeto.	33
Figura 17 - Corpo da tela.....	34
Figura 18 - Robô manipulador desenvolvido.....	37
Figura 19 - Espaço de trabalho do robô desenvolvido.....	38
Figura 20 - Dimensionamentos do robô.....	39
Figura 21 - Sistema de coordenadas do robô em todas suas posições.....	40
Figura 22 - Fresadora CNC Petrus DPT 50100.....	42
Figura 23 - Torno mecânico Nardini ND 250 BS.....	42
Figura 24 - Robô montado.....	43
Figura 25 - CLP Eaton Moeller Easy19-DC-RC.....	44
Figura 26 - Módulo utilizado do CLP.....	46
Figura 27 - Teste de bancada, fazendo a simulação das entradas e observando o comportamento das saídas.....	46
Figura 28 - Teste de bancada, fazendo a comunicação entre CLP e robô manipulador.....	47
Figura 29 - Robô manipulador fixado na parte móvel do molde.....	48
Figura 30 - Utilização de relés na comutação de sinais.....	49

Figura 31 - Diagrama elétrico da comunicação entre máquina e robô.....	50
Figura 32 - Esquema elétrico com os sinais para confecção da interface.....	51
Figura 33 - Painéis da injetora.....	56
Figura 34 - Simulação 3D do robô no Matlab.....	57
Figura 35 - Etapas do processo semiautomático.....	58
Figura 36 - Representação do ciclo de trabalho automático.....	58
Figura 37 - Etapas do processo automático.....	59
Figura 38 – Conjunto de injeção por êmbolo.....	66
Figura 39 – Conjunto de injeção por rosca.....	67
Figura 40 – Unidade de fechamento hidráulico de pistão.....	68
Figura 41 – Sistema hidráulico mecânico.....	69
Figura 42 - Sistema hidráulico.....	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivos	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Máquinas injetoras	14
2.1.1 Tipos de máquinas injetoras	17
2.2 Robô manipulador	20
2.2.1 Configuração dos manipuladores.....	22
2.2.2 Sistema de acionamento	23
2.2.3 Cinemática de manipuladores	23
2.3 Utilização de robôs manipuladores em máquinas injetoras	26
2.3.1 Euromap.....	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 O projeto.....	31
3.2 Croqui e os materiais.....	32
3.3 Características do manipulador.	37
3.4 Cinemática do manipulador	38
3.5 Usinagem do robô	41
3.6 Comunicação CLP e robô manipulador	43
3.7 Comunicação entre máquina e robô manipulador	48
4 RESULTADOS	54
4.1 Cinemática do manipulador desenvolvido	56
4.2 Mudança no modo de produção	56
4.3 Resultados com o processo automático.....	59
6 CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS	64

ANEXO 1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MÁQUINAS INJETORAS.....	66
ANEXO 2 – DISTRIBUIÇÃO DAS MÁQUINAS POR TONELAGEM.....	71
ANEXO 3 – MANUAL MÁQUINA INJETORA SINITRON, FIAÇÃO PARA ROBÔ EUROMAP.....	72
ANEXO 4 – DIAGRMA LADDER E DIAGRAMA DE CIRCUITO	73
ANEXO 5 – MANUAL MÁQUINA 21 HAITIAN, ESQUEMA ELÉTRICO DO CLP DA MÁQUINA COM SUAS ENTRADAS E SAÍDAS	75
ANEXO 6 – CÓDIGO MATLAB	77

1 INTRODUÇÃO

Desde sempre o homem busca maneiras mais simples, rápidas e precisas de realizar seu trabalho. Isso pode ser visto no desenvolvimento e criação de ferramentas na idade da pedra, passando por outras diversas invenções, resultando na revolução industrial. Com ela, veio a produção em massa e outros inúmeros conceitos que fazem parte do dia a dia.

Com o avanço das tecnologias, os processos estão se tornando cada vez mais automatizados, o que contribui positivamente para o aumento da produtividade e para a qualidade dos produtos. Na indústria do setor termoplástico essa tendência se tornou realidade e a robótica tem sido aplicada de forma abrangente nas diversas áreas do setor, em destaque nas máquinas injetoras.

Devido à importância das máquinas injetoras na atualidade, mantê-las em pleno funcionamento - impedindo a interrupção da produção e não comprometendo a qualidade dos produtos - se tornou foco das empresas que trabalham com a fabricação de produtos derivados de termoplásticos. Por essa e outras razões, promover a automação, realizar manutenções periódicas, procurar sistemas de melhorias como por exemplo, a redução do tempo de setup, o sensoriamento remoto, entre outras técnicas são medidas cruciais para o meio industrial, conservando as máquinas em seu absoluto funcionamento e as peças produzidas com alta qualidade.

Com o constante desenvolvimento da automação, foram criados sistemas de comunicação entre máquinas para atender as necessidades da indústria e encontra-se hoje um grande número de máquinas trabalhando em células interligadas por interfaces de comunicação. O interfaceamento entre robôs manipuladores e máquinas injetoras de produtos plásticos visa oferecer a possibilidade de comunicação entre seus equipamentos. A forma habitual de comunicação entre estas duas estações são por meio de sinais elétricos, trocados entre entradas e saídas de controladores lógico programáveis (CLPs).

Diante dos conceitos e ideias já expostos, o presente trabalho trata-se de um relatório técnico elaborado durante o período de estágio nos setores de manutenção e injeção na empresa Plascar LTDA., na cidade de Varginha, em Minas Gerais. Empresa essa atuante no setor automotivo com a produção e comercialização de partes e peças plásticas relacionadas ao acabamento interno e externo de veículos automotores, como também atuante no setor não automotivo com a produção de peças que compõem máquinas de cartão, e ainda a

confeção de cadeiras, mesas entre outros, sendo todos esses produtos produzidos a partir do plástico.

O grupo, composto de três unidades (Jundiaí –SP, Betim – MG e Varginha – MG) é líder de mercado, atendendo montadoras do Mercosul e exportando para países como México, Canadá, EUA, Austrália e alguns países da Europa. Atuando no mercado original, atendendo também o mercado de reposição para sistemas de iluminação e sinalização.

A Figura 1 consiste na estrutura da empresa na unidade de Varginha.

Figura 1 - Unidade de Varginha – MG.



Fonte: Plascar (2020).

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver e implementar um manipulador cartesiano de juntas prismáticas de dois graus de liberdade, em uma máquina injetora de 86 toneladas, da marca chinesa Haitian.

Durante a elaboração do projeto, os seguintes objetivos específicos também foram alcançados:

- a) Análise dos princípios da automação nas máquinas injetoras;
- b) Análise e monitoramento da injetora e do molde a serem automatizados;
- c) Fazer as medidas necessárias (tamanho do molde, da peça, da abertura da máquina, entre outras medidas necessárias para propor um projeto de automatização desse molde);

- d) Especificação da instrumentação necessária para o projeto proposto;
- e) Implementação do projeto (desenvolver a estrutura do robô, instalar o robô no molde e desenvolver a comunicação entre as partes);
- f) Conceber a comunicação entre máquina e robô;
- g) Conceber a programação do CLP;
- h) Verificar a viabilidade do projeto, analisando e demonstrando os resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O grupo Plascar LTDA. é líder de mercado no que se refere a produção de componentes plásticos e sua produção é majoritariamente realizada com máquinas injetoras. Para o desenvolvimento deste trabalho, é necessário entender o são essas máquinas e o que são os robôs manipuladores, assim como suas finalidades e características e, posteriormente, entender a utilização destes robôs nesse tipo de máquina.

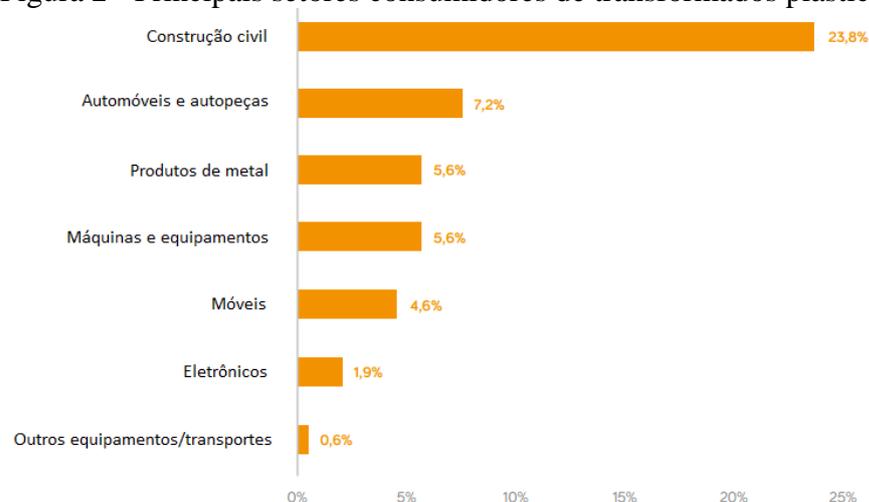
2.1 Máquinas injetoras

A revolução pela qual está passando a indústria em nível mundial, com incorporação de recursos de tecnologia da informação nas rotinas fabris, pouco a pouco está chegando ao mercado brasileiro, com reflexos imediatos em empresas do ramo de manufatura, incluindo as transformadoras de produtos plásticos.

A indústria de transformação de produtos plásticos é muito diversificada e pode ser considerada uma solução em termos técnicos para outros setores, atuando tanto como insumo necessário para produção de outros bens, como também na forma de produto final, destinado diretamente ao consumidor final (ABIPLAST, 2018).

Ainda segundo a Abiplast (2018), com o crescimento contínuo do uso do plástico, é possível afirmar que o setor termoplástico é um setor fundamental para a economia mundial. Dentre os setores brasileiros que mais consomem produtos plásticos em sua composição estão: construção civil e o setor de automóveis e autopeças. Isso pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Principais setores consumidores de transformados plásticos.



Fonte: Abiplast (2018).

O material plástico possui uma grande vantagem, ele pode ser reciclado. Desta forma o consumo de matéria prima é reduzido e o resíduo volta ao processo produtivo, fazendo com que ciclo produtivo seja renovado e assim a matéria-prima reutilizada (ABIPLAST, 2018).

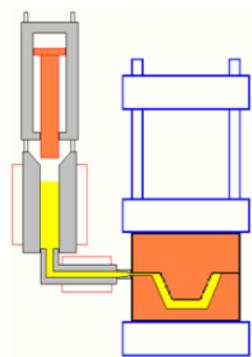
Diante do exposto, vale ressaltar que os produtos plásticos são produzidos por meio de variados processos, como a extrusão, o sopro, o *vacuum forming*, a rotomoldagem e em destaque a injeção, que é o processo mais comum e que será abordado nesse trabalho.

A NR 12 (NR-12, 2016) – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos, define máquina injetora da seguinte maneira:

Considera-se injetora a máquina utilizada para a fabricação descontínua de produtos moldados, por meio de injeção de material no molde, que contém uma ou mais cavidades em que o produto é formado, consistindo essencialmente na unidade de fechamento - área do molde e mecanismo de fechamento, unidade de injeção e sistemas de acionamento e controle.

Um dos primeiros equipamentos para injeção foi criado em 1878 por um jovem tipógrafo, chamado John Wesley Hyatt. Esta máquina (FIGURA 3), constava de um cilindro de aquecimento com câmeras aquecidas a vapor, um bico para descarregar o material de um êmbolo acionado hidráulicamente para pressionar o material fundido (RIBEIRO, 2009).

Figura 3 - Injetora a pistão “Máquina de Hyatt”



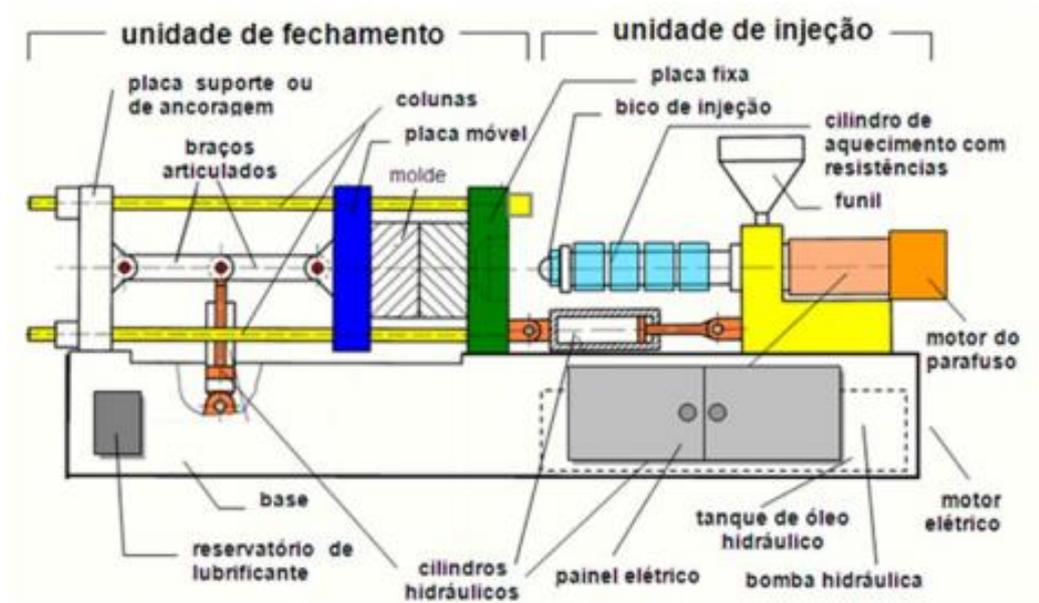
Fonte: Ribeiro (2009).

Após a invenção de Hyatt, este equipamento foi sendo aperfeiçoado até as máquinas injetoras dos dias atuais. Os fabricantes visam desenvolver máquinas que ofereçam redução de custos energéticos, oferecendo grande produtividade e qualidade das peças injetadas.

A fabricação desse tipo de máquina iniciou-se nas décadas de 30 e 40, mas mesmo com a evolução industrial, essas máquinas ainda são compostas de quatro partes fundamentais, que

são: unidade de injeção, unidade de fechamento, acionamento hidráulico e sistema de controle eletromecânico da máquina (CRUZ, 2012) como pode ser observado na Figura 4 e melhor detalhado no Anexo 1.

Figura 4 - Estrutura de uma máquina injetora de plástico.



Fonte: Torres (2007).

As principais características das máquinas injetoras são:

a) **Unidade de injeção:** a unidade de injeção recebe o material, seja ele no estado sólido, pó ou grânulos, e transporta-os em dosagens controladas até o interior do molde (CRUZ, 2012). Nesta unidade o material é aquecido por resistências elétricas que são fixadas em volta do cilindro de injeção, assim sendo fundido.

b) **Unidade de fechamento:** a unidade de fechamento realiza o fechamento do molde com uma força suficiente para suportar a pressão do material no momento da injeção (RIBEIRO, 2009). A força de fechamento é obtida através do sistema, seja ele mecânico, hidráulico de pistão ou sistema hidráulico-mecânico.

c) **Acionamento hidráulico:** o sistema hidráulico tem a função de transformar energia hidráulica em energia mecânica e conduzi-la através do sistema em pontos e tempos diferentes, para efetuar os movimentos (CRUZ, 2012).

d) **Sistema de acionamento e controle da máquina:** esse sistema é responsável por acionar e controlar elementos da máquina - acionamento o motor elétrico da bomba hidráulica, acionamento via IHM (Interface Homem-Máquina) parâmetros de controle da

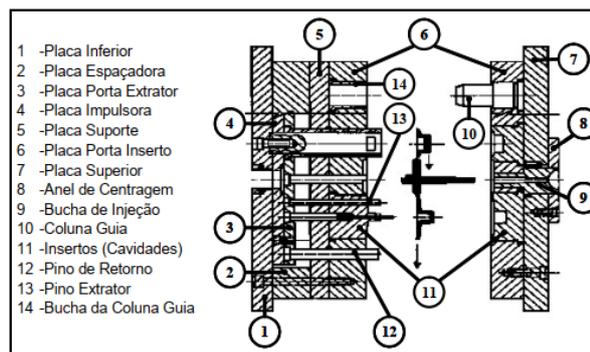
máquina, bem como seus movimentos, controlando o acionamento das resistências do cilindro de aquecimento, permitindo a instalação e o controle de sistemas opcionais como aquecimento do molde, extratores entre outros (CRUZ, 2012).

Além dessas quatro partes fundamentais que compõem as injetoras, há também um componente essencial para que ocorra a produção de peças com máquinas injetoras, o molde.

Segundo Torres (2007), o molde é um dispositivo em forma de bloco, construído em metal, bi ou tripartido, cuja função é conter uma ou mais cavidades que recebe o material plastificado dando forma a uma determinada peça.

Devido a sua importância no processo de injeção, o material e a forma do molde são fatores determinantes para o bom processamento de um termoplástico. Na Figura 5 é apresentado um molde de injeção e seus principais componentes.

Figura 5 - Molde de Injeção.



Fonte: Torres (2007).

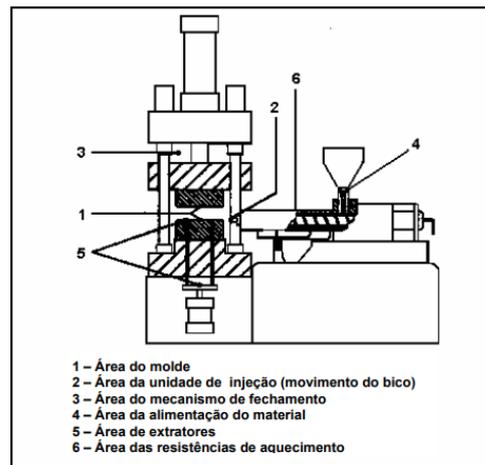
2.1.1 Tipos de máquinas injetoras

Já ciente das partes que compõem uma injetora e das suas características, é necessário entender que existem dois tipos de máquinas injetoras, sendo elas: as horizontais e as verticais.

As verticais, são aquelas nas quais o sistema de fechamento e os movimentos do molde ocorrem no eixo vertical. A Figura 6 consiste em uma máquina injetora vertical dividida nas suas principais áreas.

Já as horizontais são aquelas nas quais o sistema de fechamento, os movimentos do molde ocorrem no eixo horizontal. A Figura 7 consiste de uma injetora horizontal dividida nas suas principais áreas.

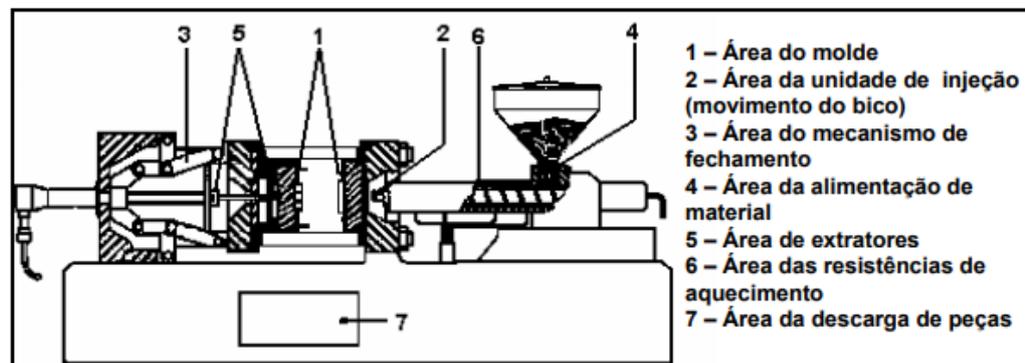
Figura 6 - Máquina injetora vertical.



