

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**MARIANA VENQUIARUTI BORBA**

**PROJETO E SIMULAÇÃO DA AUTOMAÇÃO POR LINGUAGEM LADDER® DE  
MÁQUINAS INJETORAS DE PLÁSTICO**

**Alegrete  
2023**

**MARIANA VENQUIARUTI BORBA**

**PROJETO E SIMULAÇÃO DA AUTOMAÇÃO POR LINGUAGEM LADDER DE  
MÁQUINAS INJETORAS DE PLÁSTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Maurício Paz França

**Alegrete  
2023**

**MARIANA VENQUIARUTI BORBA**

**PROJETO E SIMULAÇÃO DA AUTOMAÇÃO POR LINGUAGEM LADDER DE MÁQUINAS  
INJETORAS DE PLÁSTICO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Mecânica.

Monografia defendida e aprovada em: 13 de julho de 2023.

Banca examinadora:

---

Prof. Me. Maurício Paz França  
Orientador  
(UNIPAMPA)

---

Prof. Dr. Thiago da Silveira  
(UNIPAMPA)

---

Prof. Dr. Cristian Pohl Meinhardt  
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **THIAGO DA SILVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/07/2023, às 15:31, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **CRISTIAN POHL MEINHARDT, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/07/2023, às 15:31, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **MAURICIO PAZ FRANCA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/07/2023, às 15:31, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1176048** e o código CRC **F2E10005**.

---

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço à minha família pelo apoio incondicional, pelo incentivo constante e por sempre estarem ao meu lado durante minha jornada acadêmica.

Agradeço ao Prof. Me. Maurício Paz França, cuja orientação, conhecimento e dedicação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À UNIPAMPA por todo o conhecimento adquirido, experiências enriquecedoras e oportunidades que me foram proporcionadas durante minha trajetória acadêmica.

## RESUMO

A moldagem por injeção de plásticos é um processo de fabricação versátil e eficiente, sendo o segundo processo mais usado para fabricação de produtos plásticos no Brasil durante o ano de 2021. Na moldagem por injeção o material plástico é derretido por meio do contato entre o parafuso de injeção e as paredes aquecidas do cilindro e injetado sob pressão em um molde, seguido um período do resfriamento, o produto final é extraído do molde de forma automática, a seguir o processo pode ser repetido de forma imediata. O processo de moldagem por injeção permite que se realize a produção em massa de produtos de geometria complexa e de dimensões variadas. O seguinte trabalho tem como objetivo desenvolver o projeto e simulação da automação de uma máquina injetora de plástico por meio de controladores lógicos programáveis. Foi desenvolvida a simulação do circuito hidráulico-pneumático-elétrico da máquina através do software FluidSIM®, e, com base neste, criado o programa *ladder* do circuito. Em seguida, realizou-se a simulação do projeto em uma bancada de testes com um circuito de relés e posteriormente com um CLP Festo® Compact. A programação por *ladder* demonstrou vantagens por permitir a utilização de relés internos que simplificam a montagem do sistema físico, assim como à facilidade de implementação de mudanças ao sistema por meio da mudança do código ladder. A simulação permitiu a aquisição de conhecimentos relevantes sobre automação por *ladder*.

**Palavras-Chave:** Automação industrial, Injetora de Plástico, Linguagem *Ladder*, Controladores Lógicos Programáveis.

## ABSTRACT

Plastic injection molding is a versatile and efficient manufacturing process, being the second most used process for manufacturing of plastic products in Brazil during the year of 2021. In the plastic injection molding process, the molding material is melted through friction between the screw and the heated walls of the injection cylinder, and is then injected under pressure in the mold cavity, following a period of cooling, the final product is ejected from the mold automatically, and the process can then be repeated immediately. The injection molding process allows mass production of articles of varying dimensions and geometry. The present work has as objective to develop the project and simulation of automation of a plastic injection molding machine using programmable logic controllers. The simulation of the hydraulic-pneumatic-electrical circuit of the machine was developed using the software FluidSim®, and based on the result, the ladder program for the circuit was created. Subsequently, the project was simulated on a test bench with a relay circuit, and later, with a Festo® Compact PLC. The use of ladder logic demonstrated advantages by allowing the use of internal relays that greatly simplified the assembly of the physical circuit, as well as the ease of implementing changes on the system by simply modifying the ladder code. The simulation enabled the acquisition of knowledge relevant to PLC automation using ladder logic.

**Keywords:** Industrial automation, plastic injection molding, ladder logic, programable logic controllers

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Máquina injetora Shibaura .....	11
Figura 2 - Componentes principais da máquina injetora .....	12
Figura 3 - Unidade de plastificação e injeção.....	13
Figura 4 - Representação de uma unidade de fechamento com alavanca .....	15
Figura 5 - Unidade de fechamento hidráulica.....	16
Figura 6 - Representação de uma unidade de fechamento hidráulica .....	17
Figura 7 - Ciclo de funcionamento de uma injetora de plástico .....	19
Figura 8 - (a) Injetora de multimateriais Billion. (b) Seção transversal de uma injetora de multimaterial .....	21
Figura 9 - Representação da estrutura de um CLP .....	22
Figura 10 - Fluxograma do ciclo básico de um CLP .....	25
Figura 11 - Representação da linguagem ladder .....	27
Figura 12 - Estrutura básica de um degrau .....	27
Figura 13 - Máquina Injetora Engel modelo Victory 1060/220.....	29
Figura 14 - Diagrama de uma máquina injetora hidráulica.....	29
Figura 15 - Diagrama básico do sistema hidráulico da máquina .....	30
Figura 16: Diagrama trajeto passo .....	33
Figura 17: Mapa de Karnaugh da equação S1 e S4 .....	34
Figura 18: Mapa de Karnaugh para a equação de S2.....	35
Figura 19: Mapa de Karnaugh para equação S3.....	35
Figura 20: Mapa de Karnaugh para equação S5.....	36
Figura 21: Diagrama lógico do motor hidráulico e cilindro do molde .....	37
Figura 22: Diagrama lógico do cilindro do parafuso de injeção .....	37
Figura 23: Diagrama lógico do cilindro do carro da unidade de injeção .....	38
Figura 24: Diagrama lógico do cilindro de ejeção.....	38
Figura 25: Circuito hidráulico da máquina .....	39
Figura 26: Circuito eletro-hidráulico.....	40
Figura 27: Código Ladder.....	40
Figura 28: Circuito com conexão easyport .....	41
Figura 29: Teste em bancada do circuito eletropneumático com relés .....	42
Figura 30: Teste em bancada com CLP .....	43



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação lógica das entradas .....	32
Tabela 2: Relação lógica das saídas.....	32

## LISTA DE SIGLAS

CLP – Controlador Lógico Programável

CPU – *Central Processing Unit*

FST – *Festo® Software Tools*

I/O – *Input/Output*

IEC - *International Electrotechnical Commission*

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	8
1.1.	DEFINIÇÃO DO TEMA .....	8
1.2.	OBJETIVOS .....	8
1.3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
2.	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA .....	10
2.1.	MÁQUINA INJETORA DE PLÁSTICO .....	10
2.1.1.	COMPONENTES DA MÁQUINA INJETORA .....	12
2.1.2.	UNIDADE DE PLASTIFICAÇÃO/INJEÇÃO .....	12
2.1.2.1.	UNIDADE DE FECHAMENTO .....	14
2.1.2.2.	UNIDADE DE COMANDO E ACIONAMENTO .....	17
2.1.3.	CICLO DE INJEÇÃO.....	18
2.1.4.	ORIENTAÇÃO DA MÁQUINA INJETORA .....	20
2.1.5.	MÉTODOS ESPECIAIS DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO.....	20
2.2.	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS.....	21
2.2.1.	COMPONENTES DO CLP .....	22
2.2.1.1.	UNIDADE CENTRAL DE PROCESSAMENTO .....	23
2.2.1.2.	PONTOS DE ENTRADA/SAÍDA.....	23
2.2.1.3.	FONTE DE ALIMENTAÇÃO .....	24
2.2.1.4.	BASE .....	24
2.2.2.	TIPOS DE CLPS .....	24
2.2.3.	OPERAÇÃO DO CLP .....	24
2.2.4.	LINGUAGEM LADDER.....	26
3.	METODOLOGIA .....	28
3.1.	REALIZAÇÃO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....	28

3.2.	DEFINIÇÕES GERAIS DA MÁQUINA.....	28
3.3.	SIMULAÇÃO DO CIRCUITO ATRAVÉS DO SOFTWARE FLUIDSIM.....	30
3.4.	CRIAÇÃO DO PROGRAMA LADDER .....	30
3.5.	TESTE EM BANCADA.....	31
4.	RESULTADOS.....	32
4.1.	TABELA DE CORRESPONDÊNCIA LÓGICA .....	32
4.2.	DIAGRAMA TRAJETO-PASSO .....	32
4.3.	EQUAÇÕES BOOLEANAS .....	33
4.4.	DIAGRAMAS LÓGICOS.....	36
4.5.	CIRCUITO ELETRO-HIDRÁULICO .....	38
4.6.	LÓGICA <i>LADDER</i> .....	40
4.7.	SIMULAÇÃO ATRAVÉS DO SOFTWARE MASTERTOOL® .....	41
4.8.	TESTE EM BANCADA.....	42
5.	CONCLUSÕES .....	44
	REFERÊNCIAS.....	45
	APÊNDICE A – TABELA VERDADE .....	46
	APÊNDICE B – CÓDIGO LADDER DO SOFTWARE MASTERTOOL® .....	48
	APÊNDICE C – CÓDIGO LADDER DO SOFTWARE FST .....	51

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Definição do tema

O processo de moldagem por injeção plástica é um dos métodos mais usados para a transformação de produtos plásticos. Segundo o estudo produzido pela Abiplast (2021) com base em dados do IBGE, a injeção plástica foi o segundo método mais usado no Brasil no ano de 2021, ficando atrás apenas da moldagem por extrusão, sendo responsável por quase metade do mercado de plástico. Os produtos fabricados por injeção plástica podem ser encontrados em várias indústrias, tais como a automobilística, aeroespacial e médica. Diferentes tipos de materiais podem ser moldados por injeção, como termoplásticos, durômeros e elastômeros.

A moldagem por injeção é um processo versátil, sendo empregado para a fabricação de artigos de diversos tamanhos e de geometrias complexas. Trata-se de um processo que pode ser automatizado, especialmente para a injeção de termoplásticos. Michaeli et al. (1995) afirma que a moldagem por injeção é naturalmente voltada à produção em massa, devido em grande parte à transformação do material ocorrer em uma única etapa, sendo que a matéria prima passa rapidamente à produto final, assim como a facilidade de automatização do processo.

Na automação das máquinas injetoras utiliza-se controladores lógicos programáveis (CLPs), como é usual no meio industrial. A programação do CLP é realizada através da linguagem *ladder*, que é uma lógica de programação baseada na lógica de relés. A linguagem ladder se diferencia por ser bastante visual e intuitiva, que permite uma maior facilidade de compreensão do funcionamento do processo. A programação por ladder é especialmente eficiente quando se trata com o controle de comandos sequencias e comutações de dispositivos como é o caso de máquinas injetoras de plástico.

### 1.2. Objetivos

Como objetivo geral, este trabalho visa desenvolver a automação e simulação de uma máquina injetora de plástico.

### 1.3. Objetivos específicos

Como objetivos específicos, apresenta-se:

- I. Simulação do circuito por meio do software FluidSim®;
- II. Criar a simulação através de linguagem *Ladder*;
- III. Realizar a simulação do circuito em bancada de testes.