Fonte: Torres (2007).

A unidade do Grupo Plascar LTDA., em Varginha, empresa na qual foi realizada esse trabalho, possui 86 máquinas injetoras, distribuídas em dois prédios, conforme mostrado na Figura 8, sendo que 75 destas ficam no prédio I, divididas em seis linhas de produção e são diferenciadas pelas tonelagens das máquinas e as 11 restantes ficam no prédio II.

Figura 7 - Máquina injetora horizontal.



Fonte: Torres (2007).

Como pode ser observado no Figura 9, a empresa possui injetoras de variadas tonelagens (quadro com a distribuição por tonelagem no Anexo 2) e de diversas marcas, sendo elas: Sandretto, Nissei, Haitians, Diplomat e KraussMaffei.

Figura 10 - Injetora Haitian 86t Htf86x.



Fonte: Do autor (2020).

2.2 Robô manipulador

Para Redel e Housell (2004), a robótica é considerada uma forma de automação industrial que utiliza tecnologia de robôs na produção e controle do chão-de-fábrica, na qual, para eles, uma definição formal seria que “a robótica é uma ciência da engenharia aplicada que é tida como uma combinação da tecnologia de máquinas operatrizes e ciência da computação, assim, o principal instrumento utilizado na robótica é o robô.”

Ao longo das últimas décadas a abertura de mercado e o processo de globalização da economia têm levado o setor industrial a um novo padrão de concorrência, onde as formas tradicionais de gestão e produção não são mais suficientes para garantir a lucratividade e a sobrevivência no mercado que se apresenta cada vez mais competitivo e exigente em qualidade, custo e atendimento. Visando o aumento de produtividade e padronização na qualidade de produtos, muitas indústrias têm investido na implantação da robótica na sua produção, mas especificamente, de robôs manipuladores, para a realização de tarefas pré-determinadas e repetitivas (CARVALHO, 2009). Neste panorama, os robôs manipuladores estão cada vez mais sendo utilizados em atividades que envolvem alta velocidade e precisão.

Segundo Carvalho (2009, apud Romano, 2002), em 1961, foi desenvolvido o primeiro robô industrial e desde esta época vem se desenvolvendo de acordo com os avanços tecnológicos ocorridos em função dos inúmeros resultados de pesquisas realizadas.

Atualmente, os robôs manipuladores industriais substituem o homem na realização de diversos tipos de operações e são empregados nos mais diversos segmentos industriais como mecânica, automobilística, aeronáutica, espacial, eletroeletrônica e outros (CARVALHO, 2009).

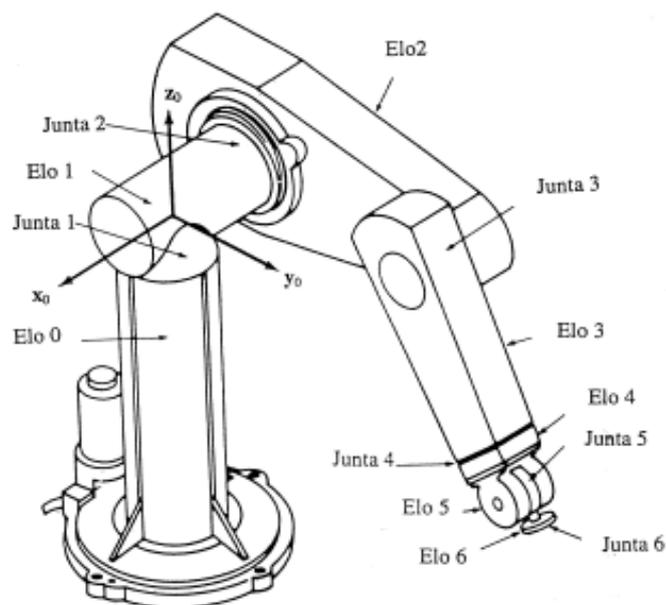
Para Lopes (2002), um robô manipulador consiste numa sequência de elos ligados entre si por juntas, nas quais estas são acionadas por atuadores que lhes imprimem movimentos angulares ou lineares (FIGURA 11). Cada par junta-elos constitui um grau de liberdade (GDL), assim, um robô manipulador com n GDL terá que possuir n pares junta-elos.

As juntas e os elos são enumerados a partir da base, assim a junta 1 possibilita a ligação entre a base de suporte e o elo 1. O elo 0 (não considerado parte do robô manipulador) está fixo a uma base de suporte, onde normalmente é estabelecido um referencial inercial, e ao último elo está associada uma ferramenta de trabalho, conhecido como efetuador, ou end-effector.

Há dois tipos de juntas, a rotativa (R), na qual o movimento de dois elos adjacentes é de rotação, e a junta prismática (P), na qual o movimento de dois elos adjacentes é linear.

Segundo Bomfim (2013), a maioria dos manipuladores robóticos usados hoje, em fábricas, são montados em uma base fixa no piso, onde o corpo liga a base ao braço do manipulador (efetuador). Na extremidade do braço, está o punho, que consiste em inúmeros componentes que lhe permitem orientação em diversas posições.

Figura 11 - Um robô manipulador PUMA mostrando juntas e elos.



Fonte: Lopes (2002).

Ainda segundo Bomfim (2013), nos robôs mais novos, o movimento dos braços é baseado no movimento do braço humano, sendo chamados de robôs antropomorfos, nas quais estes possuem seis ou mais graus de liberdade e executam tarefas complexas que necessitam de um difícil posicionamento da ferramenta de trabalho.

Vale reforçar que o emprego do robô tende a ser indispensável, pois suas configurações variadas proporcionam resultados que o trabalho humano não é capaz de produzir. A redução de tempo de produção, com ciclos baixíssimos, na casa de 1 a 2 segundos, assim como a precisão na manipulação de micropeças... Sendo esse tipo de automatização, cada vez mais exigida pela manufatura avançada (SMANIOTTO, 2018).

Para a interação entre homem e o robô faz o uso de uma interface de operação através de um terminal, onde o operador acessa as informações referentes ao robô e programa a tarefa como necessário, acessando o sistema de controle do robô (DA SILVA, 2015).

Segundo Da Silva (2015), o sistema de controle de um robô industrial pode ser composto por um controlador lógico programável, um terminal computadorizado ou uma plataforma micro processada e para definir a movimentação a ser realizada pelo robô, o sistema de controle envia sinais de acionamento para o atuadores do braço robótico e do efetuador, a partir dos dados de entrada, controlando adequadamente os movimentos realizados por estes.

2.2.1 Configuração dos manipuladores

Existem diversos tipos de robôs industriais e cada um desses tipos é utilizado na realização de tarefas específicas com maior clareza e perfeição.

Os manipuladores são caracterizados de acordo com os tipos de movimentos que suas três primeiras juntas fazem, podendo ser denominados como:

- a) **Robô cartesiano ou pórtico:** possuem as três primeiras articulações deslizantes, isto é, prismáticas (PPP);
- b) **Robô cilíndrico:** são compostos de uma junta rotacional e duas prismáticas (RPP);
- c) **Robô esférico ou polar:** este tipo de manipulador possui duas juntas rotativas seguidas de uma junta prismática (RRP);
- d) **Robô SCARA:** é composto por duas juntas de rotação e uma prismática (RRP);

e) **Robô articulado ou revoluto:** possuem três juntas rotativas (RRR).

O efetuador, também conhecido como órgão terminal, é a ferramental que permite a interação dos robôs com o ambiente em que estes se encontram. No trabalho em questão será trabalhado com uma garra à vácuo, onde faz-se a uso de ventosas ligados a uma bomba de vácuo, para aderir a superfície da peça que se deseja transportar.

2.2.2 Sistema de acionamento

Os acionadores são dispositivos responsáveis pelo movimento das articulações e do desempenho dinâmico do robô (CARRARA, 2015, apud GROOVER, 1988). Esses dispositivos podem ser elétricos, hidráulicos ou pneumáticos, cada um com suas características.

Os acionadores pneumáticos (que serão utilizados nesse trabalho) utilizam o ar ao invés de óleo, que é utilizado nos acionadores hidráulicos. Segundo Carraca (2015), o ar é altamente compressível e isso causa uma baixa precisão e força, no entanto possuem alta velocidade. Assim, requerem sistemas sofisticados e complexos para controlarem a posição em pontos ao longo do curso, trabalhando geralmente entre os extremos de posição, ou seja, totalmente recolhido ou totalmente estendido.

2.2.3 Cinemática de manipuladores

Para descrever a posição e orientação do efetuador em relação a base do manipulador, como uma função das variáveis estabelecidas em cada uma das junções, faz-se o uso da cinemática.

Denavit e Hartenberg apresentaram um método sistemático para definição da cinemática dos manipuladores, o qual consiste da atribuição de um referencial a cada elo da cadeia cinemática, descrevendo assim relações de translação e de rotação entre cada dois elos adjacentes.

Segundo Lopes (2002), o método de D-H conduz a uma representação baseada em transformações homogêneas, que representam cada referencial (associado a cada elo) em relação ao referencial anterior. Assim, através de uma sequência de transformações, a posição do órgão terminal do robô manipulador pode ser expressa em relação ao sistema de eixos da base, o qual pode constituir o referencial inercial do sistema.

Segue o passo a passo do algoritmo de D-H:

Passo 1. *Estabelecimento do referencial da base:* Fixar um referencial (x_0, y_0, z_0) na base, com o eixo z_0 coincidindo com o eixo da junta 1.

Passo 2. Para cada $i, i = 1, \dots, n-1$, executar os passos 3 a 6.

Passo 3. *Estabelecimento dos eixos das juntas:* Fazer coincidir z_i com o eixo da junta $i+1$.

Passo 4. *Estabelecimento da origem do referencial i :* Colocar a origem do referencial i na intersecção dos eixos z_i e z_{i-1} .

Passo 5. *Estabelecimento do eixo x_i :* Estabelecer segundo a perpendicular comum entre z_{i-1} e z_i , quando estes são paralelos.

Passo 6. *Estabelecimento do eixo y_i :* Usar a “regra da mão direita” (Figura 27) de modo a completar o referencial.

Passo 7. *Estabelecimento do referencial do órgão terminal:* Estabelecer x_n de modo que seja perpendicular a z_{n-1} .

Passo 8. *Determinação dos parâmetros:* Para cada $i, i = 1, \dots, n-1$, executar os passos 9 a 12.

Passo 9. *Determinar d_i :* O parâmetro d_i é a distância da origem do referencial $i-1$ até à intersecção de z_{i-1} com x_i segundo z_{i-1} .

Passo 10. *Determinar a_i :* a_i é a distância desde a intersecção de z_{i-1} com x_i , à origem do referencial i , segundo x_i .

Passo 11. Determinar θ_i : θ_i é o ângulo entre x_{i-1} e x_i , segundo z_{i-1} .

Passo 12. *Determinar α_i :* α_i é o ângulo entre z_{i-1} e z_i , segundo x_i .

Vale ressaltar que para uma junta rotativa, α_i, a_i e d_i são constantes, enquanto que θ_i é variável e para uma junta prismática, a variável é d_i , enquanto que α_i, a_i e θ_i são constantes, como mostra a Tabela 1.

Dadas as regras, a escolha da origem do referencial 0, acolocar na base de suporte, é livre, desde que o eixo z_0 coincida com o eixo da primeira junta. O último referencial pode também ser colocado em qualquer ponto do órgão terminal, desde que o eixo x_n seja perpendicular ao eixo z_{n-1} (LOPES, 2002).

Tabela 1 - Parâmetros de D-H em relação ao tipo de junta.

	Símbolo	Junta de revolução	Junta prismática
Comprimento do elo	$a_i (l_i)$	Fixo	Fixo
Torção do elo	α_i	Fixo	Fixo
Offset do elo	d_i	Fixo	Variável
Ângulo do elo	θ_i	Variável	Fixo

Fonte: Lopes (2002).

Uma vez aplicado o passo a passo acima, deve-se obter a tabela de D-H, como apresentado na Tabela 2, que relaciona o referencial i com o referencial $i-1$.

Tabela 2 - Tabela de D-H para um manipulador com dois links.

Link i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	d_1	a_1	α_1
2	θ_2	d_2	a_2	α_2

Fonte: Lopes (2002).

Cada uma das quatro transformações referidas acima pode ser descrita por uma matriz homogênea básica e o seu produto dá origem a uma matriz homogênea ${}^{i-1}T_i$, conhecida por matriz de D-H para os referenciais i e $i-1$. Assim, vem a Equação 3.1.

$${}^{i-1}T_i = R_X(\alpha_{i-1})T_X(a_{i-1})R_Z(\theta_i)T_Z(d_i) \quad (3.1)$$

Desenvolvendo as transformações de elos tem-se as Equações 3.2 e 3.3.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin \theta_i \cos \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \cos \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} d_i \\ \sin \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

2.3 Utilização de robôs manipuladores em máquinas injetoras

Por trás dos esforços da indústria em se reinventar e se modernizar, há um consumidor mais exigente, que demanda produtos de melhor qualidade, personalizados e preços competitivos. É por ele que se dá toda a corrida pela modernização de instalações produtivas a que se convencionou neste momento chamar de “indústria 4.0”, uma direção para a qual indústrias do setor termoplástico também estão caminhando rapidamente.

Em um mercado altamente competitivo é fundamental que as empresas invistam em soluções que permitam se destacar da concorrência e assim alcançar resultados mais expressivos, seja através do aumento do desempenho, da qualidade do produto final ou mesmo da redução de custos.

Nesse sentido, segundo Diego Z. F. (2017), jornalista do blog Zurich Termoplásticos, as soluções automatizadas como a utilização dos robôs manipuladores nas linhas de produção se destacam, aumentando a produtividade de uma máquina em até 30% em média e apresentando uma melhor qualidade do produto final com menos sobras e desperdícios de material.

O robô manipulador para injetora, de acordo com Da Silva (2015), é um equipamento de alta flexibilidade, destinados a retirada e depósito de peças, corte de canais de injeção, tendo como vantagens a segurança do operador, diminuindo o contato direto com o interior do molde.

Na linha de produção, pode ser observado, também, o uso de robôs em aplicações secundárias, como montagem, empacotamento, apartamento de peças, furação e classificação.

O manipulador atualmente substitui algumas operações realizadas por operadores em situações de risco ou extremamente repetitivas, nestes casos a adequação do robô é fundamental para aumentar a produtividade, sem que o operador corra riscos desnecessários (RIBEIRO, 2009).

Segundo Da Silva (2015), os robôs utilizados na indústria em máquinas injetoras são os robôs cartesianos, articulados (antropomorfos) e os cilíndricos. Na Figura 12 pode ser observado um robô cartesiano que utiliza ventosas para extração de peças de máquina injetoras.

As vantagens da utilização de robôs em máquinas injetoras são grandiosas, promovem ganhos consideráveis de eficiência e produtividade, reduzem custos, tanto do consumo energético, quanto do desperdício de materiais.

Figura 12 - Robô NEPAL W3 da marca Dal Maschio.



Fonte: Do autor (2020).

Outra vantagem é o nivelamento de produtividade entre os turnos, possibilitando obter a mesma produtividade dos turnos diurnos e noturnos, e por fim, tem-se a vantagem que os robôs não ficam cansados e nem precisam de tempo para descanso ou para alimentação (RIBEIRO, 2009).

Embora o investimento na aquisição e instalação dos robôs ainda seja elevado, certamente, os ganhos são superiores, pois, além dos ambientes de manufatura serem mais seguros, a qualidade, a produtividade e o custo reduzido viabilizam o investimento (SMANIOTTO, 2018).

De acordo com Ribeiro (2009), em um parque de mais de 900 robôs instalados no Brasil, tem-se obtido um mínimo de 15% de aumento de peças boas por turno de trabalho, sendo 20% um valor médio de ganho sobre a produção obtida em ciclos semiautomáticos.

Atualmente, a Plascar Indústria de Componentes Plásticos LTDA., de Varginha, possui máquinas injetoras automáticas, semiautomáticas e manuais.

Nas máquinas automáticas todas as etapas do ciclo de moldagem são realizadas automaticamente, havendo o início de um novo ciclo sem a necessidade de comando do operador. Na qual o equipamento só paralisa a operação se houver uma intervenção ou condição de alarme no processo (TORRES, 2007).

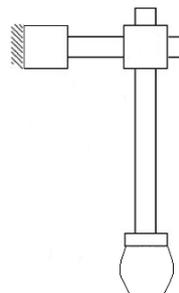
Nas máquinas semiautomáticas todas as etapas do ciclo de moldagem são realizadas automaticamente, porém o início de um novo ciclo só se dá pelo comando do operador (RIBEIRO, 2009).

Nas máquinas manuais cada etapa do ciclo de moldagem é comandada pelo operador.

A máquina na qual será desenvolvido neste projeto trata-se de uma máquina semiautomática, pois as etapas do ciclo de moldagem são realizadas automaticamente, mas só se dá início a um novo ciclo se o operador fechar a porta, sendo esse fechamento o comando de “start” para que a máquina inicie um novo ciclo. O que será melhor detalhado posteriormente.

O robô a ser desenvolvido, sendo ele o foco deste trabalho, trata-se de um robô cartesiano de juntas prismáticas, com dois graus de liberdade. A Figura 13 exemplifica o esquema de um robô 2D-PP.

Figura 13 - Robô 2D-PP.

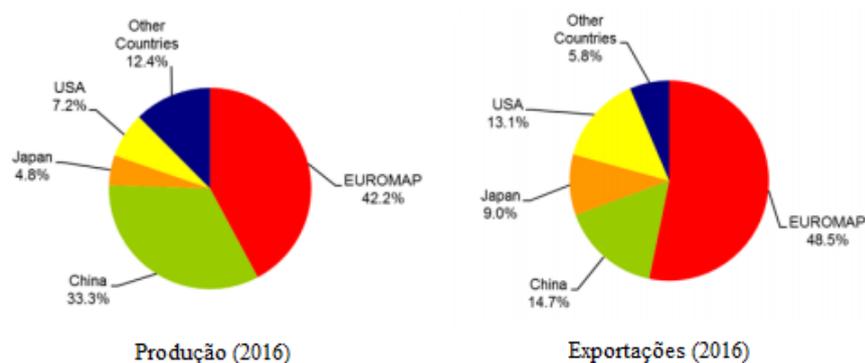


Fonte: O autor (2020).