## 2. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Máquina Injetora de Plástico

A moldagem por injeção é uma das tecnologias mais utilizadas para o processamento de materiais poliméricos, sendo possível produzir artigos de vários tamanhos e formatos. Como já mencionado, a moldagem por injeção foi o segundo método mais empregado na fabricação de componentes plásticos durante o ano de 2021 no Brasil. Yang et al. (2016) cita as altas taxas de produção, custo efetivo e habilidade de reprodução com alta precisão de artigos de geometria complexa como principais características de destaque do processo de moldagem por injeção.

A primeira máquina injetora de plástico foi patenteada por John Wesley Hyatt em 1872. A máquina de Hyatt possuía um pistão de simples ação que empurrava o material plástico através do barril aquecido. Em 1951, William H. Willert desenvolveu uma máquina injetora com um parafuso (ou rosca) no lugar do pistão. O parafuso age como êmbolo de injeção, e garante que exista uma plastificação uniforme do material de injeção promovendo assim uma melhor homogeneização do mesmo. Deste modo o parafuso previne um problema comum às máquinas de pistão, que apresentavam maior índice de plastificação do material mais próximo às paredes do cilindro enquanto que o material no centro não era derretido suficientemente. Por esta razão, os êmbolos de pistão entraram em desuso, a favor dos êmbolos de parafuso.

As máquinas injetoras atuais passaram por avanços significativos no controle e monitoramento do processo de injeção, principalmente quanto aos movimentos do molde e remoção do produto final do mesmo. (YANG et al., 2016) Na figura 1 ilustra-se um modelo de uma máquina injetora atual da empresa Shibaura.

Figura 1 - Máquina injetora Shibaura



Fonte: Shibaura Machine Company

Mesmo com os avanços feitos ao longo dos anos, o ciclo básico de funcionamento das máquinas injetoras não sofreu mudanças significativas. Primeiramente, o material de moldagem, em forma de grânulos, é alimentado utilizando um funil conectado a um barril aquecido. O material é plastificado e injetado em um molde, onde esfria e endurece, tomando o formato do molde. (LAMB, 2015) O processo de funcionamento da máquina é tratado na seção 2.1.2.

A matéria prima mais comum utilizada no processo de injeção são os termoplásticos, entretanto, elastômeros e durômeros também podem ser usados. No entanto, segundo Michaeli et al. (2001), há uma diferença fundamental entre o processo de moldagem de termoplásticos e elastômeros/durômeros. Na injeção de termoplásticos, o material deve ser resfriado para que endureça e tome o formato do molde. Assim, faz-se uso de canais de resfriamento no entorno do molde, por onde a água passa com o objetivo de resfriar o material dentro da cavidade do molde. Os materiais termofixos, por outro lado, se solidificam através de um processo chamado reticulação. Calor é necessário para que ocorra este processo, assim, o molde deve ser aquecido em vez de resfriado.

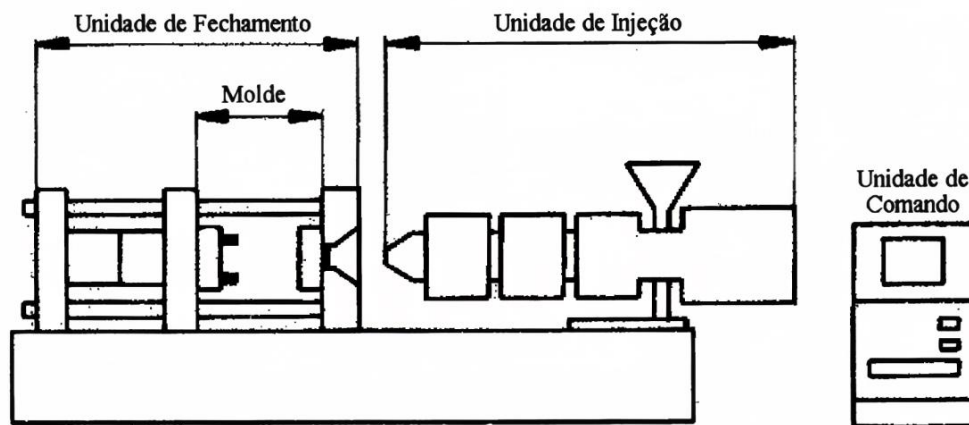
Outro aspecto importante a considerar é o molde a ser utilizado. Segundo Michaeli et al. (1995), o uso de moldes de boa qualidade elimina o surgimento de rebarbas no produto final, diminuindo significativamente o retrabalho necessário. Esta característica, juntamente com a possibilidade de automação total do processo e a facilidade de reprodução de geometrias complexas, torna as máquinas injetoras um dos principais processos de processamento de plástico. Estas máquinas correspondem a cerca de 60% das máquinas voltadas para o processamento de plástico.



### 2.1.1. Componentes da Máquina Injetora

Michaeli et al. (2001) considera que as máquinas injetoras possuem três componentes principais: a unidade de plastificação/injeção, a unidade de fechamento e o sistema de controle hidráulico e elétrico ou unidade de comando, como apresenta a figura 2. O molde geralmente não é considerado como sendo parte da máquina em si.

Figura 2 - Componentes principais da máquina injetora



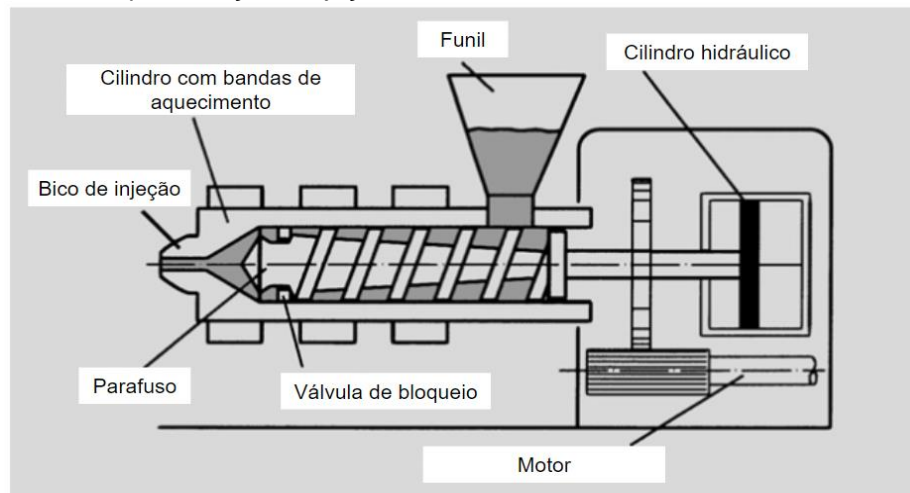
Fonte: Michaeli et al. (1995)

### 2.1.2. Unidade de Plastificação/Injeção

É na unidade de plastificação e injeção que ocorre a plastificação do material e a injeção no molde. O ato de plastificar nada mais é que o derretimento do material plástico de modo que o mesmo possa ser conformado. Como mostra a figura 3, a unidade de injeção é composta por um parafuso (também chamado de rosca de plastificação), embutido dentro de um cilindro (também referido como barril) que é aquecido por bandas de aquecimento. O processo de plastificação começa com o material de injeção, em formas de grânulos, sendo depositado no funil, que por sua vez alimenta o material ao cilindro. O parafuso é o elemento responsável pelo transporte do material através do cilindro promovendo o derretimento do material

através do atrito com as paredes aquecidas do cilindro. O material derretido é depositado na câmara de injeção e é então injetado na cavidade do molde pelo bico de injeção. (MICHAELI et al., 2001)

Figura 3 - Unidade de plastificação e injeção



Fonte: Adaptado de Michaeli et al. (2001)

Segundo Ribeiro (2009), o parafuso deve realizar não só um movimento de rotação, mas também de translação na direção de seu eixo. Este movimento de translação ocorre no momento da injeção, e não é acompanhado por movimentos rotativos do parafuso. Desta forma, o parafuso deve atuar como um pistão para realizar o transporte do material de injeção, realizando um movimento de avanço e recuo. Quando o parafuso recua realiza a dosagem (alimentação de novo material a partir do funil), quando avança injeta material no molde. O movimento de rotação, por sua vez, tem como função principal promover o contato do material com o barril, garantindo a plastificação homogênea do material.

O movimento de translação do parafuso também auxilia em garantir a velocidade correta de injeção do material. Como descrito por Michaeli et al. (2001), o parafuso deve ser capaz de ser movido para frente e para trás em alta velocidade, de modo que a injeção do material no molde ocorra com velocidade elevada, isso garante que o plástico não se solidifique ao entrar em contato com o molde frio. No entanto, é

importante que a temperatura e a velocidade sejam controladas de forma a não submeter o molde e o produto moldado a estresses excessivos.

Ao realizar a injeção do material plástico no molde sob alta pressão, há a possibilidade de que resquícios do material voltem pelo canal de injeção. Este efeito é altamente indesejado. Visando que se previna isto de acontecer, emprega-se uma válvula de bloqueio na ponta do parafuso. Quando a pressão no parafuso é maior, a válvula permite a passagem de material. No momento em que a pressão se inverte, a válvula fecha a passagem de material. (MICHAELI ET AL.,2001)

### **2.1.2.1. Unidade de Fechamento**

A unidade de fechamento promove o movimento do molde e prensagem do mesmo durante a injeção, assim como a extração do produto final. É importante que a unidade de fechamento seja capaz de fechar o molde firmemente para que se previna derrames do material líquido durante o processo de injeção. Ao mesmo tempo, o sistema deve funcionar de maneira rápida e precisa. A rapidez dos elementos do sistema é um aspecto importante da máquina, visto que o processo é voltado para a produção em massa de peças. (MICHAELI ET AL, 2001)

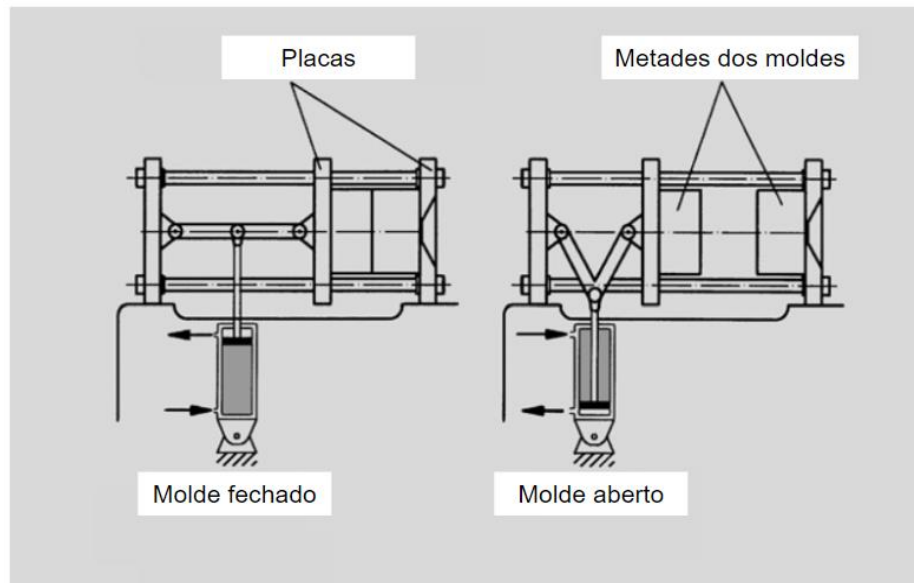
A unidade de fechamento é composta de uma placa fixa e uma placa móvel, sendo que as metades do molde são fixadas em cada placa. As placas são fixadas entre si por colunas guias. É possível posicionar as placas horizontalmente ou verticalmente, sendo que esta característica depende do tipo de máquina e seu uso. A injeção de materiais termoplásticos geralmente é feita usando uma unidade de fechamento na horizontal, pois isto permite que a peça moldada caia do molde por efeito da gravidade no final do processo. (MICHAELI ET AL., 2001)

O fechamento do molde é feito por um sistema de acionamento que pode ser hidráulico-mecânico ou puramente hidráulico. Michaeli et al. (1995) compara o sistema de acionamento a uma prensa horizontal.

Os sistemas de acionamento hidráulico-mecânico, como o mostrado na figura 4, é composto por um braço de alavanca que é movido por um pistão hidráulico. Michaeli et al. (2001) afirma que o tamanho do pistão necessário é relativamente pequeno, e uma vez que o molde é fechado e os braços de alavanca são estendidos

completamente, não é mais necessário aplicar forças sobre o sistema com o pistão. Este sistema, no entanto, está sujeito a precisar de um maior volume de manutenção devido à complexidade das articulações da alavanca. Há também risco de quebra das colunas guias e do molde pela mesma razão.

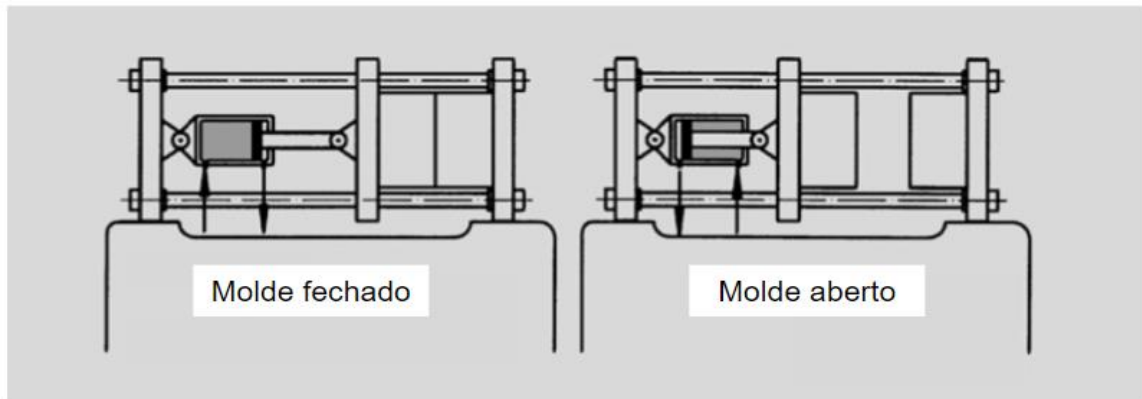
Figura 4 - Representação de uma unidade de fechamento com alavanca



Fonte: Adaptado de Michaeli et al. (2001)

Uma alternativa ao sistema de alavancas, é o acionamento puramente hidráulico do molde, como o mostrado na figura 5. Neste sistema, o movimento do molde é realizado diretamente por um pistão hidráulico. Em sistema puramente hidráulicos, o pistão é o único componente responsável por manter a pressão sobre o molde, deste modo, qualquer vazamento irá ocasionar perdas de pressão durante o processo, o que resulta na criação de rebarbas no produto moldado. (RIBEIRO, 2009)

Figura 5 - Unidade de fechamento hidráulica

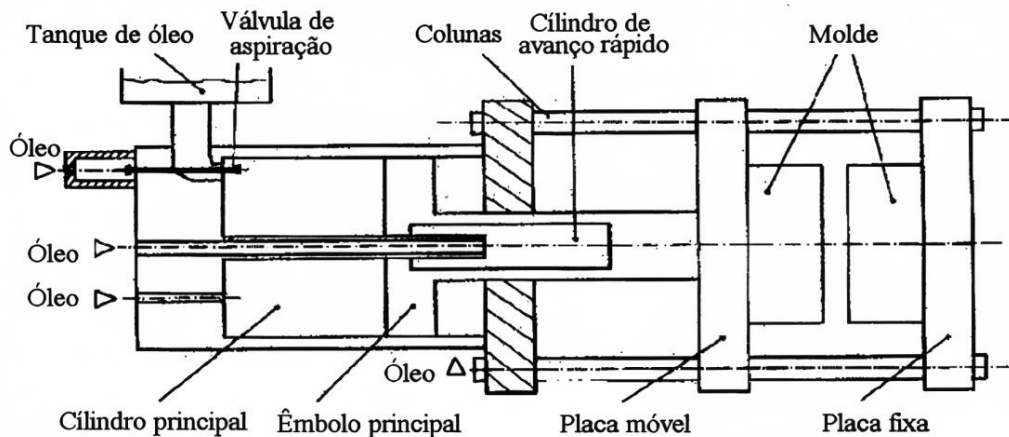


Fonte: Adaptado de Michaeli et al. (2001)

O sistema hidráulico é considerado por Michaeli et al. (2001), como superior aos sistemas de alavanca, por duas razões. Primeiramente, o ajuste e troca do molde pode ser efetuado mais facilmente, visto que o sistema não é afetado por mudanças de temperatura. Adicionalmente, o pistão hidráulico é capaz de exercer força para o sistema durante qualquer ponto de seu movimento, enquanto que o sistema de alavancas só consegue transmitir força máxima quando o braço estiver totalmente estendido.

Segundo Michaeli et al. (2001), o uso de um pistão hidráulico de grande porte para movimentar o molde cria a necessidade de grandes quantidades de fluido, assim como um acumulador hidráulico. Logo, pode-se provar mais vantajoso o uso de um pistão hidráulico que tem como função específica a pressurização do molde, e o uso de pistões menores para realizar o movimento do molde e remoção da peça. Um sistema deste tipo é mostrado na figura 6, onde a máquina possui um cilindro de avanço rápido que tem como função abrir e fechar o molde, e um cilindro principal que realiza a pressurização.

Figura 6 - Representação de uma unidade de fechamento hidráulica



Fonte: Michaeli et al. (1995)

É na unidade de fechamento que se encontra o sistema responsável pela extração do artigo final do molde. A extração pode ser realizada por sistemas mecânicos simples ou pistões pneumáticos. Em processos em que o produto final é sensível, não podendo sofrer uma queda após finalizado, é empregado o uso de um braço robótico para extração da peça final. (RIBEIRO, 2009)

#### 2.1.2.2. Unidade de Comando e Acionamento

Estrutura que contém as unidades de comando e acionamento da máquina é a unidade de comando, que é composta pelo gabinete de controle. No gabinete de controle que se encontra o controlador da máquina, sendo responsável pelo controle e monitoramento do processo de funcionamento da máquina injetora. (MICHAELI ET AL., 1995)

A unidade de acionamento é responsável pela energização dos elementos individuais do sistema, e, segundo Michaeli et al. (2001), nas máquinas modernas tipicamente consiste de um sistema hidráulico-elétrico.

O sistema de acionamento hidráulico faz uso de uma bomba para pressurizar o fluido hidráulico (óleo) proveniente de um reservatório para mover os elementos hidráulicos, tais como o pistão de pressurização e fechamento do molde e do parafuso. O movimento do óleo é controlado por uma válvula direcional eletromagnética (com

solenóide). As válvulas recebem comandos do sistema de controle da máquina e direciona o fluido hidráulico conforme o necessário.

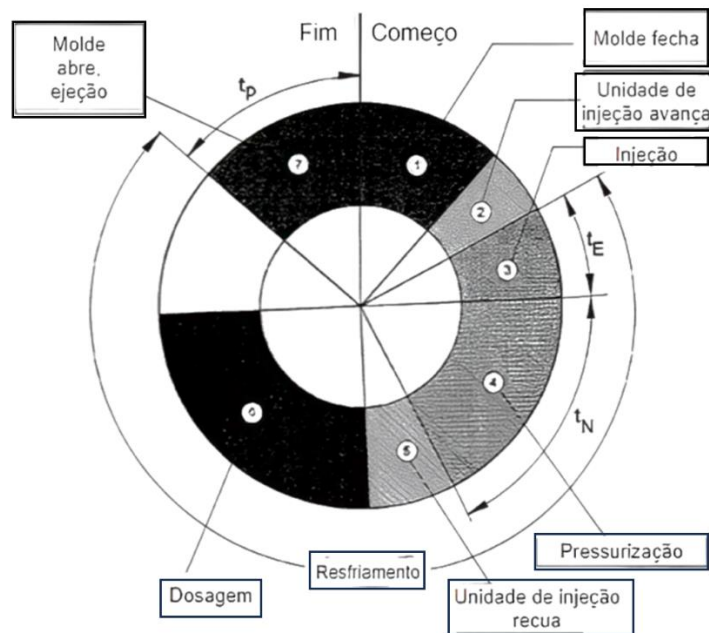
O sistema de acionamento elétrico aciona os elementos elétricos da máquina, tais como o motor da bomba hidráulica, a unidade de controle, e o sistema de aquecimento do cilindro de injeção. Algumas máquinas também podem conter elementos como chaves de fim de curso, temporizadores, sensores de contato e temperatura, que são conectados à unidade de acionamento elétrica.

Segundo Ribeiro (2009) algumas máquinas ainda possuem sistemas diferenciados de acionamento, como sistemas pneumáticos que são voltados para a realização de movimentos de componentes leves, como a abertura do molde e de portas de acesso. Quando necessário, a máquina pode contar com um sistema de refrigeração ou aquecimento para o molde. Para assegurar a suavidade dos movimentos da máquina faz-se o uso de um sistema de lubrificação de seus componentes mecânicos, que pode ser realizada por graxa ou óleo.

### **2.1.3. Ciclo de Injeção**

Considera-se, como descrito por Michaeli et al. (2001) que o ciclo de funcionamento da máquina injetora começa com o molde aberto, e termina quando ocorre a ejeção do artigo final da cavidade do molde. Os estágios de funcionamento da máquina injetora são representados na figura 7. Geralmente, após o término do último estágio, o ciclo recomeça de forma automática, uma exceção são as máquinas que realizam injeção de elastômeros, pois a elevada elasticidade dos elastômeros dificulta a sua remoção automática do molde. Ademais, elastômeros são usados na produção de peças com geometria complexa, que normalmente não seriam possíveis de serem produzidas por moldagem por injeção se não fosse pela flexibilidade do material. Estes aspectos, resultam na necessidade de que os produtos feitos de elastômeros sejam removidos de maneira manual do molde, deste modo, a máquina deve funcionar de forma semiautomática, recomeçando o ciclo apenas após o operador terminar sua função.

Figura 7 - Ciclo de funcionamento de uma injetora de plástico



Fonte: Adaptado de Michaeli et al. (2001)

Conforme Michaeli et al. (2001) descreve, no início do ciclo as metades do molde se encontram afastadas e o molde se encontra na temperatura adequada para a moldagem do material utilizado. Considera-se que o material plástico se encontra propriamente plastificado e esteja contido na câmara de injeção pelo bico injetor, que se encontra fechado. O parafuso se encontra retraído dentro do cilindro. A seguir, as etapas listadas abaixo são realizadas.

Ao iniciar o ciclo de injeção, o molde se fecha e o bico de injeção avança realizando apenas movimento axial, de forma que o mesmo haja como um pistão, e “empurre” o material plastificado para dentro da cavidade do molde através dos canais de injeção. Após realizar a injeção o bico injetor deve permanecer na posição de avanço de modo que a pressão sobre o material injetado seja mantida. Esse processo é chamado pressurização do molde ou recalque, e visa evitar contrações que possam ocorrer na peça moldada durante o período de arrefecimento.

Passado o tempo de pressurização, o parafuso recua realizando movimento rotacional, de modo a realizar a dosagem do material. A dosagem consiste na plastificação de material plástico na medida necessária para realizar nova injeção.