2.3.1 Euromap

A Euromap (*Europe's Association for plastics and rubber machinery manufacturers*), uma organização guarda-chuva (associação de instituições que trabalham unidas formalmente para coordenar atividades ou reunir recursos) da poderosa indústria europeia de plásticos e máquinas de borracha, responsável por cerca de 40% da produção mundial e 50% dos volumes de exportações (Euromap, 2016), conforme a Figura 14.

Figura 14 - Participação da Euromap na produção e exportação mundial.



Fonte: Euromap (2016).

A Euromap surgiu em 1964 e fornece informações e assistência para toda a indústria de plástico e borracha. Segundo um documento publicado pela própria associação em 2016, ela representa cerca de 1000 empresas que fabricam equipamentos para a indústria de plástico e borracha, gerando vendas anuais no valor de 14,3 bilhões de euros.

Essa associação também faz pesquisas e desenvolve recomendações técnicas destinadas aos fabricantes de plástico e borracha. Em um de seus trabalhos foram desenvolvidas as normas de padronização da interface elétrica entre máquina de moldagem por injeção e dispositivo de manuseio, a Euromap 12 e 67 (DA SILVA, 2015). A interface elétrica entre máquinas injetoras de plástico e os robôs atendem essas normas, onde materiais padronizados e esquemas de ligações devem ser fielmente seguidos.

De acordo com Mudesto (2017), essas recomendações técnicas foram originalmente destinadas a comunidade europeia, mas como o mercado internacional da indústria plástica é globalizado, fabricantes de máquinas do mundo todo fazem o uso da Euromap 12 em seus equipamentos, pois tornou-se uma exigência de mercado, imposta pelas indústrias que podem assim optar por comprar máquinas e robôs de diferentes fabricantes. A máquina em que está sendo desenvolvido o robô manipulador faz o uso dessa interface.

Segundo o Euromap 12 (2015), os sinais elétricos tanto na máquina de moldagem por injeção quanto no robô manipulador são fornecidos por contatos de relés, interruptores ou sensores. A criação de contatos é livre de potencial elétrico entre robô e máquina ou relacionada a um potencial de referência na interface. Os sinais devem estar disponíveis em todas as máquinas de moldagem por injeção e manipuladores.

Os sinais que trafegam pela Interface Euromap 12 para serem enviados ao robô, são efetivados pelo CLP da injetora e tem origem nos sensores de posição digital utilizados para monitoramento do estado da máquina. Algumas máquinas disponibilizam no CLP um cartão de entradas e saídas dedicado a interface Euromap 12, ou caso contrário, na inexistência deste cartão, a interface pode ser instalada a partir de relés adaptados nos circuitos da injetora. O sinal para chaveamento dos relés terá origem nos sensores (MUDESTO, 2017).

De acordo com Mudesto (2017), os sinais enviados pela injetora ao robô, por intermédio da interface Euromap 12, são recebidos pelo CLP do robô, que envia sinais de condições para a máquina como ilustra a Figura 15.

Quando a máquina envia sinais como por exemplo, *Molde Fechado*, o controlador do robô o mantém em espera até que o molde abra e envie o sinal de *Molde Aberto*, e após a

abertura o sinal é enviado ao robô autorizando a descida dentro da máquina. A partir deste estado a máquina permanece em espera aguardando o sinal de *Consenso de Extrator Avançado*. Durante todo o ciclo cada estado de mudança é autorizado ao termino do movimento anterior intercalados entre máquina e robô.

Figura 15 - Comunicação máquina/robô.



Fonte: Mudesto (2017).

Para simplificar e padronizar a interface entre máquina de injeção e o robô, a Euromap 12 desenvolveu um esquema de ligações dos fios para troca de sinais entre a máquina e o robô, como exposto no Anexo 3, que será explicado no decorrer deste trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito de forma detalhada sobre o caminho percorrido para alcançar os objetivos deste trabalho, descrevendo os componentes utilizados, os cálculos, dimensionamentos e simulações realizados, e também a metodologia aplicada para a realização deste trabalho.

3.1 O projeto

A ideia da realização desse projeto surgiu devido ao grande número de ocorrências relacionadas à produção do corpo da tela, sendo essas ocorrências, geralmente, decorrentes de falhas de produção e manuseio da peça e em consequência dessas falhas o molde dessa peça quebra constantemente.

O corpo da tela compõe a maquininha de cartão e é fornecido para um dos maiores clientes do Grupo Plascar LTDA., a Ingênico, empresa francesa, com matrizes em cerca de 170 países, sendo ela líder mundial em tecnologia de meios de pagamentos¹.

Diante de tal proposta, a ideia do projeto consiste em projetar e desenvolver um robô manipulador cartesiano, de juntas prismáticas, com dois graus de liberdade, na qual este irá extrair a peça do molde, soltá-la em uma bandeja, voltar à sua posição inicial e iniciará um novo ciclo, sendo este um processo automático, diferentemente do processo inicial que consistia em um processo semiautomático.

Com a motivação e com a ideia inicial em mente, foi necessário fazer um croqui do projeto para dar início ao desenvolvimento deste. A obtenção dos dados necessários nessa etapa ocorreu com auxílio da equipe técnica da empresa.

Sendo assim, foi desenvolvido um croqui e assim definidos os materiais que serão utilizados e os procedimentos que o robô irá executar.

Posteriormente, com o croqui finalizado, foi necessário fazer algumas medições no molde e na peça a serem trabalhados, com a finalidade de dimensionar os materiais já definidos. Com os dimensionamentos feitos, foi averiguado se os materiais necessários para a construção do robô haviam na empresa, sendo que a compra de novos produtos, no momento, era inviável.

Com um retorno positivo sobre a disponibilidade dos materiais requisitados, deu-se prosseguimento no desenvolvimento do manipulador. Então, deu-se início ao processo de

¹ Disponível em: < <https://www.ingenico.com.br/>>. Acesso em: 17 jun. 2020.

usinagem do robô e posteriormente, definida como seria a comunicação entre máquina, molde e manipulador.

Com o robô finalizado e as comunicações definidas, o robô foi fixado no molde. Assim sendo, foi feito o interfaceamento e a comunicação entre a máquina e robô manipulador, integrando os sinais necessários para que os procedimentos definidos para eles ocorram como o planejado.

Em seguida, foram feitos testes à fim de conferir o funcionamento do robô, e alguns dias depois da liberação da máquina trabalhando com o robô manipulador, foram feitas validações com a finalidade de constatar se o desenvolvimento deste projeto foi vantajoso ou não, para o cliente, para a empresa e para o operador.

3.2 Croqui e os materiais

Anteriormente foi abordado o porquê desse projeto e feito um resumo de todas as etapas, desde o desenvolvimento até a implementação desse manipulador na máquina em questão. Já nesse tópico e nos tópicos consecutivos serão apresentados mais detalhes de cada uma das etapas. Então, nesse tópico serão apresentados o croqui desenvolvido e os materiais escolhidos para construção desse projeto.

Assim que a ideia de desenvolver um robô para a extração do corpo da tela, produzido na máquina 21 surgiu, foi necessário acompanhar o funcionamento dessa máquina para melhor entendimento da produção e para poder elaborar um esboço do robô a ser desenvolvido.

Inicialmente foi feito um rascunho do projeto e em seguida foi elaborado um esboço no TopSolid, como exposto na Figura 16, sendo esse um software integrado para o design de produtos, manufatura e gerenciamento de dados.

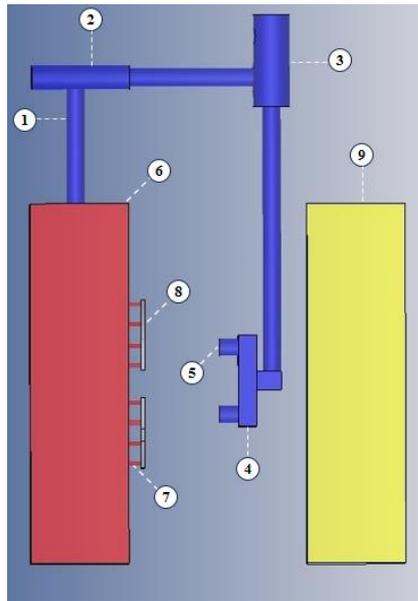
Na Figura 16, os itens enumerados de 1 a 5 fazem parte da estrutura do robô, os itens 6, 7 e 9 são partes da estrutura do molde e o item 8 é a peça, sendo que, neste molde são produzidas duas peças por ciclo de produção.

Detalhando melhor cada item:

a) *Item 1*: consiste de uma base fixa que servirá para conectar o robô manipulador ao molde. Consiste de uma base feita de alumínio com 170 mm de altura.

b) *Item 2*: consiste de um cilindro pneumático SMC CP95SD, posicionado no sentido horizontal, com sua base fixa ao item 1 e na qual, sua extremidade está conectada ao item 3. O curso da haste desse cilindro é de 25 mm.

Figura 16 - Croqui do projeto.



Fonte: Do autor (2020).

c) *Item 3*: consiste de um cilindro pneumático Festo DSNU, posicionado no sentido vertical, com sua base fixada na extremidade do item 2 e que possui sua extremidade conectada ao órgão terminal do manipulador (end effector). O curso da haste desse cilindro é de 210 mm.

d) *Item 4*: consiste no órgão terminal do manipulador, sendo este um suporte com as garras à vácuo (item 5). Consiste de um suporte de 130 mm de comprimento, 70 mm de largura e 90 mm de altura, sendo feito de alumínio.

e) *Item 5*: ventosa, compõe o órgão terminal (garra à vácuo). Como há duas peças sendo produzidas, serão utilizadas duas ventosas, que podem ser de no máximo 20 mm de diâmetro cada.

f) *Item 6*: é a parte móvel do molde, sendo que no momento em que o ciclo de produção encerra e o molde se abre, é esta parte que se desloca, sendo que este deslocamento é definido na própria máquina. A parte móvel possui 245 mm de comprimento, 185 mm de largura e 295 mm de altura.

g) *Item 7*: é o extrator, compõe a parte móvel do molde e é a ferramenta que “empurra” a peça, após injeção, para fora do molde, deixando-a disponível para a extração. O extrator possui um comprimento máximo, no entanto, o quanto ele “sairá” do molde depende da configuração da máquina. Seu comprimento máximo é 100 mm, no entanto, para empurrar a peça em direção às garras, será necessário que ele saia do molde apenas 25 mm.

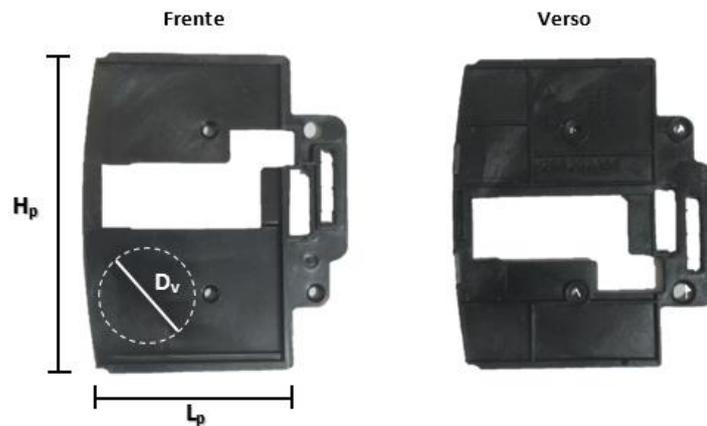
h) *Item 8*: é a peça injetada, o corpo da tela, conforme a Figura 17. É produzida duas peças por ciclo de injeção, caso o molde esteja em seu pleno funcionamento.

i) *Item 9*: é a parte fixa do molde. Essa parte possui 245 mm de comprimento, 180 mm de largura e 295 mm de altura.

Na Figura 17 pode ser observado a frente e o verso do corpo da tela, onde H_p é a altura e L_p é a largura da peça, sendo 54,8 mm e 36,4 mm, respectivamente. D_v consiste no diâmetro máximo que a ventosa (item 5) pode ter, 20 mm.

Para a realização deste projeto os materiais que serão utilizados estão dispostos na Tabela 3, juntamente com sua quantidade e seus dimensionamentos.

Figura 17 - Corpo da tela.



Fonte: Do autor (2020).

Tabela 3 - Materiais utilizados no projeto (Continua).

Materiais	Quantidade
Cilindro SMC CP95SDB50-25	1 unid.
Cilindro Festo DSNU 25-250	1 unid.
Sensor indutivo M12 c/ conector PNP - 2mm	1 unid.
Sensor magnético Festo Sme-8m-ds-24v-k-0,3-m8d	4 unid.
Bloco Manifold Festo c/ 6 válvulas pneumáticas Vuvb-s-m42-azd-qx-1c1	1 unid.
Válvula gerado de vácuo Smc Zh13bs-01-02	1 unid.
Pressostato/Vacuostato digital Smc Zse30a-01-b-1	1 unid.

Tabela 3 - Materiais utilizados no projeto (Conclusão).

Materiais	Quantidade
Ventosa pneumática vácuo de 15 mm	2 unid.
Mangueira pneumática de 6mm	3 metros
Mangueira pneumática de 8mm	4 metros
Conector Harting 16 pinos	1 unid.
CLP Eaton Moeller Easy19-DC-RC	1 unid.
Relé de Interface Finder 39.11.0.024.0060	9 unid.

Fonte: Do autor (2020).

Os cilindros pneumáticos são dispositivos mecânicos que usam o poder do gás comprimido para produzir uma força em um movimento linear alternativo. Eles criam forças lineares de condução a partir da pressão transmitida pelo ar comprimido pelo pistão, que então volta à posição original. São estes dispositivos responsáveis pela movimentação das partes móveis nos processos de automatização e pela aplicação de força. Pode-se dizer que são os músculos das máquinas. No projeto foi utilizado dois tipos de cilindros pneumáticos, como descrito na Tabela 3 e observado no tópico a seguir.

Os sensores são dispositivos que tem a função de detectar e responder com eficiência algum estímulo. Existem vários tipos de sensores que respondem à estímulos diferentes como por exemplo: calor, pressão, movimento, luz e outros. No projeto foi utilizado um sensor indutivo, que apresenta capacidade de detectar objetos metálicos em pequenas distâncias, sendo, portanto, definido como um sensor de proximidade (para objetos metálicos). Foram também utilizados quatro sensores magnéticos que são acionados a partir de um campo magnético proveniente de ímãs permanentes que estão no interior dos cilindros, esse tipo de sensor funciona basicamente como uma chave liga/desliga e, portanto, tem várias aplicações. E também foi utilizado um pressostato/vacustato digital que consiste em um interruptor de pressão negativa (vácuo / abaixo da pressão atmosférica) e que tem sua atuação na abertura e fechamento de um contato elétrico, com função de sinalizar quando uma certa pressão negativa é atingida.

As válvulas pneumáticas são designadas para controlar e manipular o fluxo de ar comprimido, para movimentar ou acionar um cilindro, um atuador ou outros mecanismos da automação de equipamentos. Existem alguns tipos de válvulas pneumáticas e neste projeto foram utilizados válvulas pneumáticas direcionais, que orientam a direção que o fluxo de ar

deve seguir. As válvulas da série VB podem ser utilizadas em montagem individual ou em manifold (como é o caso do projeto) com resistente base metálica, tornando a instalação fácil, rápida e flexível para diversos tipos de aplicações. Vale ressaltar que foram utilizadas apenas três válvulas do manifold.

A válvula de vácuo é um dispositivo que tem o funcionamento baseado no princípio de Venturi, pois o vácuo é gerado quando o ar comprimido passa por um difusor em alta velocidade. Uma das principais vantagens da válvula geradora de vácuo é seu excelente custo e benefício, isso devido ao fato de o dispositivo conseguir alinhar alto desempenho com um baixo valor de compra, tornando-se uma ótima solução econômica.

As ventosas são objetos que permitem fixação em superfícies lisas. A estrutura das ventosas de silicone manipula a pressão do ar para que seja alcançado o resultado de uma fixação estável.

A mangueira pneumática é um componente utilizado em automação pneumática, sistemas hidráulicos de baixa pressão, indústria automobilística, equipamentos odontológicos, entre outras utilidades. A sua utilização é devido à sua flexibilidade mesmo em baixas temperaturas, sua resistência mecânica, além de ser fácil seu manuseio e montagem. No projeto foram utilizadas mangueiras pneumáticas de dois diâmetros diferentes, na qual a de 8 mm foi utilizada para fazer a alimentação das válvulas e a de 6 mm para fazer a alimentação dos cilindros.

O CLP (Controlador Lógico Programável) é um computador robusto especializado em desempenhar funções de automação, controle e, monitoramento de máquinas e de processos industriais de diversos tipos e níveis de complexidade, através de softwares específicos desenvolvidos pelo usuário. No projeto foi utilizado um CLP Eaton Moeller Easy19-DC-RC.

Os conectores são montados, geralmente, em um cabo e servem para conectar um dispositivo na rede elétrica. O conector utilizado neste projeto possui 32 pinos, sendo eles 16 conectores macho e 16 conectores fêmea.

Os relés são dispositivos elétricos que tem como função produzir modificações rápidas. No momento em que o circuito de comando do relé é alimentado por uma corrente, aciona um eletroímã que faz a mudança de posição de outro par de contadores, que estão ligados a um circuito ou comando secundário. Resumidamente podemos dizer que todo relé se configura como um contato que abre e fecha de acordo com algum determinado fator ou configuração. No projeto foram utilizados relés de interface Finder da série 39.

3.3 Características do manipulador

Como já mencionado o robô desenvolvido consiste em um manipulador cartesiano/pórtico de 2 graus de liberdade, ou seja, um robô manipulador PP, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Robô manipulador desenvolvido.



Fonte: Do autor (2020).

Este robô possui uma configuração simples, trabalhando com o deslocamento de duas juntas prismáticas.

O manipulador desenvolvido possui a área de trabalho definida em azul, na Figura 19.

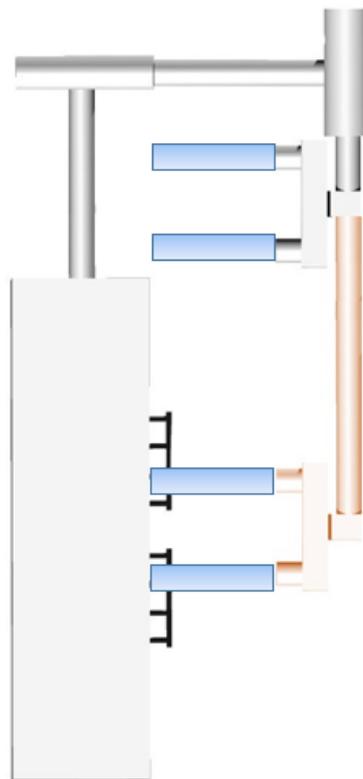
Devido a sua configuração e ao fato de ser um robô construído com dois cilindros pneumáticos, sendo estes complexos para serem controlados e que, quando acionados trabalham entre os extremos de sua posição, totalmente recolhidos ou totalmente estendidos, sua área de trabalho é pequena e limitada.