Terminado o processo de resfriamento da peça, o molde é aberto e a peça é extraída pelo sistema extrator da máquina. Neste momento, o ciclo termina e pode ser repetido imediatamente.

#### **2.1.4. Orientação da Máquina Injetora**

No tocante à orientação dos componentes, Michaeli et al. (2001) separa as máquinas injetoras em três tipos:

- Horizontal: o molde se separa no plano vertical, permitindo que o produto final caia. Geralmente usada no processamento de materiais termoplásticos.
- Vertical: o molde se parte no plano horizontal. Estas máquinas geralmente são usadas em processos que utilizam moldes de inserção. A maioria das moldagens que utilizam elastômeros utilizam injetoras verticais.
- Rotatória: Várias unidades de fechamento, postas sobre uma mesa ou esteira giratória, são conectadas a uma única unidade injetora. São utilizadas quando o material possui um período longo de refrigeração ou aquecimento.

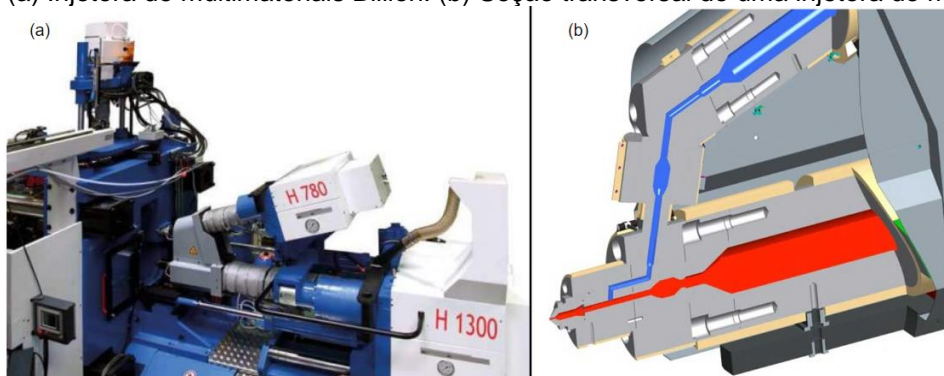
De modo geral, as máquinas listadas acima são compostas de modo similar, sendo que todas possuem uma unidade de plastificação e injeção, uma unidade de fechamento, e controles de sistemas hidráulicos e elétricos.

#### **2.1.5. Métodos Especiais de Moldagem por Injeção**

As seções anteriores deste trabalho focam no processo de moldagem por injeção tradicional. A demanda pela produção de artigos mais complexos impulsionou o desenvolvimento de técnicas de injeção mais avançadas, estas técnicas são designadas moldagem por injeção de multi-materiais ou MMM (do inglês *Multi Material Molding*). Estas técnicas se diferenciam do processo tradicional por usarem dois materiais distintos para a injeção e permitem a produção de peças únicas compostas de materiais e cores distintas.

Heim (2015) afirma que a classificação destas técnicas é complicada, podendo haver semelhanças significativas entre processos tecnicamente diferentes. Entre os critérios de classificação pode-se citar a compatibilidade dos materiais usados, o ponto de encontro dos materiais, a sequência de injeção, e outras distinções relacionadas às ferramentas adicionais utilizadas no processo. Algumas destas técnicas podem necessitar de mudanças na estrutura da máquina injetora, como é mostrado na figura 8, em que uma unidade injetora adicional é acoplada à máquina.

Figura 8 - (a) Injetora de multimateriais Billion. (b) Seção transversal de uma injetora de multimaterial



Fonte: Billion SAS

## 2.2. Controladores Lógicos Programáveis

Um controlador lógico programável (CLP) é um dispositivo empregado na automação de uma vasta gama de processos. Franchi e Camargo (2020) afirmam que CLPs são indispensáveis em qualquer instalação onde se realizam processos de controle, supervisão e manobra.

Segundo Franchi e Camargo (2020), CLPs podem ser considerados computadores projetados especificamente para uso industrial. Estes dispositivos estão presentes em diversos campos de aplicação sendo usados desde processos de transformação de matéria prima até processos de fabricação industrial.

Os CLPs foram desenvolvidos por demanda da indústria automobilística americana. Em 1968, o engenheiro Richard Morley, a serviço da empresa *General Motors*, desenvolveu o primeiro CLP como forma de substituir o sistema de relés que era utilizado até então. Nos primórdios de seu desenvolvimento, os CLPs possuíam

como função principal a realização de operações sequenciais ou repetitivas, tais como a função de liga/desliga de uma máquina. (FRANCHI E CAMARGO, 2020)

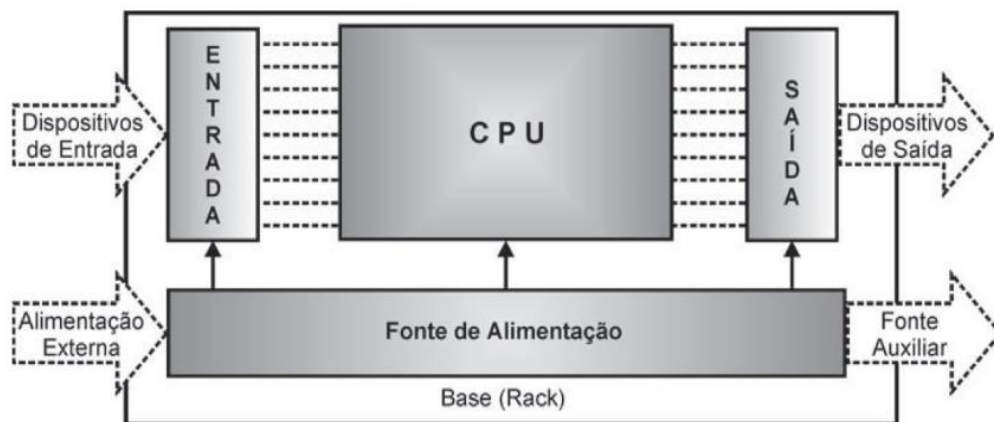
Segundo Fialho (2003) os primeiros CLPs já se mostravam sistemas mais robustos e práticos. A principal vantagem que os CLPs apresentam em relação ao sistema de relés é sua capacidade de serem reprogramados sem que haja a necessidade de rearranjar componentes físicos, permitindo assim uma maior flexibilidade do processo de controle. Entre as outras qualidades dos CLPs, Fialho (2003) também incluiu o tamanho e necessidade de espaço físico reduzidos, assim como a facilidade de instalação e de aprendizado.

### 2.2.1. Componentes do CLP

Georgini (2008) aponta quatro componentes básicos nos CLPs: a Unidade Central de Processamento (mais conhecida pela sigla em inglês CPU – *Central Processing Unit*), pontos de entrada/saída (ou pontos de I/O, do inglês *Input/Output*), a fonte de alimentação e a base (ou *rack*).

A Figura 9 traz a representação dos elementos básicos de um CLP, assim como uma representação básica de seu funcionamento, onde as informações recebidas pelas entradas, são processadas pela CPU e por fim são enviadas para as saídas. O funcionamento do CLP é tratado mais a fundo na seção 2.2.3.

Figura 9 - Representação da estrutura de um CLP



Fonte - Georgini (2008)

### **2.2.1.1. Unidade Central de Processamento**

Segundo Georgini (2008), o CPU é composto pelo processador, sistema de memória e circuitos auxiliares de controle. O processador é o componente responsável pelo gerenciamento do sistema, realizando o processamento e execução dos dados recebidos pelo CLP. É no processador que se realizam as operações lógicas e aritméticas em cima dos dados recebidos pelas entradas do controlador.

O sistema de memória é composto pela memória do sistema, e a memória de aplicação ou memória do usuário. A memória do usuário contém o programa de aplicação desenvolvido pelo operador, que traz as informações e dados de como o CLP deve funcionar. A memória do sistema armazena dados temporários, assim como o programa de execução do CLP, que é responsável por “traduzir” o programa aplicativo do usuário para o CLP. (GEORGINI, 2008)

### **2.2.1.2. Pontos de entrada/saída**

Os pontos de I/O são os componentes do CLP responsáveis por realizar a comunicação do mesmo com o meio externo. Também podem ser chamados de módulos de entrada/saída, ou módulos de I/O. Os pontos de entrada recebem os sinais dos dispositivos de entrada conectados ao CLP e os convertem para níveis adequados para que sejam processados pela CPU. Os pontos de saída enviam os sinais emitidos pela CPU aos dispositivos de saída. (GEORGINI, 2008)

Pontos de I/O podem ser digitais ou analógicos. Sendo que, pontos digitais possuem apenas dois estados, enquanto pontos analógicos, reconhecem mais de dois estados de controle. (FIALHO, 2003)

Barreiras de isolamento óptico são empregadas nos pontos de I/O dos CLPs com a função de isolar eletricamente o circuito interno do controlador, de modo que este fique protegido de flutuações de tensão. Os pontos de entrada do CLP também são dotados da capacidade de “filtrar” o sinal recebido, diminuindo as interferências causadas por ruídos elétricos. (FIALHO, 2003)

### **2.2.1.3. Fonte de alimentação**

A fonte de alimentação tem como função fornecer energia aos elementos eletrônicos do CLP. Além disso, funciona como um dispositivo de proteção do sistema, garantindo segurança contra picos de tensão e de corrente fornecidos ao sistema. (GEORGINI, 2008)

### **2.2.1.4. Base**

A base é o elemento responsável pela sustentação mecânica dos componentes do CLP, contendo o barramento que faz a conexão elétrica entre os elementos do sistema. (GEORGINI, 2008)

## **2.2.2. Tipos de CLPs**

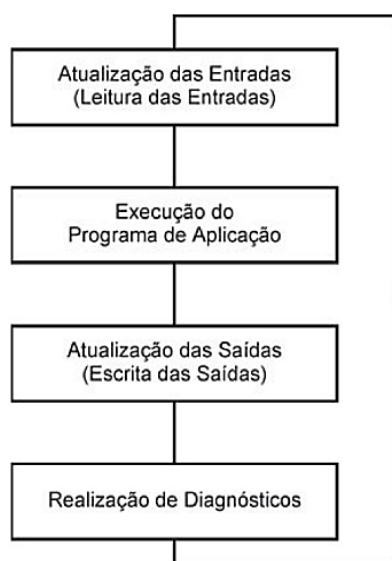
Franchi e Camargo (2020) diferenciam os CLPs em compactos e modulares. CLPs compactos apresentam os componentes do CLP acoplados em uma única unidade indivisível, sendo que o operador tem acesso apenas aos módulos de I/O. Enquanto que os componentes dos CLPs modulares são disponibilizados de forma independente, sendo separados em módulos. Sendo assim, os tipos e a quantidade de pontos de I/O do CLP modular podem ser selecionados conforme a necessidade do usuário. CLPs compactos geralmente são de pequeno porte, mas podem suportar uma grande variedade de módulos especiais. Já os CLPs modulares variam desde os modelos de pequenos (tais como os microCLPs) até modelos industriais de grande porte. (GEORGINI, 2008)

## **2.2.3. Operação do CLP**

De maneira geral, os CLPs apresentam dois modos de operação: de programação, e de execução. O modo de programação, permite que se realize a transferência do programa de aplicação desenvolvido pelo usuário à memória interna do CLP, e também que se realize mudanças em parâmetros de execução do CLP. Este modo não permite a execução do programa aplicativo e a atualização de pontos de saída, sendo que esta tarefa deve ser realizada quando o CLP estiver configurado em modo de execução. (GEORGINI, 2008)

No modo de execução, O CLP opera ciclicamente. Um fluxograma do ciclo básico de um CLP no modo execução é mostrado na Figura 10. Conforme mostrado no fluxograma, ao inicializar o modo de execução, a CPU do controlador lê os estados dos dispositivos de entrada, e a seguir, realiza a leitura do programa aplicativo do usuário, atualiza então os status dos dispositivos de saída de acordo com as instruções do programa. O controlador então realiza um diagnóstico de erros do sistema. Se nenhum erro for detectado, o ciclo reinicia e o CLP realiza nova leitura dos pontos de entrada. Caso ocorra algum erro, o CLP faz a indicação do mesmo através dos sistemas de indicação (como luzes e sinais de alerta). Se o erro não for fatal, o CLP é reiniciado, retornando ao início do ciclo e realizando nova leitura dos pontos de entrada. Se o erro for fatal, a execução do programa é interrompida e o CLP é forçado a entrar em modo de programação de forma que os componentes conectados aos pontos de saída sejam desligados. (GEORGINI, 2008)

Figura 10 - Fluxograma do ciclo básico de um CLP



#### 2.2.4. Linguagem Ladder

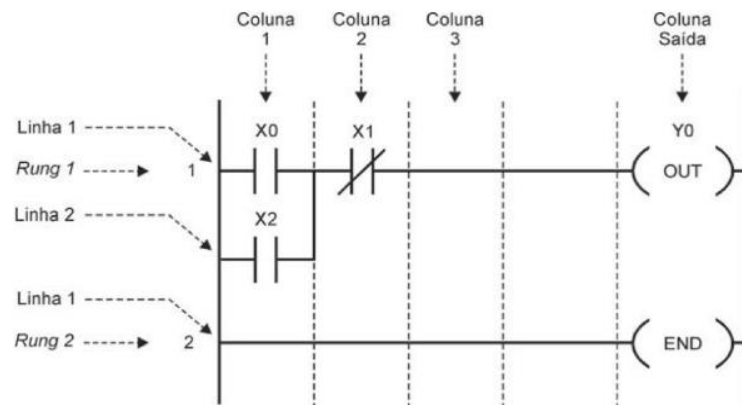
O IEC (*International Electrotechnical Commission*) é um grupo de trabalho que tem como função padronizar e normalizar a operação e componentes dos CLPs. O IEC é responsável por estabelecer normas quanto a hardware, testes, documentação, programação e comunicação. A norma IEC 61131-3 tem como função estabelecer regras quanto à linguagem de programação utilizada pelos CLPs. (FRANCHI E CAMARGO; 2020)

Na norma constam cinco linguagens de programação usadas por CLPs: diagrama de blocos, sequenciamento gráfico de funções, lista de instruções, texto estruturado e *ladder*. Destas, a linguagem *ladder* foi a primeira a ser desenvolvida e é atualmente a mais utilizada. (GEORGINI, 2008)

A linguagem *ladder* é uma linguagem gráfica, sua lógica foi desenvolvida com base na lógica de relés e contatos elétricos. Como afirmam Franchi e Camargo (2020), por possuir uma natureza gráfica, é uma linguagem de fácil documentação, apresentando uma visualização clara, e possuindo grande facilidade de adaptação por parte do operador, principalmente aqueles que já possuem conhecimentos pertinentes à operação de relés. Por outro lado, a característica gráfica da linguagem dificulta a criação de programas extensos ou de lógica complexa.

O nome *ladder* vem do inglês, e se traduz como “escada”. Segundo Georgini (2008), este nome foi adotado devido à representação da lógica de programação que se assemelha a uma escada. A lógica de controle conecta duas barras verticais paralelas, que formam os “degraus” da escada, os chamados “*rungs*”. Cada *rung* é composto por linhas e colunas, que são denominados elementos e associações, como é mostrado na figura 11, cada coluna contém um elemento de programação.

Figura 11 - Representação da linguagem ladder

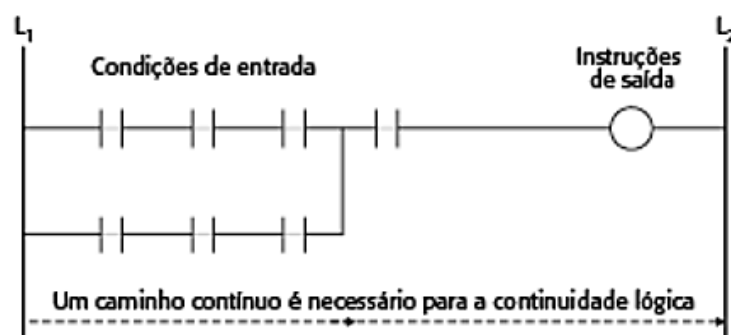


Fonte: Georgini (2008)

Segundo Franchi e Camargo (2020), a ideia central da lógica *ladder* é representar o fluxo de “eletricidade virtual” por meio do diagrama de escada. A linha vertical esquerda representa o pólo positivo, enquanto que a linha da direita representa o pólo negativo, a eletricidade flui do pólo positivo para o negativo.

Cada linha ligando os dois pólos constitui um degrau, um diagrama *ladder* pode ser composto de vários degraus. Sobre o degrau são dispostos os elementos lógicos de entrada e saída. Os dispositivos de entrada são posicionados à esquerda, enquanto que os elementos de saída são posicionados à direita. As saídas são energizadas quando as entradas de um degrau são fechadas de modo que se forme uma ligação contínua entre o polo positivo com o negativo, como mostra a figura 12. A ordem de leitura da linguagem *ladder* dita que cada degrau deve ser lido da esquerda para a direita, e de cima para baixo a partir do último degrau.

Figura 12 - Estrutura básica de um degrau



Fonte: Franchi e Camargo (2008)



### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo, detalha-se a metodologia empregada no desenvolvimento deste trabalho, assim como as etapas a serem seguidas para sua realização.

A realização do trabalho segue as seguintes etapas.

- Realização da pesquisa bibliográfica;
- Definições da máquina;
- Simulação do circuito no software FluidSim®;
- Desenvolvimento do programa Ladder;
- Teste em bancada.

#### 3.1. Realização da Pesquisa Bibliográfica

A primeira etapa do projeto compreende a realização da pesquisa bibliográfica apresentada no capítulo 2 deste trabalho. A realização da pesquisa visa a obtenção de maior familiaridade com o tema em análise. O escopo da pesquisa englobou o funcionamento e componentes das máquinas injetoras e o processo de injeção, assim como controladores lógicos programáveis e sua programação através de linguagem *ladder*.

#### 3.2. Definições gerais da máquina

As máquinas injetoras podem possuir diversas configurações e especificações. Com o intuito de realizar a simulação é preciso estabelecer a orientação da máquina, delinear o sistema hidráulico-elétrico e os componentes presentes na máquina.

A máquina utilizada como base para automação é a injetora Engel Victory 1060/220 (figura 13). A máquina em questão, possui orientação horizontal,

acionamento hidráulico e opção de modo de funcionamento manual, semiautomático e automático.

Figura 13 - Máquina Injetora Engel modelo Victory 1060/220

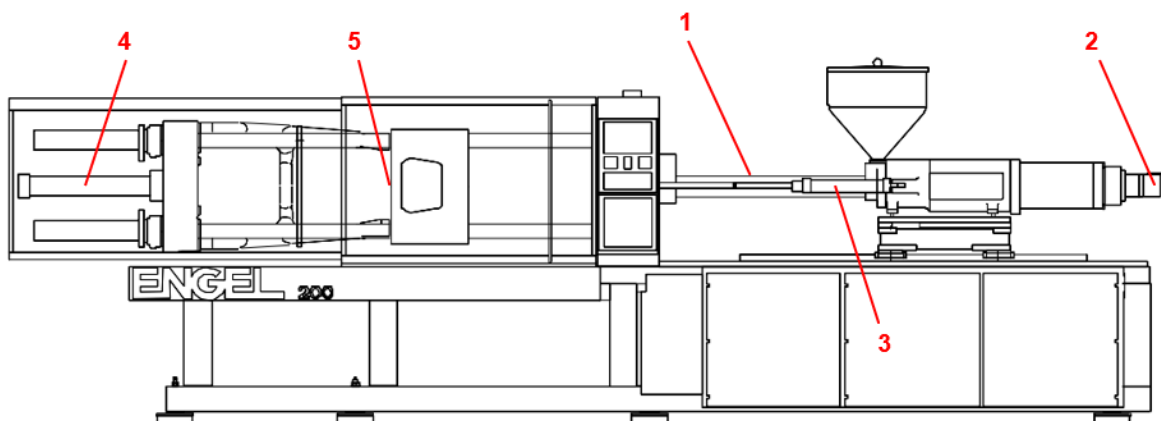


Fonte: Engel

Os principais componentes hidráulicos da máquina estão explicitados na figura 14 são listados a seguir:

1. Cilindro hidráulico de dupla ação: responsável pelo avanço e recuo do parafuso;
2. Motor hidráulico: responsável pelo movimento de rotação do parafuso;
3. Cilindro hidráulico: realiza a movimentação do carro da unidade de injeção;
4. Cilindro hidráulico: realiza o fechamento do molde;
5. Cilindro hidráulico: responsável pela ejeção da peça moldada.

Figura 14 - Diagrama de uma máquina injetora hidráulica



Fonte: Adaptado de Engel (2005)

A máquina ainda conta com uma série de válvulas reguladoras de vazão e pressão, assim como válvulas direcionais para controlar o fluxo de óleo. As válvulas são ligadas à unidade de comando da máquina e controladas pelo CLP. Um diagrama simplificado do sistema hidráulico da máquina é mostrado na figura 15.

Figura 15 - Diagrama básico do sistema hidráulico da máquina



Fonte: De autoria própria.

### 3.3. Simulação do circuito através do software FluidSIM®

O *software* FluidSim® permite a simulação virtual de sistemas hidráulicos e pneumáticos de forma visual e intuitiva. Através da simulação criada é possível estudar a funcionalidade do circuito proposto, e testar a melhor configuração possível antes de se realizar testes práticos. A simulação também visa facilitar a criação do programa *ladder*.

### 3.4. Criação do programa Ladder

Com base no circuito eletro-hidráulico da máquina, é possível escrever a lógica de programação *ladder* que será alimentado ao CLP com o intuito de controlar a máquina injetora. O *software* usado para criar o programa *ladder* é o Festo® Software

Tools (FST). O FST® é um software distribuído pela Festo® voltado para a automação de seus CLPs.

### **3.5. Teste em bancada**

Após a realização de simulações virtuais e possuindo o programa *ladder* que controla a máquina, o circuito foi montado utilizando componentes reais em uma bancada de teste. O CLP utilizado foi o Festo® Compact, que conta com 12 entradas e oito saídas. A máquina utilizada como modelo apresenta acionamento hidráulico, no entanto, devido à falta de componentes foi montado um sistema pneumático. O circuito conta com quatro cilindros pneumáticos de dupla ação, cada um controlados por válvulas de 4/2 vias com duplo solenoide, o motor do parafuso foi representado por uma lâmpada. Cada cilindro foi conectado a duas válvulas de controle de fluxo, com o intuito primário de controlar sua velocidade. As válvulas foram conectadas na entrada do fluxo de ar, no entanto, reitera-se que o controle na saída é recomendado para proteger o cilindro de danos resultantes de choques causados pela alta velocidade de retorno do pistão. Como a pressão usada durante o teste não foi elevada, esta recomendação foi desconsiderada.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Tabela de Correspondência Lógica

Entre os dispositivos de entrada da máquina, há o botão *start* (E1), um sensor de temperatura no barril (E2), um sensor de posição do carro de injeção (E3), um sensor que mede o nível de material no funil (E4), um sensor que mede a posição do molde (E5), e um sensor de pressão no bico de injeção (E6). A tabela 1 traz a relação lógica dos componentes.