Por se tratar de um sistema de acionamento pneumático, faz-se uso do ar para o trabalho dos acionadores (cilindros) e estes possuem alta velocidade, sendo complexo o controle da sua

posição em pontos ao longo do seu curso. Por ser um robô simples, o uso da automação pneumática é bastante adequado, além de ser de baixo custo.

A garra desse manipulador é uma garra à vácuo, na qual quando for pressurizado com ar comprimido, a válvula gera o vácuo no interior das ventosas, o que faz com que a pressão atmosférica prenda as peças às ventosas, permitindo assim a movimentação das mesmas.

Figura 19- Espaço de trabalho do robô desenvolvido.



Fonte: Do autor (2020).

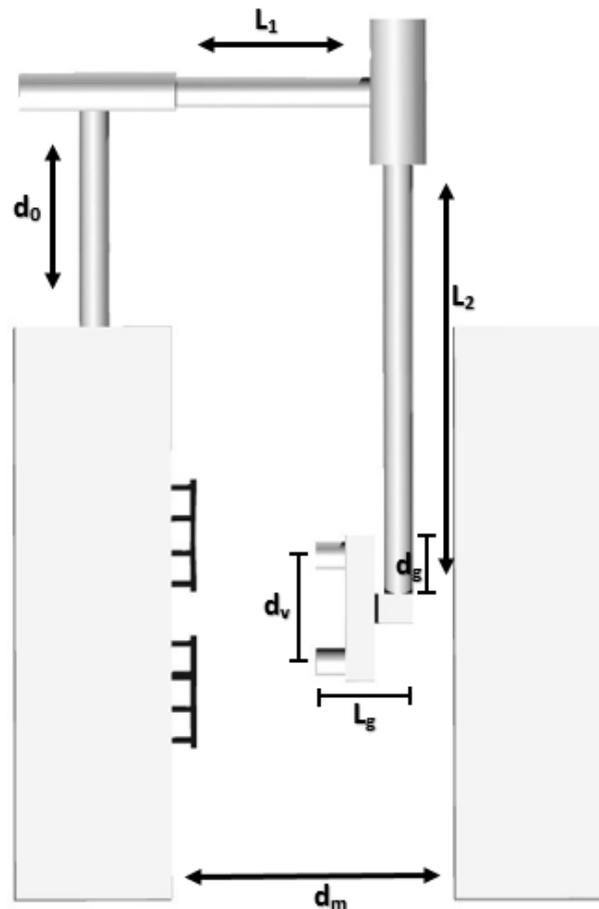
A programação do sistema pneumático em questão foi realizada com por meio da comunicação IO entre dois CLPs, fazendo o uso de relés para comutação de sinais NPN do CLP da máquina, para sinais PNP do CLP do robô manipulador.

3.4 Cinemática do manipulador

O robô manipulador desenvolvido possui duas juntas prismáticas. A primeira é responsável por conduzir o cilindro vertical na qual a garra está acoplada. A segunda possui seu eixo perpendicular ao eixo da primeira e é responsável por conduzir a garra na “altura” das

peças a serem extraídas. As dimensões das hastes dos cilindros e as demais medições estão dispostas na Figura 20.

Figura 20 - Dimensionamentos do robô.



Fonte: Do autor (2020).

Como pode ser observado na Figura 20, L_1 é o comprimento da aste do cilindro horizontal, L_2 é o comprimento da haste do cilindro vertical, L_g é o comprimento da garra, d_0 é o comprimento da base do robô, d_v é a distância entre os centros das ventosas, d_g é o comprimento do cilindro na posição normal (quando o cilindro vertical está recuado) e d_m é a distância entre as partes fixa e móvel do molde, quando este está aberto. Os valores dessas dimensões estão dispostos na Tabela 4.

Para o estudo da cinemática desse manipulador foram atribuídos sistemas de coordenadas de referência de acordo com a convenção de Denavit-Hartenberg. Um sistema de coordenadas fixo $\mathbf{0}$ (x_0 , y_0 e z_0) é indicado na base do membro, outro sistema de coordenadas $\mathbf{1}$

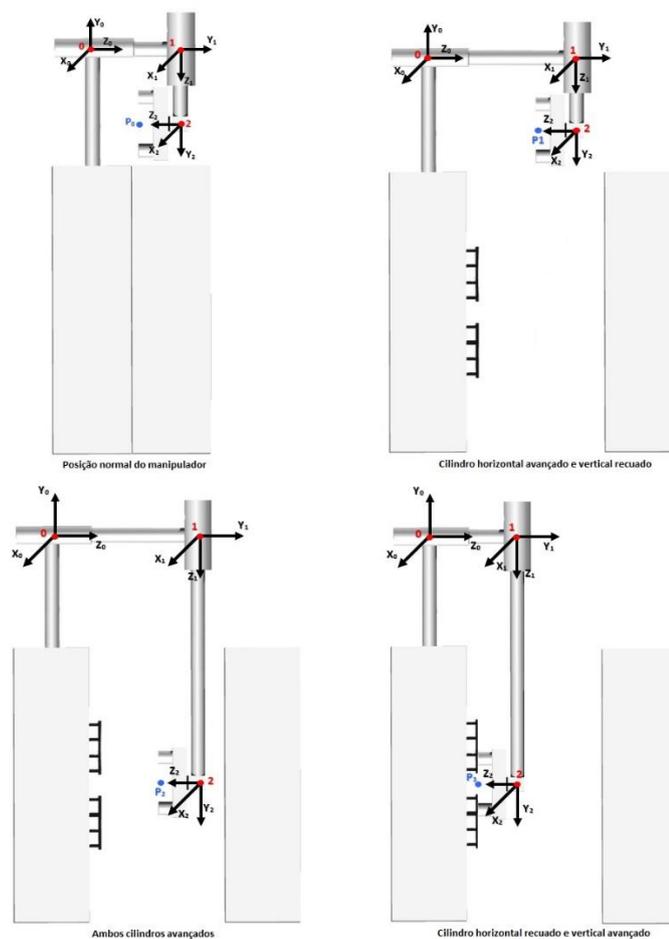
$(x_1, y_1 \text{ e } z_1)$ é fixado no centro da segunda junta e outro sistema de coordenadas **2** (x_2, y_2, z_2) é fixado na extremidade do cilindro vertical, de acordo com a Figura 21.

Tabela 4 - Valores das dimensões.

Dimensionamento (mm)	
L_1	110
L_2	250
L_g	70
d_0	170
d_g	40
d_v	48,5
d_m	220

Fonte: Do autor (2020).

Figura 21 - Sistema de coordenadas do robô em todas suas posições.



Fonte: Do autor (2020).

3.5 Usinagem do robô

Nessa etapa, deu-se início ao desenvolvimento da estrutura do robô manipulador. Com os materiais já definidos, foi feito o uso de processos de usinagem para confecção da base do robô, da conexão entre os cilindros e do suporte para as ventosas. Todas as partes mencionadas foram usinadas por meio dos processos de fresamento e torneamento.

O material utilizado para a usinagem das partes citadas anteriormente foi o alumínio, sendo este um material com propriedades que faz com que este seja um dos mais versáteis materiais utilizados na indústria em geral, sendo ele leve e resistente.

Conceituando rapidamente os dois processos, a fresagem ou fresamento é um processo de usinagem onde a remoção é realizada através do movimento de corte circular é realizado pela ferramenta, e o movimento (relativo) de avanço é realizado pela peça. Já no torneamento a peça executa o movimento de corte rotativo e a ferramenta o movimento de translativo de avanço. Enquanto o fresamento é um processo utilizado na geração de superfícies que não são de revolução, o torneamento é utilizado na fabricação de peças simétricas de revolução.

A usinagem das partes foi realizada sob o auxílio do setor de ferramentaria da empresa, nas quais foram coletadas todas as dimensões para o desenvolvimento das partes e então feito a usinagem destas.

Inicialmente as placas a serem usinadas foram levadas até a fresadora, onde foram passadas as dimensões que está deveria usinar as placas e então feito o processo de fresamento. A máquina em questão consiste na fresadora CNC Petrus DPT 50100 (exposta na Figura 22) que é uma máquina de usinagem com CNC de 3 eixos e amplitude de operação x/y/z, 1000, 453, 600mm, respectivamente, com rotação de 60 a 8000 rpm e capaz de executar com precisão e velocidade os mais diversos tipos de usinagens em perfis de alumínio. É a única fresadora da unidade de Varginha e ela não está habilitada à utilização de software para serem passadas as dimensões, então deve ser programada pelo próprio painel onde a fresa trabalha linha por linha nas três dimensões.

Após a confecção das placas na fresadora, estas passaram pelo processo de torneamento. O torno mecânico utilizado é da marca Nardini ND 250 BS (exposto na Figura 23) e trata-se de um torno fabricado no Brasil da linha Nodus. É uma máquina manual onde faz a usinagem de peças de comprimento máximo até 1500 mm entre pontas e o diâmetro máximo torneável sobre o barramento é de 550 mm.

A Figura 24 consiste no robô montado com as partes usinadas e os dois cilindros pneumáticos.

Assim sendo, iniciou-se a etapa de programação e comunicação entre CLP e robô manipulador e por fim, a comunicação entre o CLP da máquina e o CLP do manipulador.

Figura 22 - Fresadora CNC Petrus DPT 50100.



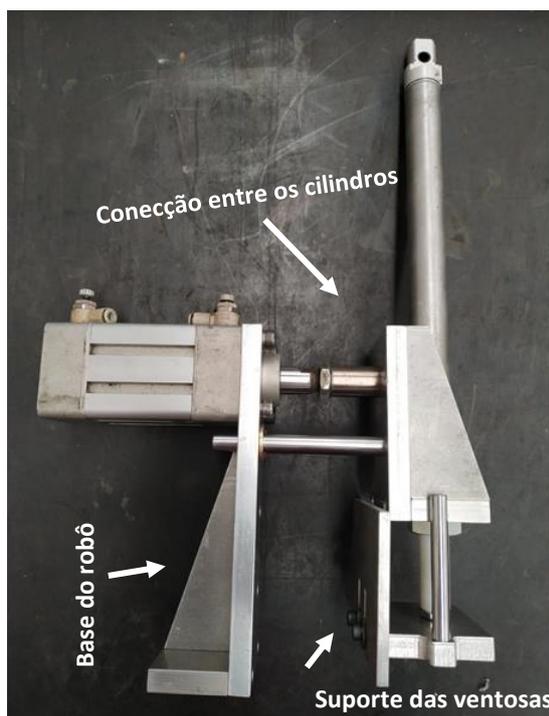
Fonte: Do autor (2020).

Figura 23 - Torno mecânico Nardini ND 250 BS.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 24 - Robô montado.



Fonte: Do autor (2020).

3.6 Comunicação CLP e robô manipulador

Com a conclusão das etapas anteriores, deu-se início a etapa do desenvolvimento da comunicação do robô.

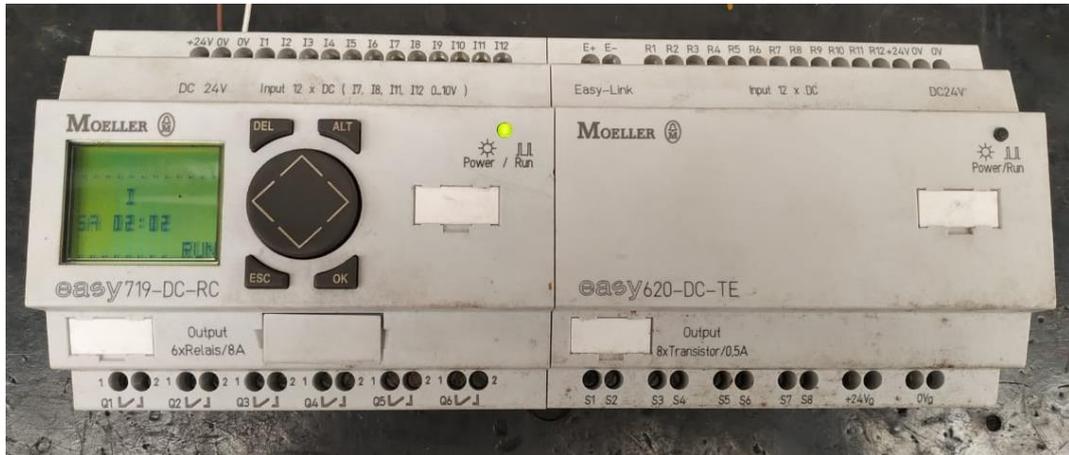
A máquina já possui um CLP que trabalha toda a comunicação entre máquina e molde, no entanto, o conteúdo interno desse CLP não é conhecido e pode ser modificado apenas pelos seus fabricantes, ou seja, para sua modificação é necessário solicitação à empresa Haitian, na qual ela envia um representante da empresa para executar tais mudanças, o que é uma opção inviável para a empresa no atual cenário.

Diante disso e das circunstâncias encontradas, foi utilizado outro CLP, sendo este responsável por fazer a comunicação do robô, e mesmo a máquina não possuindo interface com ele, foi feita uma adaptação que consistiu na intervenção de alguns sinais da máquina lançando estes também para o robô, compensando assim os sinais que a máquina não possui.

Para o desenvolvimento dessa comunicação foi utilizado um CLP Eaton Moeller Easy19-DC-RC, exposto na Figura 25. Este é um módulo de relé de controle inteligente que combina temporizadores, relés, contadores, funções especiais, entradas e saídas em um dispositivo compacto que é facilmente programado. A família de produtos EASY oferece um

nível de flexibilidade excepcional, além de economias substanciais de tempo e esforço de comissionamento. O módulo da série EASY700 é usado para controlar aplicativos de tamanho médio com até 40 sinais de entrada / saída.

Figura 25 – CLP Eaton Moeller Easy19-DC-RC.



Fonte: Do autor (2020).

Como pode ser observado na Figura 25, o CLP utilizado possui dois módulos, sendo um deles uma extensão para quando necessário a utilização de uma quantidade superior a 12 entradas digitais e a 6 saídas digitais. Como o projeto em questão fará uso de 12 entradas e 6 saídas, não foi necessário a utilização da extensão. Vale ressaltar que a tensão de alimentação do CLP em questão é de 24VDC e corrente de saída contínua de 8A.

Para a programação deste CLP foram listadas todas as entradas e saídas que serão utilizadas, levando em conta também o interfaceamento da Euromap 12. Após a listagem das entradas e saídas, como mostrada na Tabela 5, foi feito o diagrama Ladder para um melhor entendimento da lógica do robô e para um melhor entendimento dos passos e comandos realizados por ele e pela máquina. Para realizar testes dos diagramas Ladder desenvolvidos foi utilizado o software LogixPro.

Tabela 5 - Lista das entradas (I) e saídas (Q) do CLP do robô. (Continua).

	Descrição
I1	Molde aberto
I2	Emergência
I3	Porta fechada
I4	Extrator recuado
I5	Molde fechado

Tabela 5 - Lista das entradas (I) e saídas (Q) do CLP do robô. (Conclusão).

Descrição	
I6	Sensor de vácuo
I7	Sensor do cilindro horizontal avançado
I8	Sensor do cilindro horizontal recado
I9	Sensor do cilindro vertical avançado
I10	Sensor do cilindro vertical recuado
I11	Sensor de supervisão
I12	Sinais do macho
Q1	Fecha molde
Q2	Acionamento do cilindro horizontal
Q3	Acionamento do cilindro vertical
Q4	Acionamento do vácuo
Q5	Avanço do macho
Q6	Recuo do macho

Fonte: Do autor (2020).

Feito o diagrama Ladder, este foi modificado para o diagrama de circuito, sendo esta a linguagem dos CLPs da linha Easy. O diagrama Ladder e o diagrama de circuitos estão dispostos no Anexo 4.

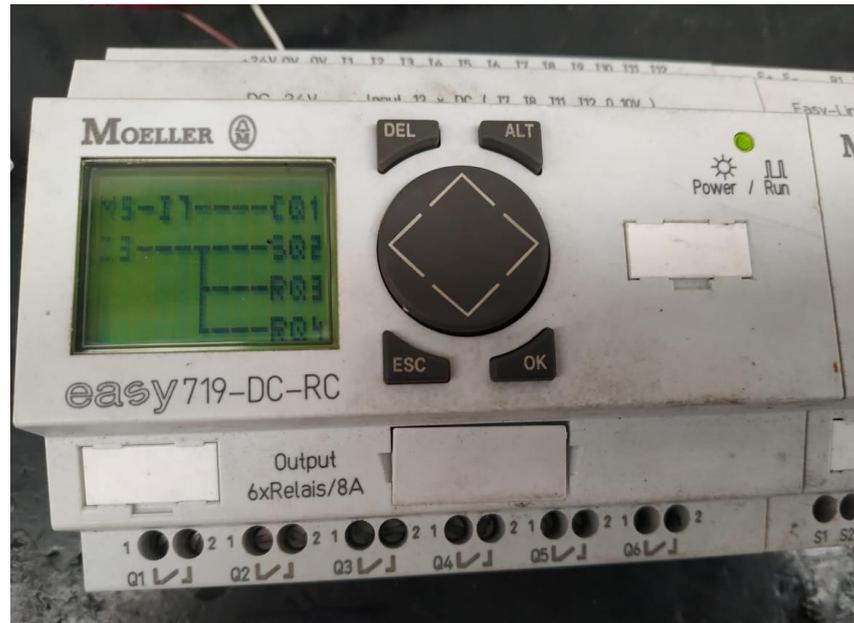
A Figura 26 apresenta o módulo utilizado e parte de um diagrama de circuito programado, como pode ser observado pelo visor do CLP.

Vale ressaltar que qualquer pessoa que tenha conhecimento do diagrama de circuitos se sente à vontade com o Easy, pois a programação deste é similar a desenhar diagramas de circuitos.

Com o diagrama de circuito programado e salvo no CLP, deu-se início aos testes de bancada (FIGURA 27), nos quais eram ativadas as entradas e observadas as saídas com a finalidade de garantir a segurança da lógica implementada e do pleno funcionamento do robô quando conectado à máquina.