Tabela 1: Relação lógica das entradas

	<b>Entradas</b>	<b>Notação</b>	<b>Lógica</b>
	Botão Start	E1	1
	Sensor de temperatura	E2	1
	Sensor de avanço carro de injeção	E3	1
	Sensor de nível mínimo funil	E4	1
	Sensor do molde	E5	1
	Sensor de pressão	E6	1

Fonte: De autoria própria

A máquina conta com cinco dispositivos de saída, sendo eles: o motor hidráulico responsável pelo movimento rotatório do parafuso (S1), o cilindro do parafuso de injeção (S2), o cilindro responsável pelo movimento do carro da unidade de injeção (S3), o cilindro de fechamento do molde (S4), e o cilindro de ejeção (S5). A notação e lógica dos componentes de saída é especificada na tabela 2.

Tabela 2: Relação lógica das saídas

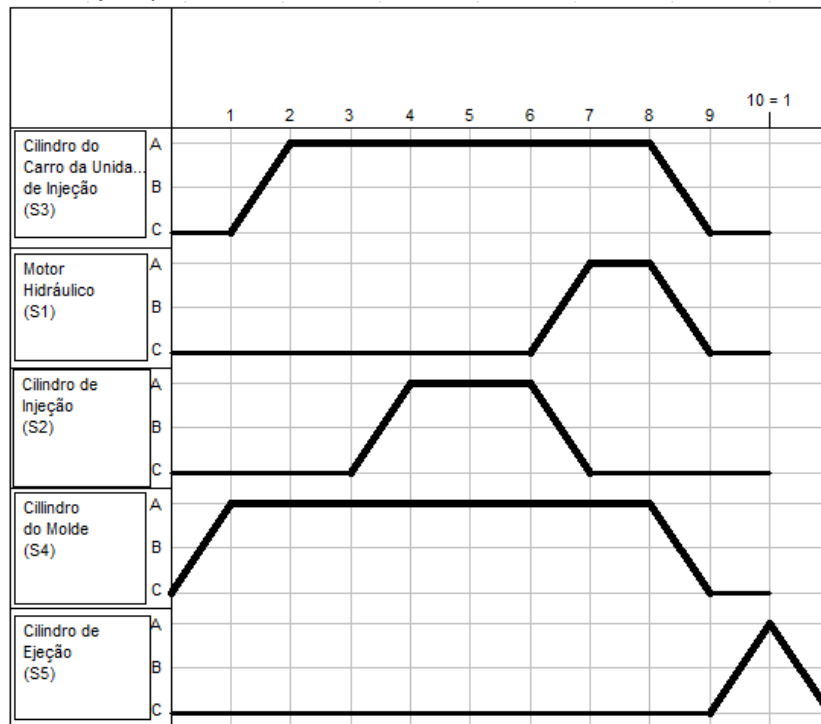
	<b>Saídas</b>	<b>Notação</b>	<b>Lógica</b>
	Motor hidráulico	S1	1
	Cilindro de injeção	S2	1
	Cilindro do carro	S3	1
	Cilindro do molde	S4	1
	Cilindro de ejeção	S5	1

Fonte: De autoria própria

### 4.2. Diagrama Trajeto-Passo

O diagrama de trajeto-passo da figura 16, traz a representação da sequência de acionamento dos componentes de saída do sistema. O diagrama serviu como auxílio para o desenvolvimento da tabela verdade e equações booleanas do sistema, e do circuito eletro-hidráulico.

Figura 16: Diagrama trajeto passo



Fonte: De autoria própria

### 4.3. Equações Booleanas

Com auxílio do diagrama trajeto-passo, foi desenvolvida a tabela verdade (apresentada no apêndice A). A tabela verdade relaciona o acionamento das entradas e saídas. Na tabela, considera-se que um componente está ativado quando lhe é atribuído o valor um, e desativado quando lhe é atribuído zero. A partir da tabela verdade que foram obtidas as equações booleanas do circuito. Uma equação booleana é uma expressão que descreve a relação lógica entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída. Em suma, as equações booleanas descrevem quais combinações de ativação das entradas resultarão no acionamento das saídas. Nas equações, uma linha sobre a entrada indica que a mesma esta fechada, enquanto a

ausência da linha indica que ela está acionada. As equações obtidas para cada saída são apresentadas a seguir.

$$S1 = E1E2\overline{E3}E4\overline{E5}E6 + E1E2\overline{E3}E4E5E6 + E1E2E3E4\overline{E5}E6 + E1E2E3E4E5$$

$$S2 = E1E2E3E4E5E6$$

$$S3 = E1E2\overline{E3}E4E5E6 + E1E2E3E4E5E6$$

$$S4 = E1E2\overline{E3}E4\overline{E5}E6 + E1E2\overline{E3}E4E5E6 + E1E2E3E4\overline{E5}E6 + E1E2E3E4E5E6$$

$$S5 = E1\overline{E2}E3E4E5\overline{E6} + E1\overline{E2}E3E4E5E6 + E1\overline{E2}E3E4\overline{E5}E6 + E1\overline{E2}E3E4E5E6 + \dots$$

$$\dots + E1E2\overline{E3}E4E5\overline{E6} + E1E2\overline{E3}E4E5E6 + E1E2E3E4\overline{E5}E6 + E1E\overline{E3}E4E5E6$$

As equações acima foram simplificadas utilizando o mapa de Karnaugh. O mapa de Karnaugh é um método utilizado para reduzir e simplificar equações booleanas. Para sistemas com seis variáveis, os mapas contam com 64 combinações. Para facilitar o processo, o mapa de seis variáveis pode ser dividido em quatro mapas de quatro variáveis. Nas ilustrações a seguir, os mapas vazios não foram mostrados. A figura 17 traz o mapa da equação S1 e S4.

Figura 17: Mapa de Karnaugh da equação S1 e S4

		<b>B</b>			
		EF	00	01	11
<b>A</b>	CD	00	01	11	10
	00	0	0	0	0
	01	0	1	1	0
	11	0	1	1	0
	10	0	0	0	0

Fonte: De autoria própria

Logo, a equação S1 simplificada é a seguinte:

$$S1 = S4 = E1E2E4E6$$

A figura 18 apresenta o mapa para a equação de S2, correspondente ao cilindro do parafuso de injeção.

Figura 18: Mapa de Karnaugh para a equação de S2

		<b>B</b>			
		EF			
<b>A</b>	CD	00	01	11	10
	00	0	0	0	0
	01	0	0	0	0
	11	0	0	1	0
	10	0	0	0	0

Fonte: De autoria própria

A partir da figura 18, tem-se a seguinte equação simplificada:

$$S2 = E1E2E3E4E5E6$$

O mapa da equação S3, correspondente ao cilindro do carro da unidade de injeção, é apresentada na figura 19.

Figura 19: Mapa de Karnaugh para equação S3

		<b>B</b>			
		EF			
<b>A</b>	CD	00	01	11	10
	00	0	0	0	0
	01	0	0	1	0
	11	0	0	1	0
	10	0	0	0	0

Fonte: De autoria própria



A partir do mapa acima, tem-se:

$$S3 = E1E2E4E5E6$$

A figura 20, traz a equação S5, do cilindro de injeção:

Figura 20: Mapa de Karnaugh para equação S5

		$\bar{B}$				<b>B</b>				
		EF				EF				
		00	01	11	10	00	01	11	10	
<b>A</b>	CD									
		00	1	1	0	0	1	1	0	0
		01	1	1	0	0	1	1	0	0
		11	0	0	0	0	0	0	0	0
		10	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: De autoria própria

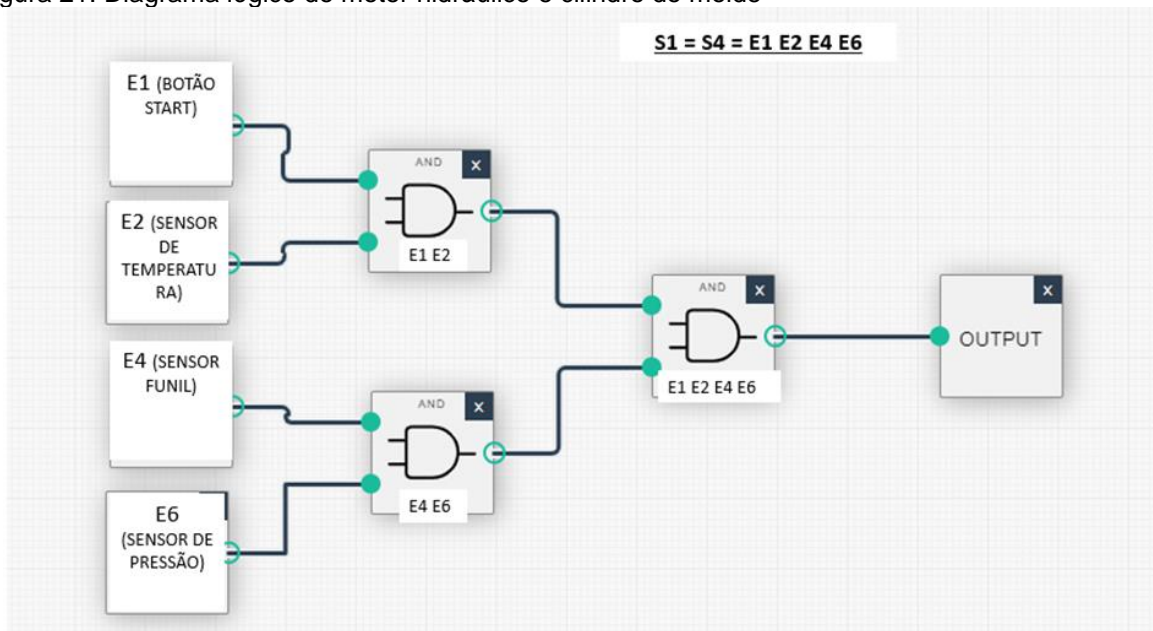
Assim, a equação S5 simplificada é:

$$S5 = E1\overline{E3E5}$$

#### 4.4. Diagramas Lógicos

As equações simplificadas serviram de base para a criação dos diagramas lógicos do sistema. O diagrama lógico é uma forma de representação gráfica das operações lógicas do sistema. O diagrama lógico é composto elementos chamados portas lógicas que são associados a uma operação booleana específica como, AND, OR, NOT, XOR, NAND e NOR. Cada porta lógica pode receber vários sinais de entrada, mas acionam apenas uma saída. A figura 21 traz o diagrama lógico do motor hidráulico e cilindro do molde, ambos possuem a mesma equação lógica.