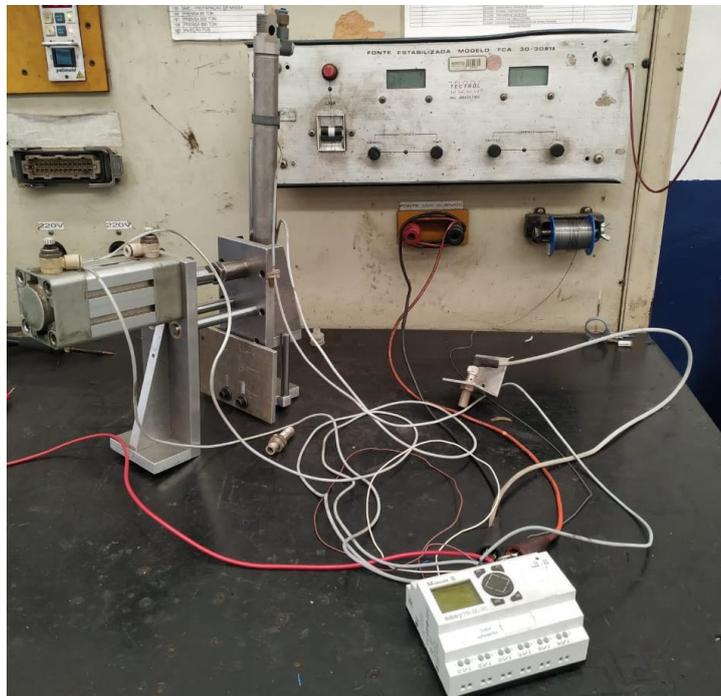
Após os primeiros testes e feito as modificações necessárias para um novo teste de bancada (FIGURA 28), desta vez sendo feito a comunicação entre CLP, válvulas, sensores e robô, a fim de garantir o funcionamento de todas as partes e verificar, novamente, se a lógico de programação do CLP e dos movimentos do robô estão de acordo com as ações necessárias.

Figura 26 - Módulo utilizado do CLP.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 27 - Teste de bancada, fazendo a simulação das entradas e observando o comportamento das saídas.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 28 - Teste de bancada, fazendo a comunicação entre CLP e robô manipulador.



Fonte: Do autor (2020).

Com todos os testes concluídos, foram feitos os últimos ajustes no manipulador, como por exemplo, a fixação do vacuostato. Com os testes de bancadas bem-sucedidos e com as ligações definidas, foi utilizado o conector Harting de 16 pinos para facilitar a conexão dos fios entre robô e CLP, sendo assim, na Tabela 6 está disposto o que foi conectado em cada um dos 16 pinos do conector em questão.

Tabela 6 – Descrição da fiação do conector Harting.

Pino	Descrição
1	Normal positivo
2	Normal negativo
3	Sensor cilindro horizontal recuado
4	Sensor cilindro horizontal avançado
5	Sensor cilindro vertical recuado
6	Sensor cilindro vertical avançado
7	Sensor supervisor
8	Vacuostato
9	-
10	-
11	-
12	-
13	Normal negativo
14	Válvula do cilindro vertical
15	Válvula do cilindro horizontal
16	Válvula para a garra

Fonte: Do autor (2020).

Com as ligações concluídas entre robô, válvulas, sensores e CLP, o robô manipulador foi conectado ao molde (foram desconectados os componentes do robô para que estes não fossem danificados na instalação), como pode ser observado na Figura 29.

Figura 29 - Robô manipulador fixado na parte móvel do molde.



Fonte: Do autor (2020).

Após a fixação do robô manipulador no molde, foi feito novamente a montagem deste com todas seus componentes e assim, levados à máquina para realizar a comunicação entre máquina e robô manipulador.

3.7 Comunicação entre máquina e robô manipulador

Como já mencionado anteriormente a máquina em que sendo desenvolvido o projeto não possui interface para robô, então foi necessária a utilização de outro CLP para efetuar os comandos do manipulador.

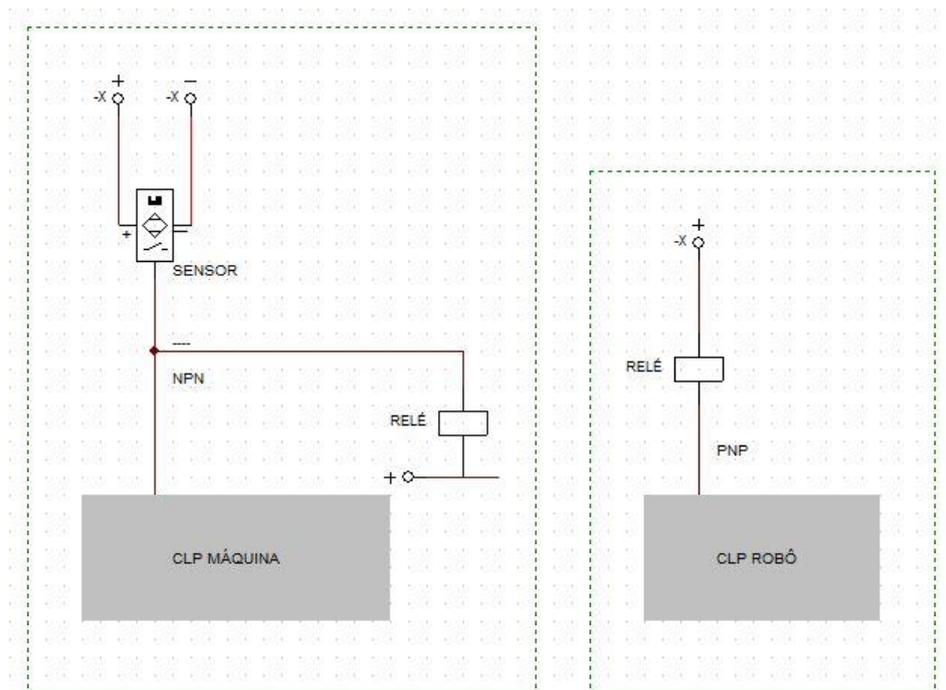
O CLP utilizado para essa comunicação foi detalhado no tópico anterior, e como já especificado possui 12 entradas digitais, sendo 6 delas entradas dos sensores utilizados no robô

manipulador e para obter o sinal das outras 6 entradas deve ser feitas intervenções nos sinais da máquina, utilizando estes também para acionamento do manipulador.

As intervenções citadas serão realizadas nos sinais de molde aberto (I1), emergência (I2), porta fechada (I3), extrator recuado (I4), molde fechado (I5) e sinais do macho (I12). Para fazer essas intervenções serão utilizados relés que serão responsáveis pela comutação/inversão entre os sinais da máquina e os sinais do CLP do robô, sendo que os sinais advindos da máquina são NPN, isto é, os sinais das saídas dos sensores são negativos, e os do CLP do robô manipulador são PNP, sendo eles positivos.

A diferença dos sinais de saídas dos sensores inviabiliza a comunicação direta entre as partes, sendo necessário, como já referenciado, a utilização de relés, como exposto na Figura 30.

Figura 30 - Utilização de relés na comutação de sinais.

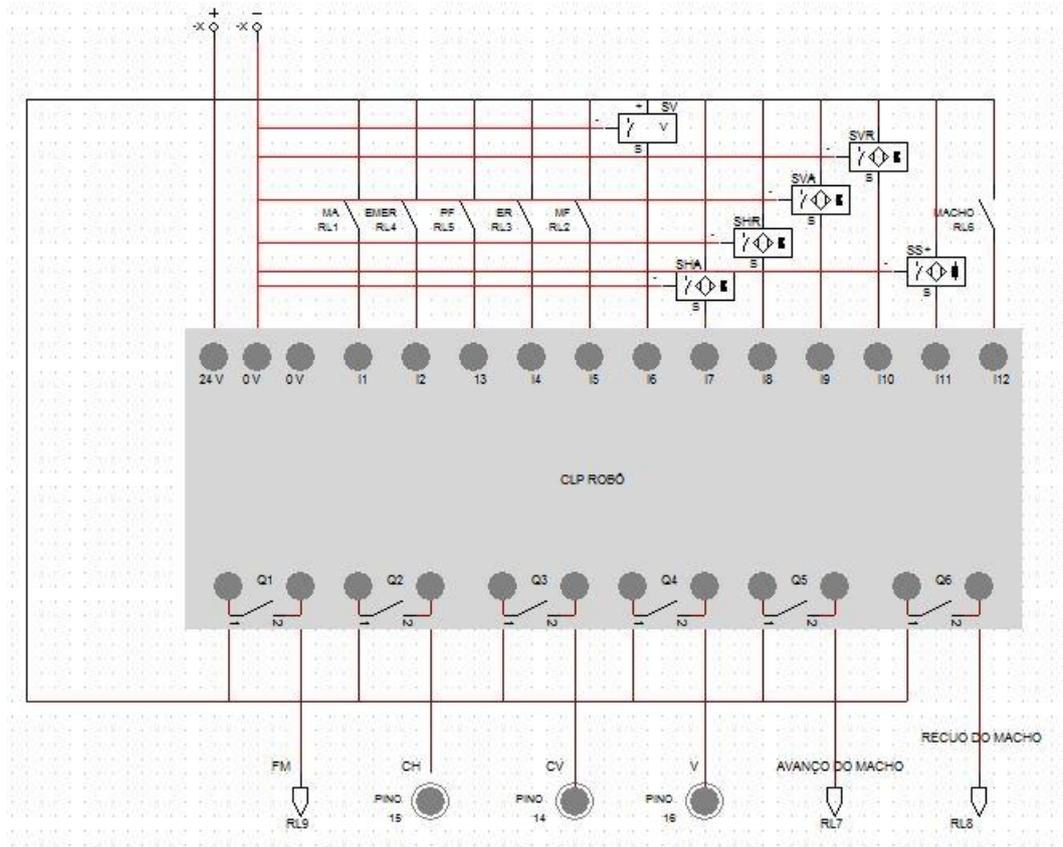


Fonte: Do autor (2020).

Os relés são basicamente, interruptores eletromecânicos, na qual a movimentação física deste interruptor ocorre quando a corrente elétrica circula pela bobina do relé, criando assim um campo eletromagnético que por sua vez atrai a alavanca responsável pela mudança do estado dos contatos. Na Figura 30, figura esta criada por meio do software CAde SIMU, está mostrando um exemplo de como será feita a comunicação entre os sinais da máquina e o CLP do robô, isto é, como será feita a inversão dos sinais (NPN para PNP), através dos relés.

Na Figura 31 pode ser observado um diagrama elétrico de como foi feita a comunicação dos sinais da máquina, relés e as entradas e saídas do CLP do robô. Esse diagrama elétrico foi desenvolvido no CADE SIMU.

Figura 31 - Diagrama elétrico da comunicação entre máquina e robô.

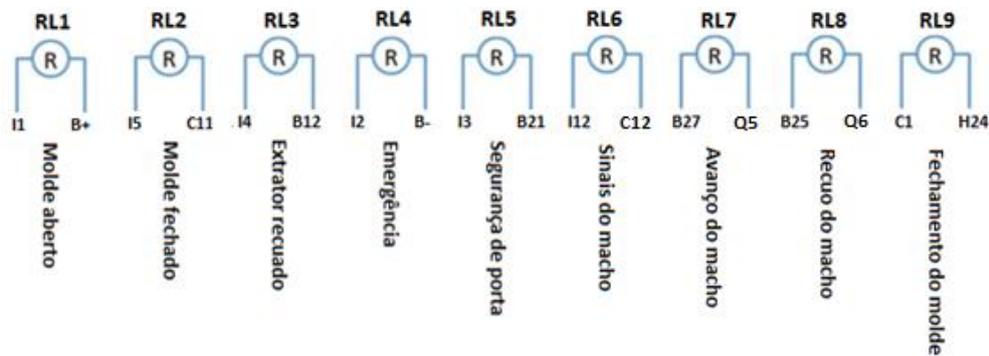


Fonte: Do autor (2020).

É possível observar que as 6 entradas do CLP que recebem sinais da máquina são chaveadas por meio dos relés e as demais entradas, por receberem sinais diretamente dos sensores do robô são conectadas diretamente no CLP do robô. Pode ser observado que 3 das saídas do CLP acima fazem ligações com relés e as outras 3 fazem comunicação direta com o robô.

Para o desenvolvimento da interface entre máquina e robô, como já mencionado, foi utilizado relés adaptados aos circuitos da injetora. Na Figura 32 é representado os relés utilizados na criação da interface e descrito na Tabela 7. Vale ressaltar que os fios referenciados com a letra “I” são fios das entradas do CLP do robô, com a letra “Q” das saídas do CLP do robô, com a letra “B” das entradas do CLP da máquina, com letra “C” das saídas do CLP da máquina e o “H24” refere-se à alimentação positiva do CLP da máquina.

Figura 32 - Esquema elétrico com os sinais para confecção da interface.



Fonte: Do autor (2020).

Tabela 7 - Sinais robô para a interface. (Continua)

Sinais	Função
Molde aberto	Os fios I1 e B+ em conjunto ao relé RL1 monitora o movimento de abertura do molde. Identificando que o molde está aberto, permite o acesso do robô ao interior da máquina.
Molde fechado	Os fios I5 e C11 em conjunto ao relé RL2 monitora o movimento de fechamento do molde. Identificando que o molde está fechado, impede o acesso do robô ao interior da máquina e libera para início de um novo ciclo de injeção.
Extrator recuado	Os fios I4 e B12 em conjunto ao relé RL3 monitora o movimento do extrator. Apenas identificando que o extrator está recuado permite o fechamento do molde.
Emergência	Os fios I2 e B- em conjunto ao relé RL4 monitora a condição de emergência da máquina. Quando acionado, corta toda a alimentação do robô e para a máquina.
Segurança de porta	Os fios I3 e B21 em conjunto ao relé RL5 são utilizados para o controle de porta de segurança. Identificado o sinal de porta aberta o molde não fecha.
Sinais do macho	Os fios I12 e C12 em conjunto com o RL6 são utilizados para monitorar a movimentação do macho da máquina. Identificando alguma movimentação deste, envia um sinal para o CLP que irá interpretar o avanço ou recuo do macho.
Avanço do macho	Os fios B27 e o Q5 em conjunto ao relé RL7 monitora o movimento de avanço do macho. Identificando que o macho está foi acionado/avançado, o molde está aberto, permite o acesso do robô ao interior da máquina.
Recuo do macho	Os fios B25 e Q6 em conjunto ao relé RL8 monitora o movimento de recuo do macho. Identificando que o macho está foi recuado, o molde está fechado, não permitindo o acesso do robô ao interior da máquina.

Tabela 7 - Sinais robô para a interface. (Conclusão)

Sinais	Função
Fechamento do molde	Os fios 11 e 12 em conjunto ao relé RL4 monitora o movimento de fechamento do molde. Identificando que o molde está fechado, impede o acesso do robô ao interior da máquina.

Fonte: Do autor (2020).

No Anexo 5 está incorporado o esquema elétrico do CLP da máquina Haitian 21 da Plascar, mostrando os sinais das entradas e saídas deste CLP. Na Figura 33, é mostrado o painel da injetora com o CLP do robô, localização dos relés e pode ser observado também as intervenções feitas nas saídas e entradas do CLP da máquina.

Vale ressaltar que, a máquina em questão não possui o sinal de molde aberto, então fez-se o uso do sinal do macho para compensar essa ausência.

A máquina quando acionada, movimenta um cilindro que vai dentro do molde, este cilindro consiste no macho. Quando a máquina faz com que uma válvula acione o macho, ele atua dentro do molde, na qual essa atuação é captada por sensores que leem o seu movimento e informam se ele (cilindro) avançou ou recuou, sendo esses os movimentos de avanço e recuo do macho, respectivamente.

Para compensar a ausência do sinal de molde aberto, assim que o molde atinge a abertura programada, o avanço do macho atua, liberando o robô para retirada da peça. Para a utilização desse sinal (molde aberto), foi utilizado o sinal da bobina elétrica, sendo ela convertida pelo relé (RL1) e esse sinal foi levado até o CLP do robô, comunicando que o molde está aberto.

Quando a máquina aciona as válvulas, energiza as bobinas até receber o sinal do avanço ou recuo do macho, depois disso, as válvulas são desenergizadas, mas não podem perder o sinal do sensor, por isto foram feitos selos no diagrama Ladder (Anexo 4). O sinal de avanço do macho permanece até que a máquina acione o recuo deste, e vice-versa.

Figura 33 - Painéis da injetora.



Fonte: Do autor (2020).

Quando o sinal de fechamento de molde for ativado, o macho vai recuar o que ele tinha avançado, aciona uma válvula eletricamente, mandando sinal para o CLP do robô e este fabrica um sinal virtual como se ele estivesse lendo um sensor de macho recuado.

As saídas Q5 e Q6, avanço e recuo do macho, respectivamente, são físicos para poder comunicar com a máquina, porém são lógicas virtuais para a máquina interpretar e entender que o macho avançou ou recuou.

Vale ressaltar também que, nas máquinas interfaceadas pela Euromp 12 os sinais trafegam por esta interface para serem enviados ao robô, sendo efetivados pelo CLP da injetora e tem origem nos sensores utilizados para monitoramento do estado da máquina. No entanto, a máquina que está sendo trabalhada não possui a interface Euromap 12 e para desenvolver é necessário a criação de um software da máquina, devido a isso, a criação dessa interface só pode ser feita por alguém especializado.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão relatados os resultados coletados com a mudança no modo de produção do corpo da tela.

4.1 Cinemática do manipulador desenvolvido

Para resolver a cinemática direta do robô manipulador desenvolvido foram determinados os parâmetros das juntas, como indicado na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros de D-H.

Link i	Θ	\mathbf{d}	\mathbf{a}	\mathbf{A}
1	0	L_1	0	90°
2	0	L_2	0	90°

Fonte: Do autor (2020).

As matrizes de transformação homogênea que relaciona o referencial da base com o do efetuador (cinemática direta) para as configurações, foram obtidas desenvolvendo as equações 3.1, 3.2 e 3.3.

Os cálculos foram feitos pela plataforma virtual Matlab (código no Anexo 6) e os resultados estão expostos abaixo:

Matriz de transformação homogênea do robô na posição normal (ambos cilindros recuados):

$$T_{P_0} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -40 \\ 0 & 0 & -1 & 95 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

com vetor de posição $P_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ -40 \\ 95 \end{bmatrix}$.

Matriz de transformação homogênea do robô com o cilindro horizontal avançado e o vertical recuado:

$$T_{P_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -40 \\ 0 & 0 & -1 & 110 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

com vetor de posição $P_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ -40 \\ 110 \end{bmatrix}$.

Matriz de transformação homogênea do robô com os cilindros estendidos:

$$T_{P_2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -250 \\ 0 & 0 & -1 & 110 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

com vetor de posição $P_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ -250 \\ 110 \end{bmatrix}$.

Matriz de transformação homogênea do robô em contato com a peça:

$$T_{P_3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -250 \\ 0 & 0 & -1 & 25 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

com vetor de posição $P_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ -250 \\ 25 \end{bmatrix}$.

Vale ressaltar que as medidas de x, y e z estão em milímetros e que os pontos P_0 , P_1 , P_2 e P_3 são os pontos indicados na Figura 21, onde encontra-se os sistemas de coordenadas do robô em todas as posições.

Foi utilizado a cinemática direta, pois como a configuração do robô é simples e o ângulo entre os links é de 90° , não há necessidade de realizar a cinemática inversa.

Ainda no Matlab, foi feito a simulação 3D do robô como exposto na Figura 34, e seu código está no Anexo 6.

As velocidades das hastes (horizontal e vertical) foram calculadas de acordo com a Equação 3.4.

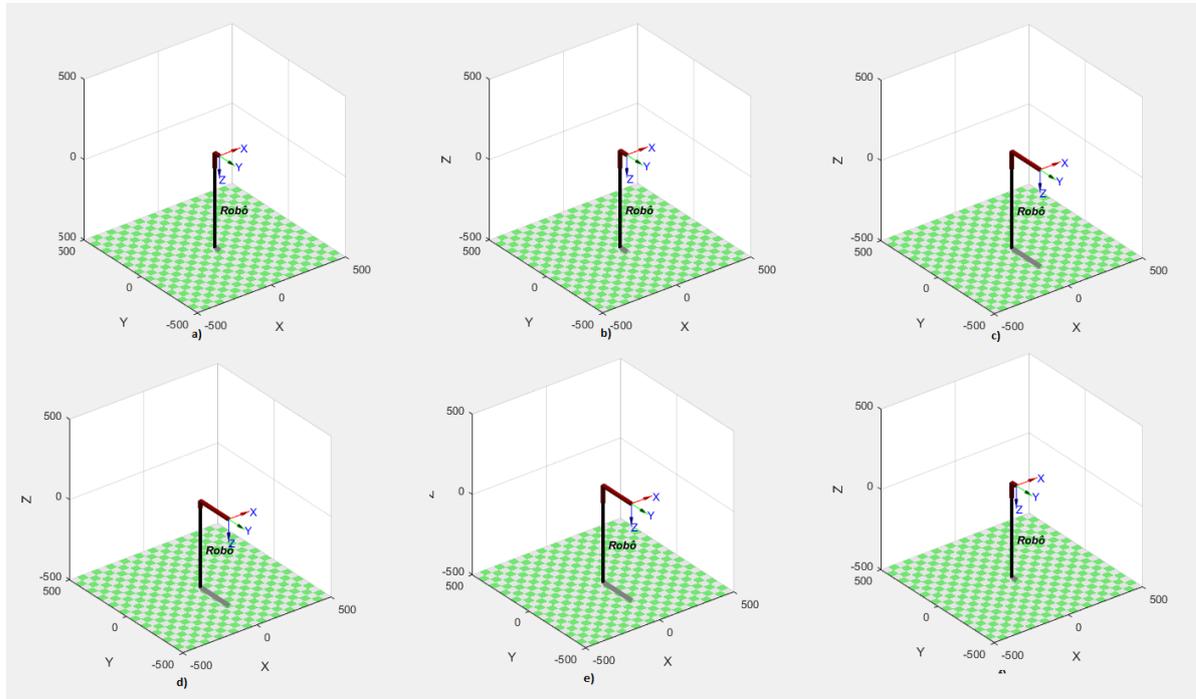
$$v = \frac{d}{t} \quad (3.4)$$

Onde, v é a velocidade, d é o deslocamento da haste e t é o tempo que a haste demora para sair do seu ponto inicial até o seu fim de curso. Os resultados obtidos das velocidades do cilindro horizontal (v_h) e do vertical (v_v) estão dispostos abaixo:

$$v_h = \frac{25}{0,53} = 47 \text{ mm/s.}$$

$$v_v = \frac{210}{1,12} = 187,5 \text{ mm/s.}$$

Figura 34 - Simulação 3D do robô no Matlab.



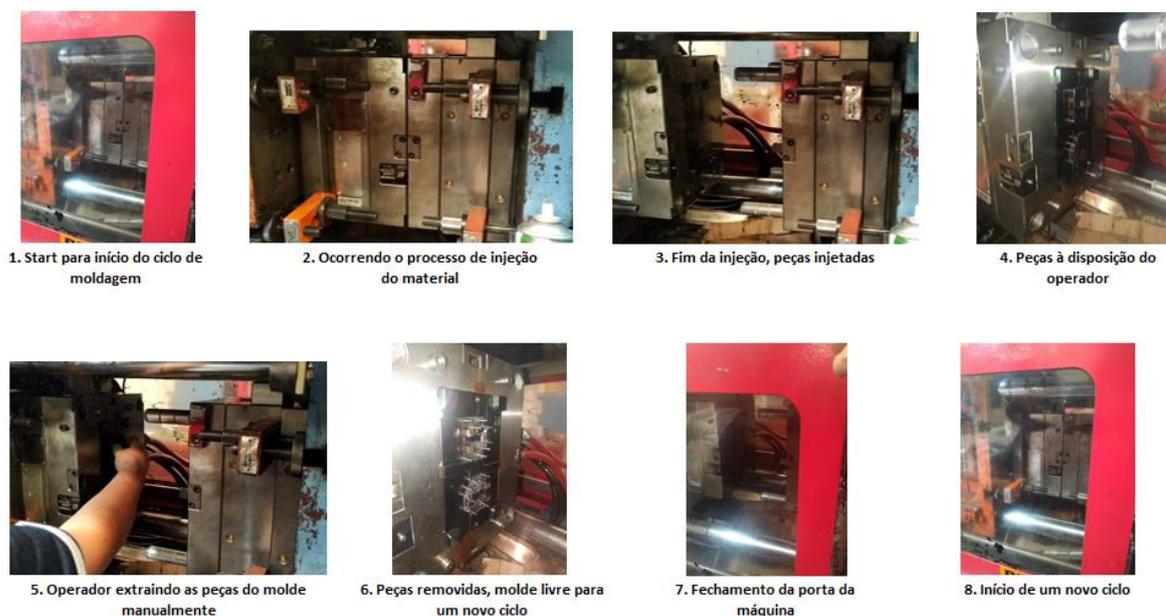
Fonte: Do autor (2020).

4.2 Mudança no modo de produção

A princípio, se tratava de uma máquina semiautomática, nas quais suas etapas para produção das peças estão dispostas na Figura 35.

Como pode ser observado na Figura 35, a máquina necessita de um comando do operador para iniciar o ciclo de injeção da peça. Assim sendo iniciado o ciclo de moldagem ocorre o processo de injeção da matéria prima e a moldagem da peça no interior do molde. Chegando ao fim dessa etapa, o molde abre, indicando que a etapa de injeção do material terminou e as peças injetadas ficam à disposição do operador, sendo elas liberadas pelo extrator do molde. O operador então, deve retirar as peças manualmente, e em seguida fechar a porta da máquina para que inicie um novo ciclo de moldagem, ou seja, o fechamento da porta era o comando para início de ciclo.

Figura 35 - Etapas do processo semiautomático.



Fonte: Do autor (2020)

Vale destacar também que, com o processo de moldagem semiautomático a quantidade de refugos estava sendo grande, atrasando a entrega das peças ao cliente e também, produzindo peças de baixa qualidade, sendo por vezes, essas peças aprovadas indevidamente. A fim de inibir esses problemas, surgiu a necessidade de desenvolver um robô para extrair as peças desse molde, assim, automatizando a máquina.

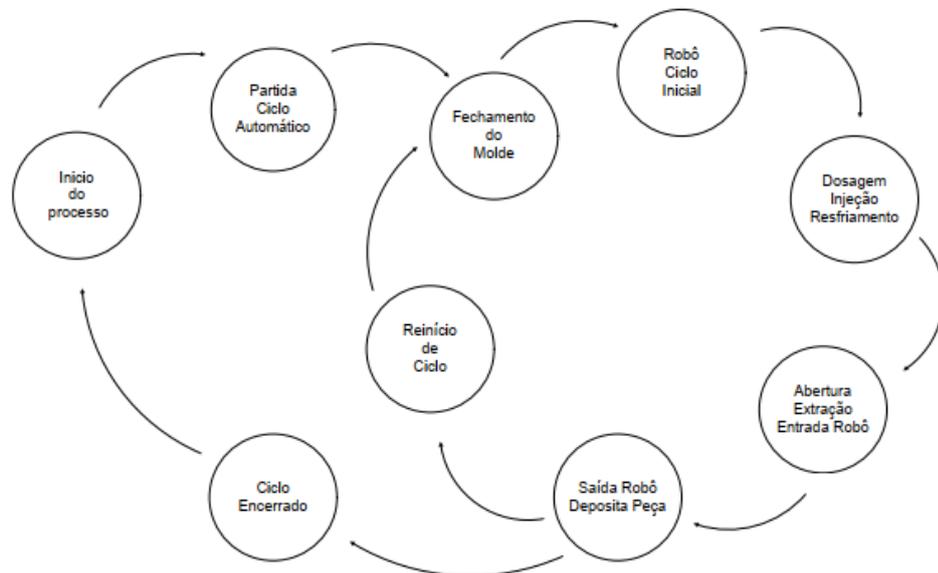
Com o desenvolvimento do robô manipulador e este instalado no molde em questão, o a extração das peças do molde passou a ser um processo automático. A Figura 36 representa o ciclo de trabalho robô/máquina e a Figura 37 apresenta as etapas do processo automático e as suas etapas de produção estão dispostas na sequência.

Como pode ser observado nas Figuras 36 e 37, no início do processo de injeção, a máquina injetora em Modo de Espera (*Stand By*), tem as portas fechadas para liberação dos movimentos da unidade de fechamento, o molde é aberto e mantém recuado seus mecanismos de extração.

Nesta posição, com ciclo de trabalho automático o robô se desloca até a posição inicial do ciclo, com os dois cilindros recuados.

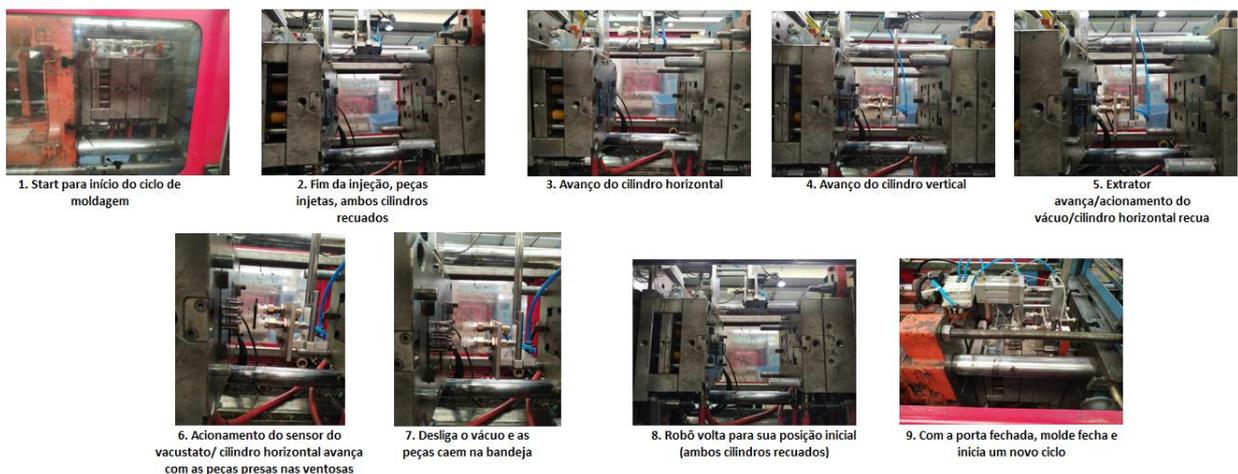
Para início no ciclo de produção é necessário o fechamento das portas da máquina. De acordo com a NBR13536 (jun/2016), a máquina injetora não poderá executar movimentos de fechamento do molde com a porta aberta.

Figura 36 - Representação do ciclo de trabalho automático.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 37 - Etapas do processo automático.



Fonte: Do autor (2020).

Com a porta fechada a máquina avança a unidade de injeção, a matéria prima é dosada no canhão e injetada na cavidade do molde. Após a moldagem da peça, inicia-se um tempo programado para resfriamento do material (passagem para o estado sólido).

Ao fim do tempo de resfriamento, o molde é destravado e aberto (posição de abertura pré-determinada). Ao receber o sinal de fim de abertura o cilindro horizontal avança,

seguido do avanço do cilindro vertical (agora com o robô dentro do molde), com o avanço do cilindro vertical o sensor de supervisão fica desabilitado, o que bloqueia o fechamento do molde.

Com o cilindro vertical todo avançado, o sensor magnético responsável por reconhecer que o cilindro vertical está todo estendido envia um sinal para que a máquina avance o sistema de extração mecânica da peça e juntamente a isso o cilindro horizontal recua e o vácuo é acionado. Com as ventosas em contato com as peças, aciona o vacuostato que confirma a presença da peça em sua extremidade e assim, avança novamente o cilindro horizontal para retirar a peça do extrator.

Com o cilindro horizontal avançado, desliga o vácuo e a peça cai na bandeja ficando disponível para o operador para inspeção (verificar a existência de manchas, deformações e rebarbas). Após a peça cair, o sistema de extração é recuado.

Posteriormente, o robô deixa a área do molde voltando a sua posição inicial, com ambos os cilindros recuados. Ao deixar a área do molde livre, será enviado o sinal de consenso de fechamento do molde para a máquina, que reiniciará o ciclo fechando o molde. Então o robô se posiciona sobre o molde novamente aguardando o próximo ciclo de abertura. O processo continua até que o ciclo automático seja interrompido conforme representado na Figura 36.

Essa mudança no processo de produção do corpo da tela pode ser melhor visualizado pelo vídeo disponível no Youtube (https://youtu.be/9_vc7xqwlpk).

4.3 Resultados com o processo automático

Com a mudança no modo de produção, em 6 dias de processo automático, foi possível observar algumas melhorias como ganhos consideráveis de eficiência e produtividade. Quando se produzia no modo semiautomático, a produtividade e a eficiência da máquina dependia diretamente do trabalho do operador, pois era necessário que este abrisse a porta, retirasse a peça e fechasse a porta, sendo este último um comando para iniciar um novo ciclo, com isso o tempo de ciclo oscilava bastante, não conseguindo alcançar a produtividade e eficiência desejada.

Com a mudança para o processo automático, o tempo de ciclo depende exclusivamente da máquina e do deslocamento do robô, estabilizando assim o tempo de ciclo pois não há grandes variações. Assim foi possível alcançar a produtividade e eficiência desejada levando em consideração o acordo entre empresa e cliente. Foi estabelecido um acordo com o cliente

no qual o tempo de ciclo deve ser de (no máximo) 24 segundos para que alcance a quantidade solicitada, com a produção no modo semiautomático oscilava entre 40 e 45 segundos e no modo automático está em torno de 18 segundos, ou seja, com a produção automática estão sendo produzidas 400 peças por hora e com a produção no modo semiautomático estavam sendo produzidas em torno de 200 peças por hora, como pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 – Produção no modo semiautomático e automático

	Semiautomático	Automático
Tempo de ciclo	40 seg.	18 seg.
Quantidade peças/hora	200	400

Fonte: Do autor (2020).

É possível observar que houve um aumento de 100% na quantidade de peças produzidas por hora, devido à redução de mais de 50% do tempo de ciclo. Vale ressaltar que a Tabela 9 leva em consideração a produção das peças com duas cavidades do molde.

Segundo ponto a ser destacado, é a redução da quantidade de refugos, houve diminuição da quantidade de peças que ficam presas no molde ou qualquer outro tipo de refugo, em destaque a redução da quantidade de peças danificadas devido à forma como elas eram manuseadas pelo operador, pois com a mudança no processo o operador não precisa retirar a peça quente do molde, assim cessando a produção desse tipo de refugo.

Com o processo mais fluido e com a padronização do tempo de ciclo, reduziu-se a ocorrência de degradação do material no canhão de injeção, sendo que este era o principal motivo da grande quantidade de refugos gerados, cerca de 40% dos refugos semanais dessa peça eram por esse motivo. A matéria prima utilizada na produção do corpo da tela é muito delicada e no com a grande oscilação do tempo de ciclo, no modo semiautomático, quando se estendia esse tempo acontecia a degradação do material e conseqüentemente, a produção de peças ruins (refugo). Ocorrendo a degradação do material, este demora a voltar ao normal e assim gera cada vez mais refugo. Durante a primeira semana com o processo automático, dos refugos gerados, cerca de 10% foi devido a degradação do material, como pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 – Relação dos tipos de refugos.

Refugos	Semiautomático	Automático
Degradação do material	40%	10%
Manuseio do operador	30%	0%

Fonte: Do autor (2020).

Levando em consideração os pontos destacados anteriormente, com o processo automático a quantidade de peças refugadas diminuiu de forma expressiva e isso acarretou em diversos ganhos, como por exemplo, acelerou a produção, isto é, a máquina trabalhava os três turnos para suprir à quantidade de peças solicitadas pelo cliente, que gira em torno de 3 mil peças por dia, com a alteração no processo, a máquina passou a produzir a quantidade de peças solicitadas mais rapidamente e assim, a máquina e o operador ficarão disponíveis para a produção de outras peças. Com a redução no tempo de ciclo da produção, 3 mil peças podem ser produzidas em cerca de 7 horas e meia, levando em consideração peças boas e refugos. Com o processo semiautomático, a mesma quantidade de peças era produzida com o dobro do tempo, cerca de 15 horas, levando em consideração peças boas e refugos.

Outro ponto de destaque está relacionado à melhoria ergonômica, pois com o processo semiautomático o operador trabalhava em pé e deveria abrir a porta da máquina, retirar as peças, fechar a máquina e retrabalhar as peças necessárias. Com o processo automático este passou a trabalhar sentado, precisando fazer apenas a inspeção das peças a fim de observar alguma anormalidade e se necessário, retrabalha-las.

Diante das melhorias já citadas, outra de grande significância é a melhoria na qualidade das peças, e embora seja recente a instalação deste robô, é possível prever que a quantidade de peças solicitadas pelo cliente serão entregues dentro do prazo estabelecido pelo mesmo, sendo que este era um grande desafio para a empresa.

Como essa instalação é recente, há mudanças que ainda são esperadas, como por exemplo, uma redução em torno dos 65% do número de vezes que o molde é levado à ferramentaria para manutenção. Com o processo semiautomático o molde precisava de manutenção sempre pelos mesmos motivos, cavidades amassadas, sistema de extração agarrando ou quebra do molde, então, com a mudança no modo de produção espera-se a redução desses tipos de ocorrências, como pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11 – Relação dos tipos de refugos.

	jul/20 - semi	Esperado
Molde na ferramentaria	9 vezes	3 vezes

Fonte: Do autor (2020).

No mês de julho de 2020, em 19 dias produzindo em modo semiautomático, o molde do corpo da tela foi levado para manutenção 9 vezes, então espera-se que com a produção automática, nos meses seguintes haja uma redução em torno dos 65% desse número.

Por fim, outro ponto que vale ser destacado é que, devido ao fato desse projeto ter sido desenvolvido com materiais que a empresa já possuía, sendo a maioria deles reutilizados, a vida útil desse robô é menor do que se fosse utilizado materiais novos. Pelo fato de que este projeto foi desenvolvido sem nenhum recurso financeiro por parte da empresa e que com seu pouco tempo de utilização vem dando resultados positivos, foi feita uma pesquisa de mercado a fim de comparar financeiramente a viabilidade da construção deste robô com materiais novos ou então a compra de um manipulador simples.