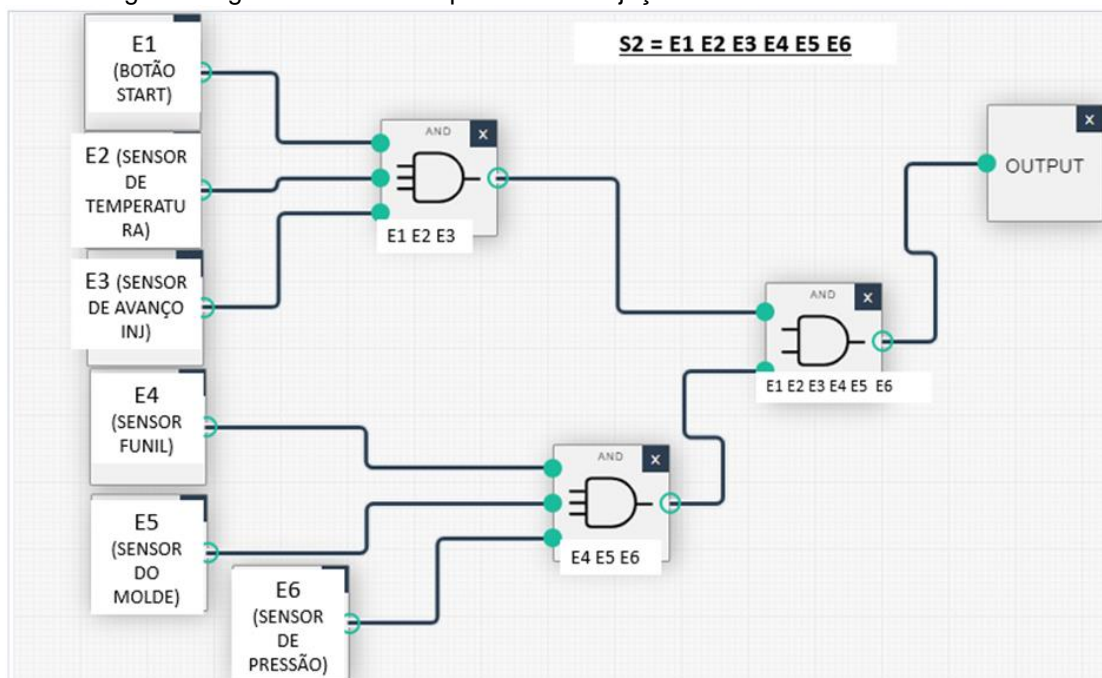
Figura 21: Diagrama lógico do motor hidráulico e cilindro do molde



Fonte: Elaborado pela autora através de *academo.org*

A figura 22 apresenta o diagrama lógico do cilindro do parafuso de injeção.

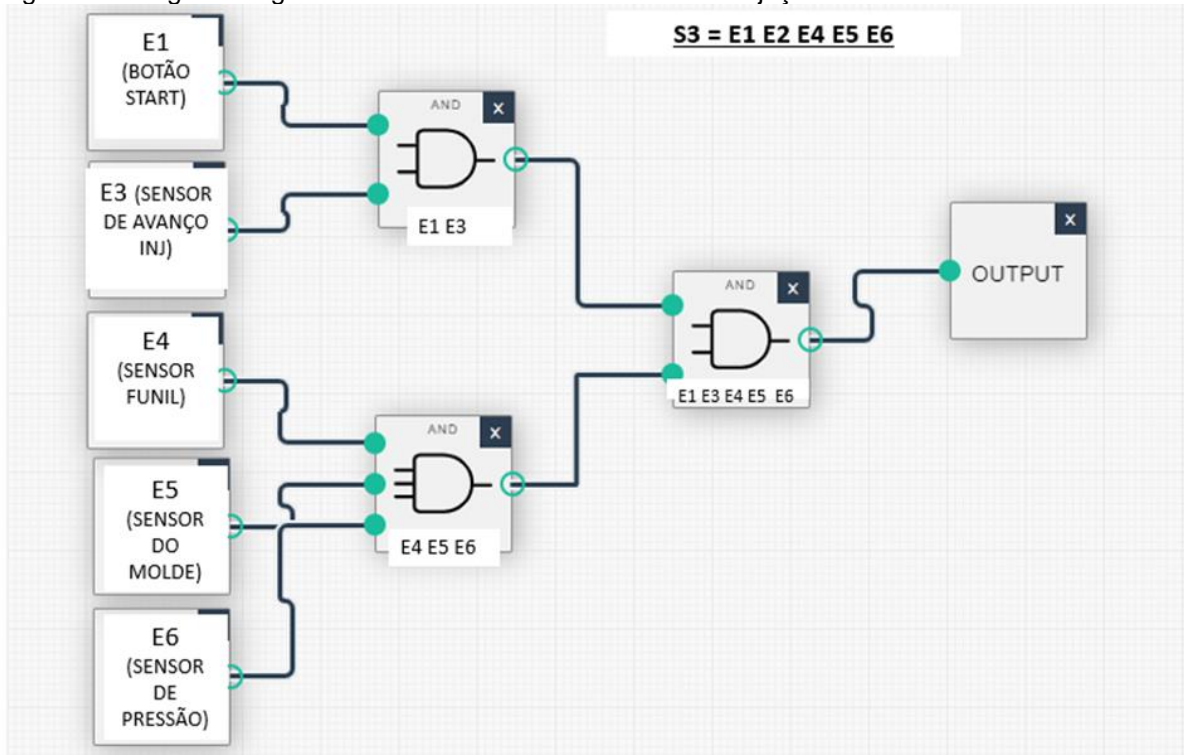
Figura 22: Diagrama lógico do cilindro do parafuso de injeção



Fonte: Elaborado pela autora através de *academo.org*

A figura 23 traz o diagrama lógico do cilindro de avanço e recuo da unidade de injeção.

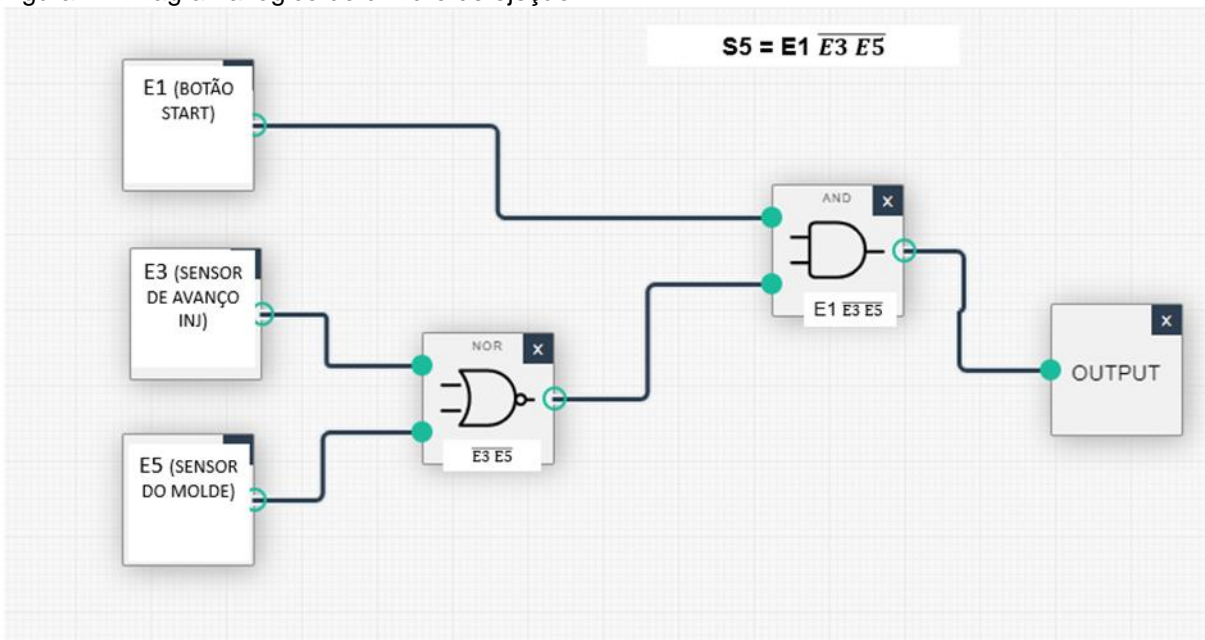
Figura 23: Diagrama lógico do cilindro do carro da unidade de injeção



Fonte: Elaborado pela autora através de *academo.org*

A figura 24 apresenta o diagrama lógico do cilindro de ejeção.

Figura 24: Diagrama lógico do cilindro de ejeção

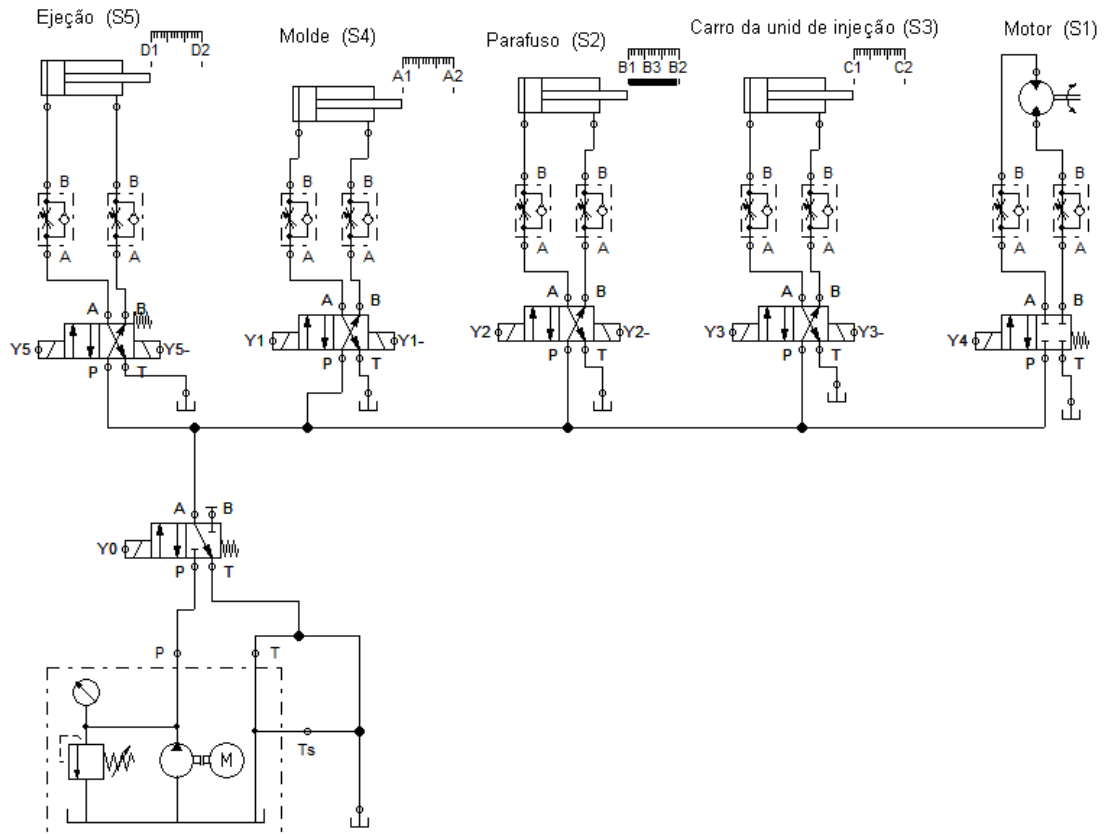


Fonte: Elaborado pela autora através de *academo.org*

#### 4.5. Circuito Eletro-hidráulico

A figura 25 apresenta o circuito hidráulico montado no FluidSim®. O circuito é composto por quatro atuadores de dupla ação, um motor hidráulico, dez válvulas de controle de fluxo, e seis válvulas 4/2 vias com solenoide.