Esse estudo foi feito pesquisando em dois os três sites cada material e assim feito uma média para fazer o cálculo do valor final do projeto em si. Assim sendo, a construção de um robô igual ao desenvolvido neste trabalho, no entanto com peças novas, deve custar em torno de R\$ 4.000,00. Já a compra de um robô simples para ser adaptado ao processo em questão tem seu valor variante dependendo da marca dele, mas com as pesquisas feitas a compra de um manipulador apresenta um custo de aproximadamente R\$ 25.000,00.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um robô manipulador cartesiano com dois graus de liberdade para uma máquina injetora Haitian de 86 toneladas, na empresa Plascar LTDA, em Varginha.

No decorrer do desenvolvimento desse projeto foram executadas simulações e cálculos no ambiente virtual Matlab, a fim de obter resultados da cinemática do robô, foi elaborado um croqui do projeto por meio do TopSolid, com o diagrama Ladder do CLP, foram realizados testes no ambiente virtual LogixPro para dinamizar o estudo e conferir o funcionamento da lógica desenvolvida e foram desenvolvidos diagramas elétricos pelo software CAdE SIMU. Em termos de simulações dos processos, conseguiu-se resultados satisfatórios e como o pretendido.

Quando se refere ao projeto em atuação, isto é, o trabalho do robô na máquina, conclui-se que mesmo sendo recente a instalação do dispositivo no molde, já foi possível obter resultados satisfatórios e que estão de acordo com o esperado. Em relação à eficiência e produtividade, a implementação do projeto resultou em ganhos significativos. A redução no tempo de ciclo em cerca de 22 segundos representa 55% de ganho em relação ao processo semiautomático, e em consequência dessa redução, houve aumento na quantidade de peças produzidas por hora, passando de uma produção média de 200 peças/hora com o processo semiautomático, para aproximadamente 400 peças/hora com o processo automático, representando assim um ganho de 100%. Houve também, redução da quantidade de refugos diários, cerca de 50%, e do desperdício de materiais, assim, reduzindo custos. Obteve também melhorias ergonômicas, reduzindo a exposição humana na área de fechamento do molde durante a produção, evitando também o toque em áreas aquecidas do molde e é previsto a possibilidade de poder entregar para o cliente a quantidade de peças solicitadas dentro do prazo estabelecido.

Em termos de trabalho futuro segue-se o desenvolvimento de uma comunicação interfaceada a Euromap 12 sendo essa uma norma que deve ser fielmente seguida pelas máquinas do setor termoplástico e a máquina em questão não possui essa interface. Outra possibilidade de desenvolvimento de uma bandeja onde o dispositivo possa soltar as peças, pois atualmente elas são soltas em uma bandeja de papelão improvisada.

REFERÊNCIAS

- ABIPLAST. Associação brasileira da indústria do plástico. **Perfil 2018**. 2018. Disponível em: < <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/08/perfil-2018-web.pdf> >. Acesso em: 25 mar. 2020.
- BOMFIM, M. H.S. **Remanufatura de manipuladores robóticos industriais utilizando arquitetura aberta**. 2013. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2013.
- CARRARA, V. **Introdução a Robótica Industrial**. 2015. 101 p. Apostila. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 2015.
- CARVALHO, J. S. F. **Controle adaptativo aplicado em um robô manipulador de dois graus de liberdade planar**. 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2009.
- CRUZ, F. P. **Automação de uma injetora de plástico** 2012. 80 p. Monografia (Graduação em Mecatrônica). UniSALECIANO. Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium. Araçatuba. 2012.
- DA SILVA, E. A. F. **Implantação de robô manipulador para máquina de injeção plástica em uma indústria de eletrodomésticos**. 2015. 45 p. Monografia (Especialização em Automação controle e robótica). Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. Salvador. 2015.
- DIEGO Z F. **Os robôs e a indústria do plástico**. Blog Zurich Termoplásticos. 07 de fev. de 2017. Disponível em: <<https://www.injecaoedepasticos.com.br/industria-do-plastico-7/>>. Acesso em 23 mar. 2020.
- EUROMAP 12 Version 1.7, may 2015. **Electrical Interface between Injection Moulding Machine and Handling Device**. 10 p.
- EUROMAP. **Who we are and what we do**. 2016. Disponível em: < http://www.euromap.org/files/EUROMAP_Who%20we%20are%20and%20what%20we%20do.pdf >. Acesso em: 29 jun. 2020.
- HAITIAN GROUP. **User's Manual: Plastic Injection Molding Machine HTF86X**. 346 p.
- LOPES, A. M. **Modelação Cinemática e Dinâmica de Manipuladores de Estrutura em Série**. 2002. 101 p. Dissertação (Mestrado em Automação, Instrumentação e Controle). Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 2002.
- MUDESTO, R. L. P. **Desenvolvimento de um teste set para simulação dos sinais de máquinas injetoras e robôs manipuladores com interfaceamento EUROMAP 12**. 2017. 70 p. Monografia (Graduação Lato Sensu em Engenharia de Processos Industriais Automatizados). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Varginha. 2017.

NR-12 - NBR13536. **Segurança de máquinas — Máquinas injetoras de plásticos e borracha.** 06/2016.

PLASCAR – COMPONENTES PLÁSTICOS. **Manual Injetora 21.** 2020. 25 p.

PLASCAR – COMPONENTES PLÁSTICOS. **Conheça a Plascar.** 2020. Disponível em: < <http://www.plascargroup.com/conheca-a-plascar/> >. Acesso em: 20 de jun. 2020.

REDEL, R., HOUSELL, M. S. **Implementação de Simuladores de Robôs com o Uso da Tecnologia de Realidade Virtual.** In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO, Joinville, p. 396-401, 2004.

RIBEIRO, L. S. **Evolução tecnológica e automação das máquinas injetoras.** 2009. 78 p. Monografia (Tecnólogo em Produção). Centro Paula Souza. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste. São Paulo. 2009.

SMANIOTTO, E. J. **Robótica reduz tempo de produção na indústria do plástico.** 2018. Disponível em: <<https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/gest-o/rob-tica-reduz-tempo-de-produ-o-na-ind-stria-do-pl-stico>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

TORRES, J. **Prevenção de Acidentes em Máquinas Injetoras de Plásticos.** 2007. 20 p. Dossiê técnico. SENAI-RS Nilo Bettanin. 2007.

ANEXO 1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MÁQUINAS INJETORAS

As máquinas consistem de quatro partes fundamentais que são a unidade de injeção, unidade de fechamento, acionamento hidráulico e sistema de controle eletromecânico da máquina (CRUZ, 2012).

1 Unidade de injeção

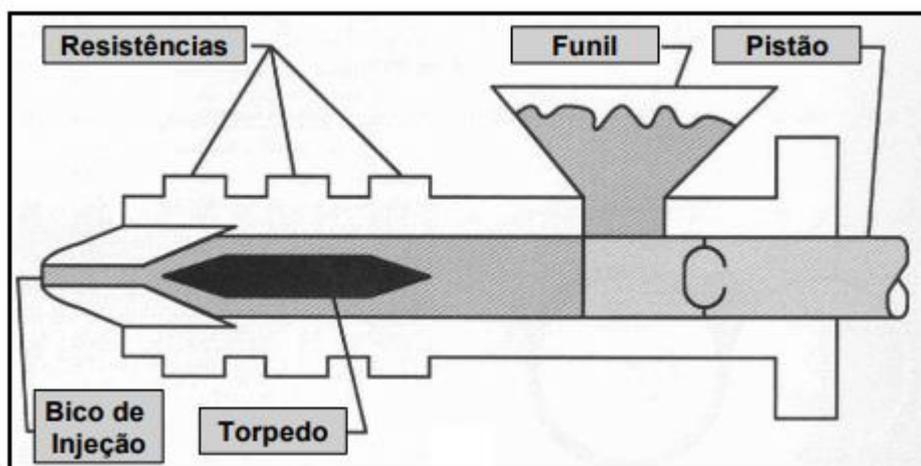
Essa unidade recebe o material e transporta-os até o interior do molde. Suas principais funções são:

- Realizar movimento em sua base permitindo movimentos de avanço e recuo;
- Realizar pressão de contato entre o bico e o molde;
- Realizar o movimento de rotação da rosca sem fim permitindo a dosagem do material;
- Realizar movimento de avanço da rosca sem fim durante a fase injeção;
- Realizar movimento de retorno da rosca sem fim durante a fase de descompressão;

A unidade de injeção é dividida em dois tipos:

a) Máquina tipo pistão

Figura 38 - Conjunto de injeção por êmbolo.



Fonte: Torres (2007)

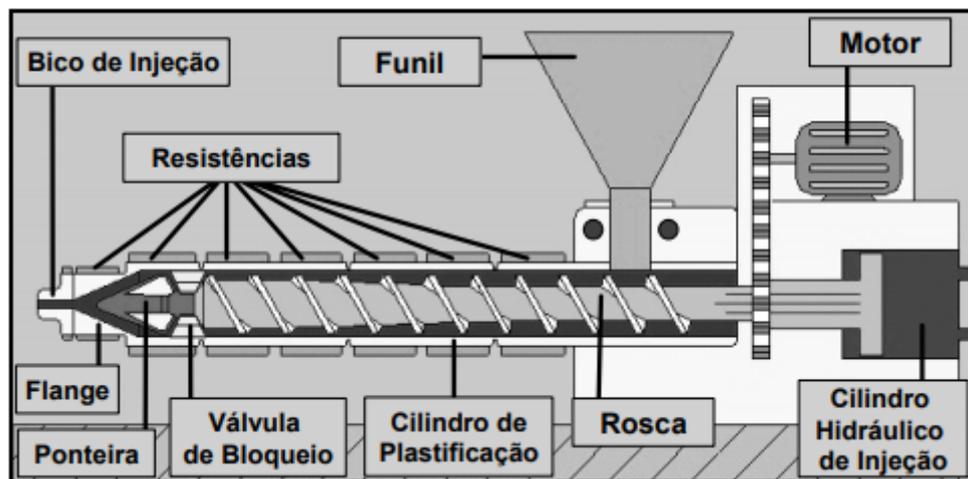
O conjunto de injeção tipo pistão é constituído por um pistão (ênbolo) simples, acionado pelo sistema hidráulico, que desloca o material plástico através de um cilindro

previamente aquecido por resistências elétricas. A plastificação é realizada em um cilindro com torpedo interno, o torpedo é responsável por homogeneizar o material, e a injeção do material plástico ocorre por intermédio de um pistão (Figura 38).

b) Máquina tipo rosca

A máquina tipo rosca possui uma rosca sem fim que tem a função de plastificar e homogeneizar o material, executando um movimento rotativo, enquanto que para injetar o material executa com um movimento retilíneo (CRUZ, 2012).

Figura 39 - Conjunto de injeção por rosca.



Fonte: Torres (2007)

A plastificação é realizada em um cilindro com rosca uma rosca que tem a função de transportar, homogeneizar e injetar o material plástico (Figura 39).

2 Unidade de fechamento

Essa unidade realiza o fechamento do molde.

A força de fechamento é obtida através de um dos sistemas a seguir: mecânico, hidráulico de pistão e sistema hidráulico–mecânico.

a) Mecânico.

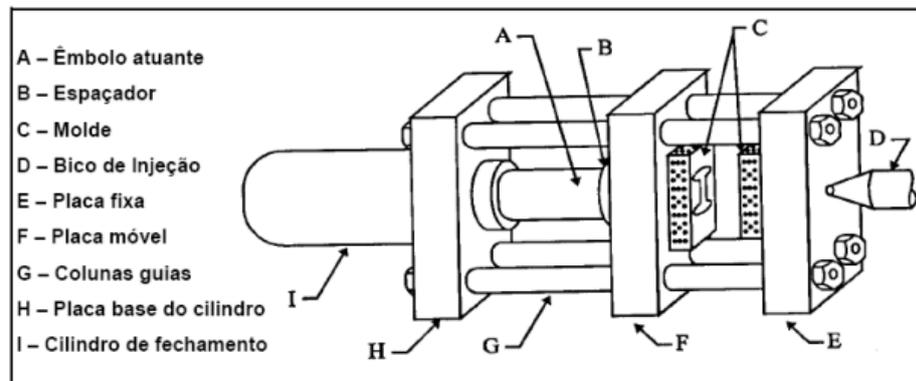
O sistema mecânico funciona com alavancas ligadas em dois braços, estes são acionados manualmente e transmitem a força para as alavancas, essas se deslocam abrindo ou fechando o

molde de acordo com o movimento (CRUZ, 2012). É um sistema antigo, seus movimentos dependem do operador, sendo assim utilizado para pequenas produções.

b) Hidráulico de Pistão

Nesse sistema, a abertura e fechamento do molde são realizados por um pistão hidráulico de grande área. A força de fechamento é obtida pela pressão do óleo, ou seja, quanto maior a pressão, maior será a força aplicada no molde (TORRES, 2007). Se houver algum vazamento no sistema de fechamento, haverá perda de pressão, diminuindo assim a força de fechamento, e ocasionando rebarbas na peça injetada (Figura 40).

Figura 40 - Unidade de fechamento hidráulico de pistão.



Fonte: Torres (2007)

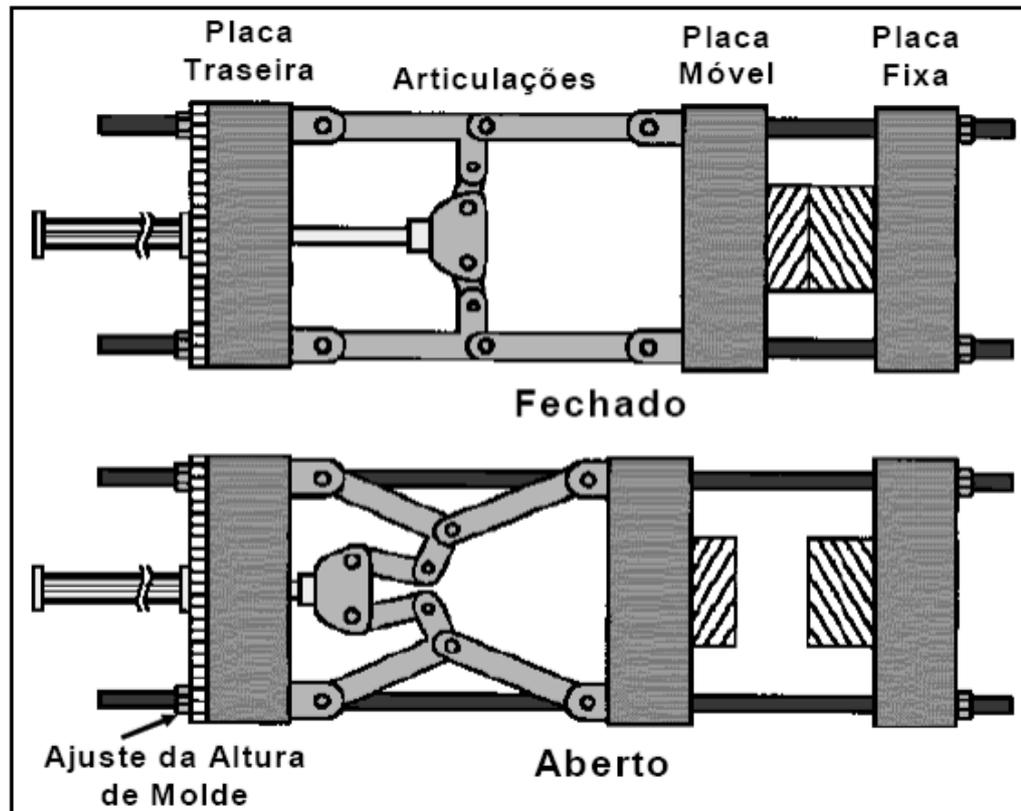
c) Sistema Hidráulico - Mecânico

A maioria dos fabricantes de máquinas injetoras utilizam esse sistema de fechamento. É composto por um cilindro e um pistão hidráulico de área bem reduzida, em relação ao sistema com pistão, estes estão ligados a um sistema de articulações que irá movimentar a placa móvel, fechando ou abrindo o molde (Figura 41).

d) Acionamento hidráulico

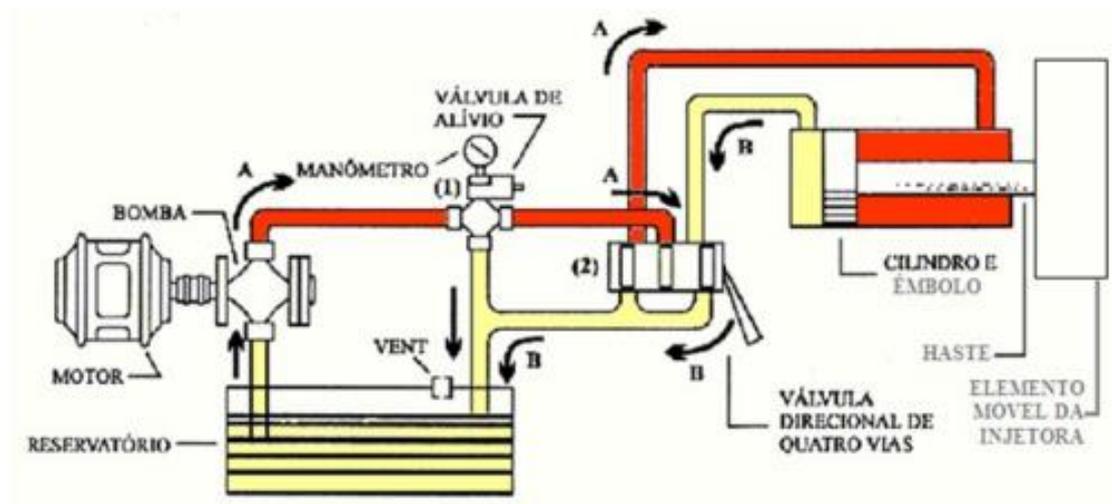
O sistema hidráulico tem a função de transformar energia hidráulica em energia mecânica e transmiti-la através do sistema em pontos e tempos diferentes, para efetuar movimentos (Figura 42).

Figura 41 - Sistema Hidráulico Mecânico.



Fonte: Torres (2007)

Figura 42 - Sistema Hidráulico



Fonte: Ribeiro (2019)

3 Sistema de acionamento e controle da máquina

O sistema de acionamento e controle da máquina é conectado a rede elétrica, sendo ele o responsável por acionar e controlar os elementos que compõem a máquina.

O painel elétrico é fixado na máquina e nele são fixadas contadores, relés, disjuntores, fonte, e todo o sistema de controle da máquina, CPU do PLC, cartões de entrada/saída, etc.

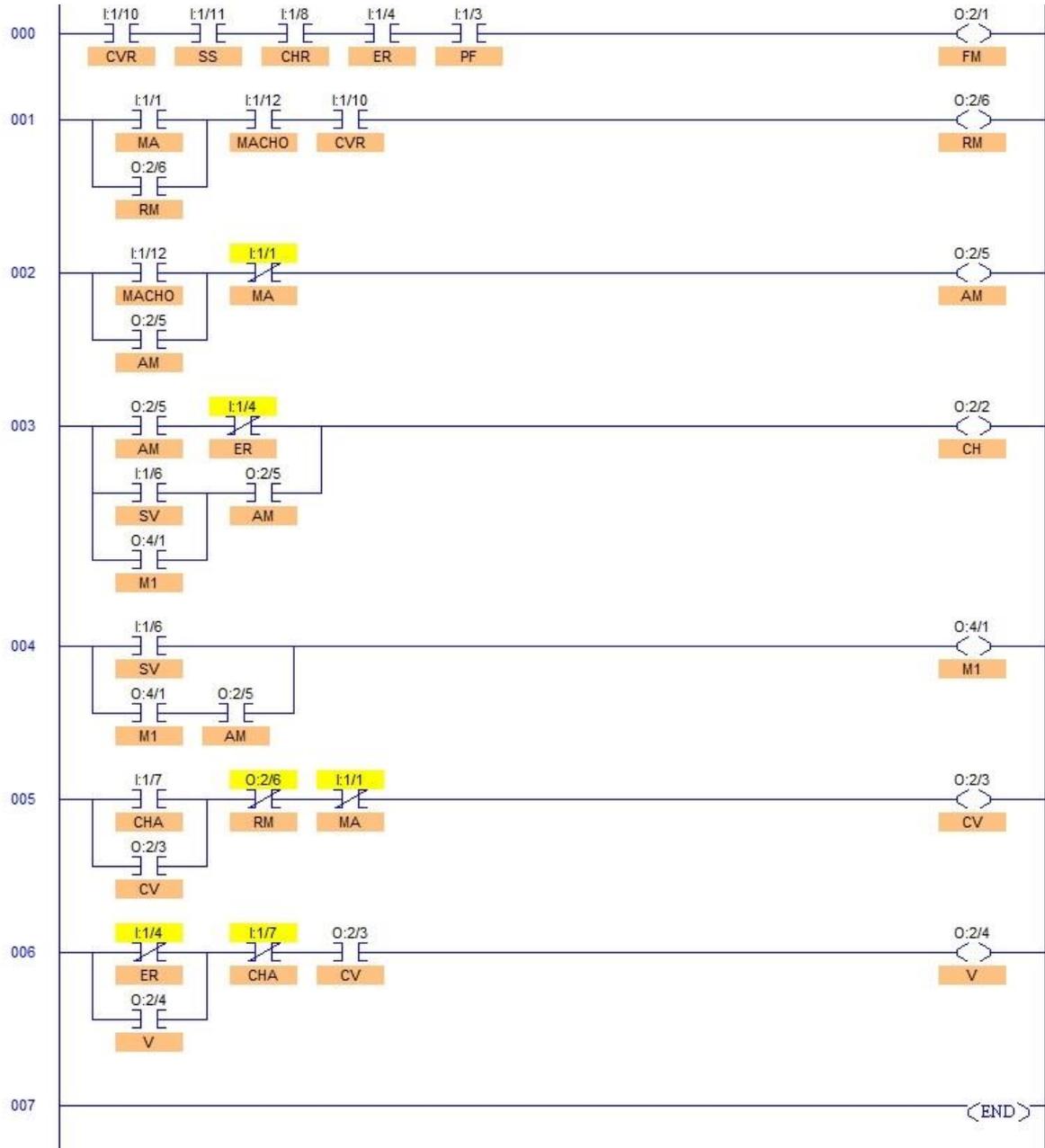
4 Ciclos de injeção de uma máquina injetora

O processo de injeção é executado em fases que se repete a cada ciclo. As fases em ordem de execução são:

- **Plastificação:** fase responsável por tornar o material plástico capaz de se conformar.
- **Preenchimento:** esta fase faz com que o material preencha todas as cavidades do molde.
- **Pressurização e recalque:** fase responsável por comprimir o material e manter a pressão para que o material chegue na densidade e forma correta.
- **Resfriamento:** fase responsável pela solidificação do material dentro molde, e a estabilização da forma adquirida no recalque.
- **Extração:** fase que promove a retirada da peça injetada, a extração pode ocorrer manualmente ou automaticamente por dispositivos quando o molde estiver aberto.

ANEXO 4 – DIAGRAMA LADDER E DIAGRAMA DE CIRCUITO

- Diagrama Ladder



- Diagrama de circuito:

$$I_{10} \text{ ----- } I_{11} \text{ ----- } I_8 \text{ ----- } M_1$$

$$M_1 \text{ ----- } I_4 \text{ ----- } I_3 \text{ ----- } Q_1$$

$$I_1 \text{ ----- } I_{12} \text{ ----- } I_{10} \text{ ----- } Q_6$$

$$Q_6 \text{ -----}$$

$$I_{12} \text{ ----- } \bar{I}_1 \text{ ----- } Q_5$$

$$Q_5 \text{ -----}$$

$$Q_5 \text{ ----- } \bar{I}_4 \text{ ----- } Q_2$$

$$I_6 \text{ ----- } Q_5 \text{ -----}$$

$$M_2 \text{ -----}$$

$$I_6 \text{ ----- } M_2$$

$$M_2 \text{ ----- } Q_5 \text{ -----}$$

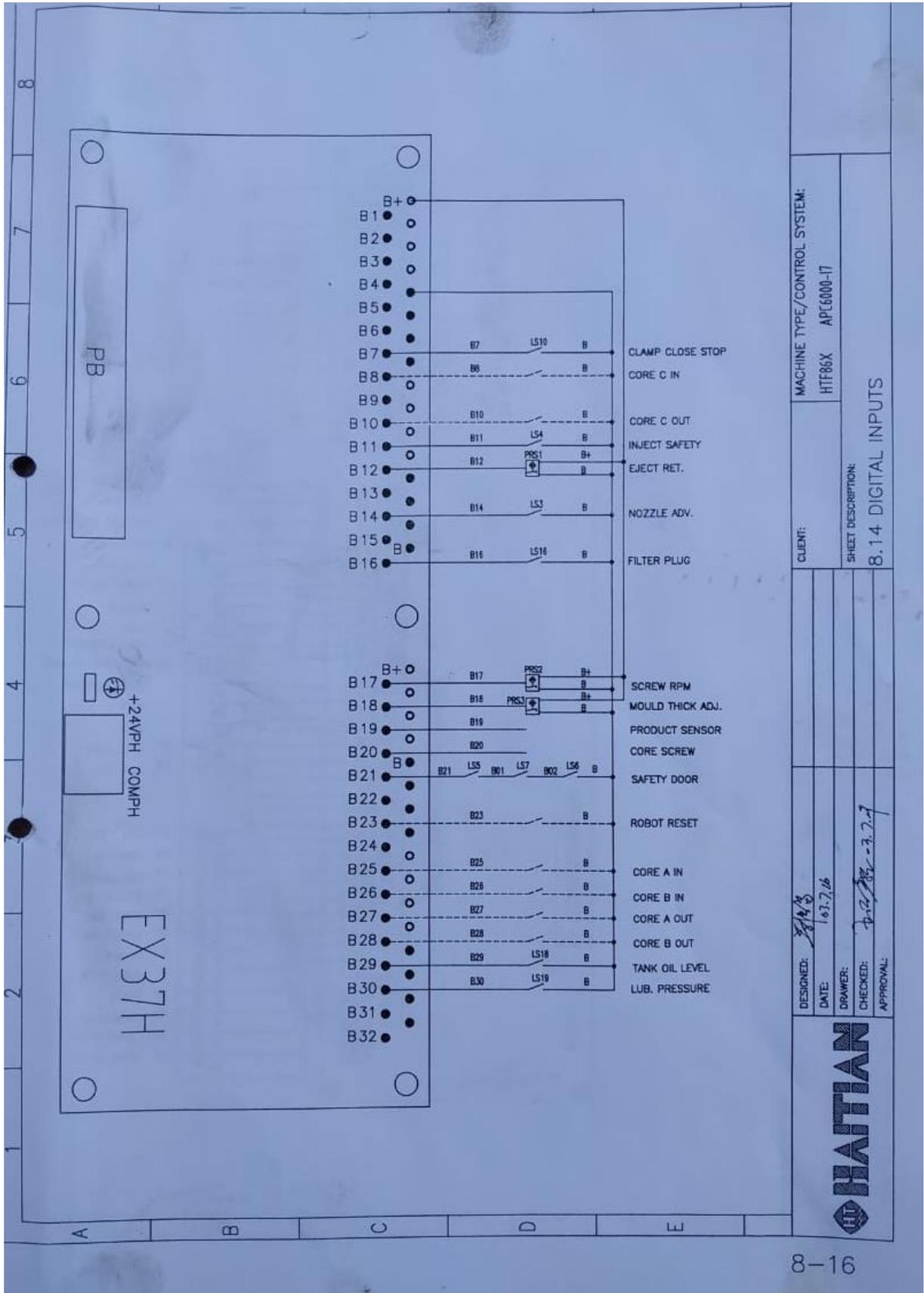
$$I_7 \text{ ----- } \bar{Q}_6 \text{ ----- } \bar{I}_1 \text{ ----- } Q_3$$

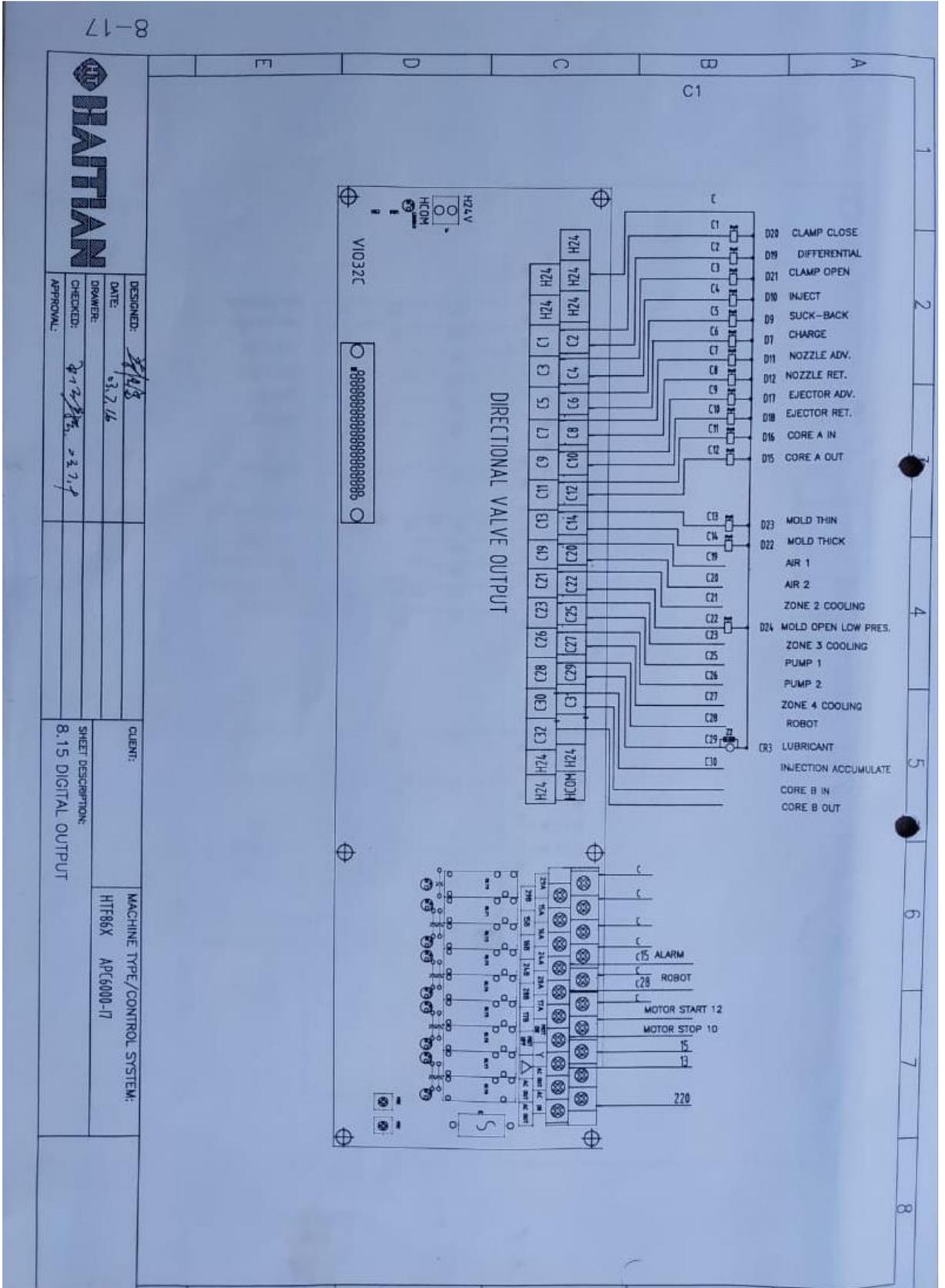
$$Q_3 \text{ -----}$$

$$\bar{I}_4 \text{ ----- } \bar{I}_7 \text{ ----- } Q_3 \text{ ----- } Q_4$$

$$Q_4 \text{ -----}$$

ANEXO 5 – MANUAL MÁQUINA 21 HAITIAN, ESQUEMA ELÉTRICO DO CLP DA MÁQUINA COM SUAS ENTRADAS E SAÍDAS





HATIAN

DESIGNED: *[Signature]*
 DATE: 03.27.16
 DRAWER:
 CHECKED: *[Signature]*
 APPROVAL:

CLIENT:
 SHEET DESCRIPTION:
 8.15 DIGITAL OUTPUT

MACHINE TYPE/CONTROL SYSTEM:
 HTF86X AP6000-17

8-17

ANEXO 6 – CÓDIGO MATLAB

```

% Primeiro, a função Link é usada para criar cada elo.

% Os parâmetros da função Link são exatamente os parâmetros
% de Denavit-Hartenberg do elo em questão, nesta ordem:
% theta = ângulo da junta (rad)
% d = deslocamento do elo (m)
% a = comprimento do elo (m)
% alpha = torção do elo (rad)
% sigma = tipo de junta (0: rotativa ou 1: prismática)

L(1) = Link([0 0 0 pi/2 1]);
L(2) = Link([0 0 0 pi/2 1]);

%Para um dado ângulo das juntas, pode-se determinar a matriz de
transformação de link
L(1).A(16)
L(2).A(30)

% Em seguida, a função SerialLink cria o robô
% utilizando os elos criados anteriormente.

robo = SerialLink(L, 'name', 'Robô')
%pause;

% A função fkine permite obter a matriz de transformação
% homogênea que relaciona o referencial da base com o do
% efetuador (cinemática direta) para uma dada configuração.

disp('Variáveis de juntas:');
q0 = [95 40];
q01 = [110 40];
qf = [110 250];
qf1 = [45 250];
%As medidas foram dadas em milímetros

disp('Cinematica Direta - posição normal:')
T0 = robo.fkine(q0)

```

```

disp('Cinematica Direta - cilindro horizontal avançado e o vertical
recuado:')
T1 = robo.fkine(q01)

disp('Cinematica Direta - ambos cilindros avançados:')
T2 = robo.fkine(qf)

disp('Cinematica Direta - em contato com a peça:')
T3 = robo.fkine(qf1)

%pause;

% A matriz jacobiana relaciona as velocidades das juntas com
% a velocidade espacial do efetuador. O toolbox permite obter
% o jacobiano geométrico (que considera as componentes de
% velocidade cartesiana do efetuador):

disp('Jacobiano posição normal do robô:');
J = robo.jacob0(q0)

disp('Jacobiano cilindro horizontal avançado e o vertical recuado:');
J1 = robo.jacob0(q01)

disp('Jacobiano ambos cilindros avançados:');
J1 = robo.jacob0(qf)

disp('Jacobiano na hora do contato com a peça:');
J2 = robo.jacob0(qf1)
%pause;

%Na cinemática diferencial, a relação entre as velocidades das juntas
e a velocidade do efetuador pode ser determinada na
%forma matricial pela matriz jacobiana  $J$  do manipulador, também
referenciada na literatura como Jacobiano.
%Independente do tipo de robô e do procedimento utilizado para
encontrá-la, o Jacobiano sempre irá depender da posição
% atual do robô, ou seja, das coordenadas atuais das juntas do robô.

% Finalmente, é possível calcular o índice de manipulabilidade
% deste efetuador na configuração dada:

```

```
m = sqrt(det(J*J'))
```

% A manipulabilidade é uma medida da capacidade do manipulador de executar determinada tarefa em uma configuração conhecida?

%cida e tem como objetivo principal caracterizar a condição cinemática de um manipulador.

```
%A função ikine é usada para computar a cinemática inversa, no entanto
%necessita ser um manipulador com 6GLD
%robo.ikine(T1,qf,M)
```

% A representação gráfica do robô para as posições articulares armazenadas no vetor q pode ser obtida com a função plot. No exemplo a seguir, uma animação é gerada a partir de uma sequência de configurações articulares:

```
tempo = 0:.1:5;
q = jtraj(q0, q01, tempo);
robo.plot(q, 'workspace', [-500,500,-500,500,-500,500] );
q = jtraj(q01, qf, tempo);
robo.plot(q, 'workspace', [-500,500,-500,500,-500,500] );
q = jtraj(qf, qf1, tempo);
robo.plot(q, 'workspace', [-500,500,-500,500,-500,500]);
q = jtraj(qf1, qf, tempo);
robo.plot(q, 'workspace', [-500,500,-500,500,-500,500]);
q = jtraj(qf, q01, tempo);
robo.plot(q, 'workspace', [-500,500,-500,500,-500,500]);
q = jtraj(q01, q0, tempo);
robo.plot(q, 'workspace', [-500,500,-500,500,-500,500]);
```

CARTA DE AUTORIZAÇÃO

Eu, **Rullyan Marques Vieira**, **Gerente de Manutenção**, tenho ciência e autorizo a realização da pesquisa/relatório técnico intitulado como "**Desenvolvimento de um manipulador cartesiano para uma máquina injetora na empresa Plascar**" sob responsabilidade do pesquisador/discente **Otávio Vilani Andrade** na empresa **Plascar Indústria de Componentes Plásticos Ltda**, inscrita no CNPJ/MF sob o nº 50.935.576/0005-42, com sede na cidade de Varginha, Estado de MG, na Alameda do Café, 450, Industrial Reinaldo Foresti, CEP 37026-400. Para isso serão disponibilizados ao pesquisador/discente informações relacionadas à empresa em questão, como nome, localidade, produção, segmento, entre outros (*que deverão ser previamente comunicados pelo pesquisador*), sendo essas informações usadas no documento/relatório técnico elaborado pelo pesquisador/discente.

Varginha, 31 / 04 / 2020.

Rullyan Marques Vieira
GERENTE - REG.: 4399
MANUTENÇÃO/FERRAMENTARIA

Rullyan Marques Vieira
Supervisor