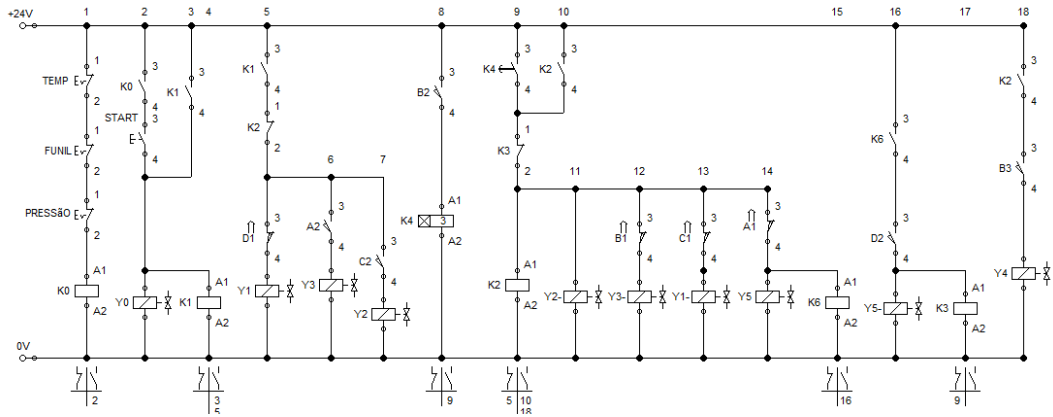
Figura 25: Circuito hidráulico da máquina



Fonte: De autoria própria

Com o auxílio dos diagramas lógicos foi desenvolvido o circuito eletro-hidráulico da máquina, apresentado na figura 26. Os sensores de temperatura, pressão e nível do funil foram representados por três botões normalmente fechados. Ao acionar o botão *start* a máquina inicia o ciclo de injeção. O tempo de recalque é controlado por um relé temporizador com *switch-on delay*.

Figura 26: Circuito eletro-hidráulico

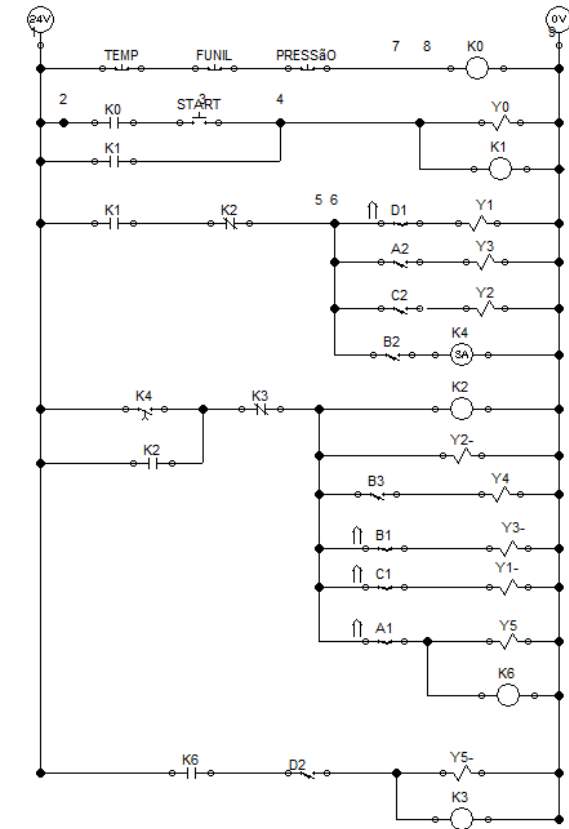


Fonte: De autoria própria

### 4.6. Lógica Ladder

A figura 27 apresenta o código *ladder* da máquina elaborado no FluidSim®. O funcionamento é similar ao circuito eletro-hidráulico, com o acionamento de relés em modo de cascata.

Figura 27: Código Ladder

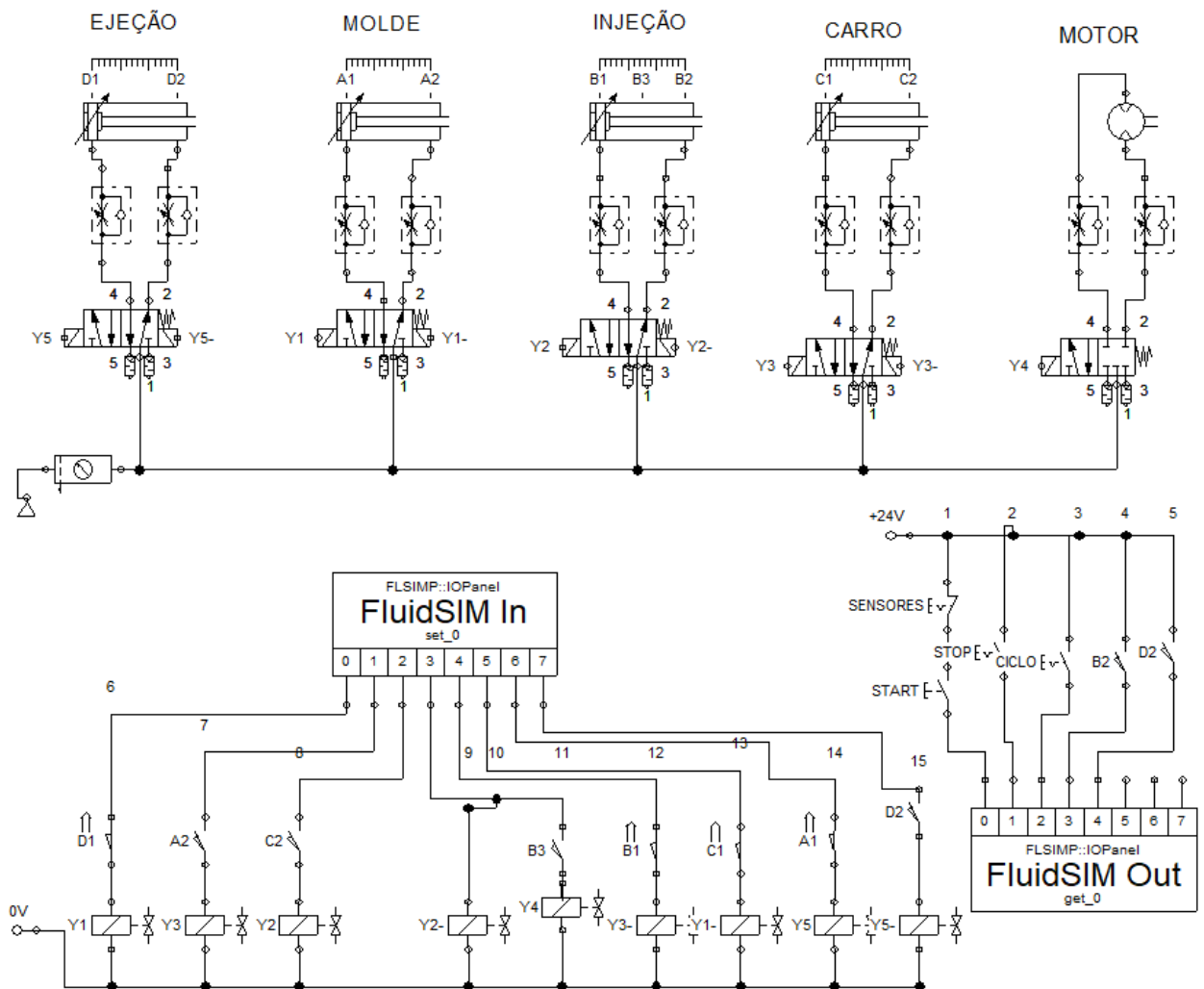


Fonte: De autoria própria

#### 4.7. Simulação através do software MasterTool®

O FluidSim® permite trocar dados com outros softwares através dos componentes *easyport*. Os componentes *easyport* simulam um CLP com oito *inputs/outputs*. Na figura 28, apresenta-se o circuito conectado ao *easyport*, sendo que as entradas do sistema se conectam ao componente “FluidSim Out”, e as saídas do sistema são conectadas ao elemento “FluidSim In”. Através do software MasterTool® IEC XE é possível mandar um código *ladder* para o circuito, possibilitando a simulação do circuito e facilitando a identificação de falhas ou erros. O código *ladder* implementado através do MasterTool® está contido no anexo B.

Figura 28: Circuito com conexão *easyport*

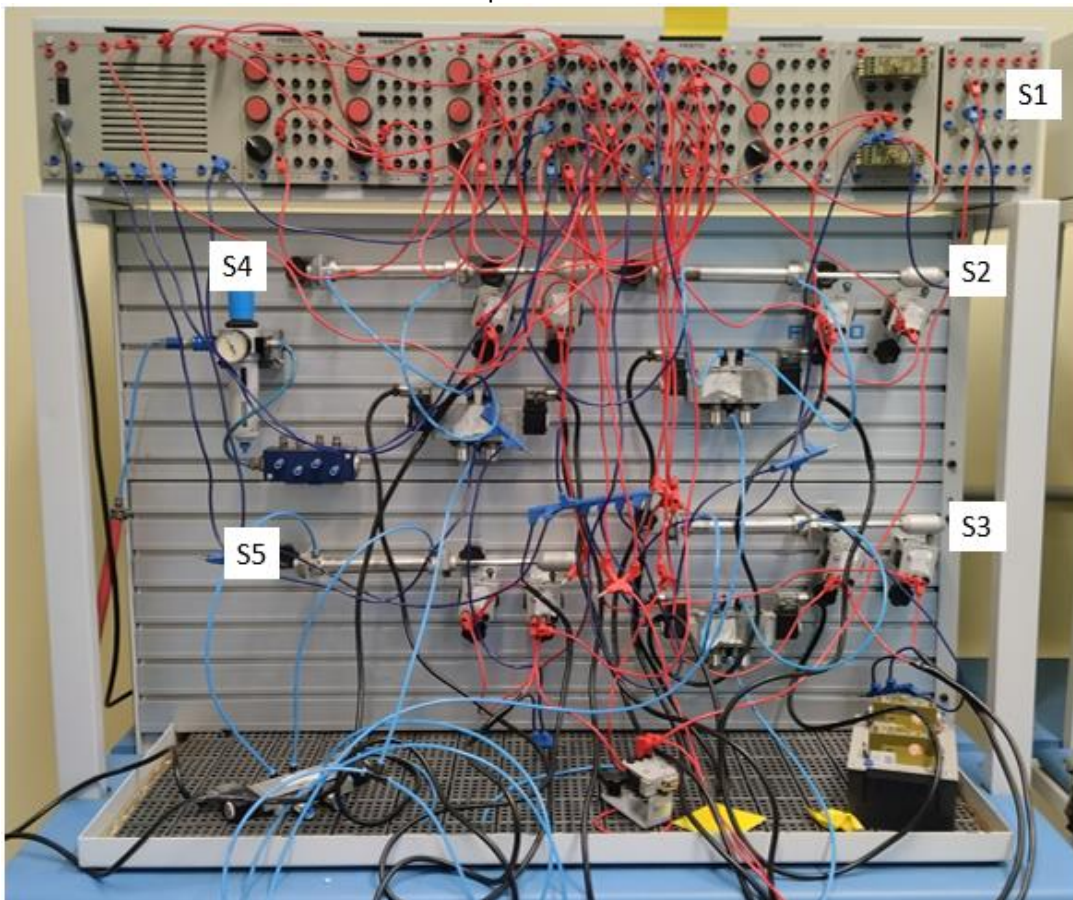


Fonte: De autoria própria

#### 4.8. Teste em bancada

O teste em bancada foi realizado no laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos da Unipampa campus Alegrete. Devido à falta de componentes foi montado um sistema pneumático, embora as simulações tenham considerado um sistema hidráulico. A figura 29 traz a foto do circuito montado com relés, explicitando as cinco saídas do sistema. Foram utilizados cilindros pneumáticos de dupla ação. O motor hidráulico responsável pela rotação do parafuso foi representado por uma lâmpada. Os sensores de temperatura, pressão e nível de material do funil foram representados por três botões. Cada cilindro pneumático conta com dois sensores de fim de curso, duas válvulas de controle de fluxo, e uma válvula 4/2 vias com duplo solenoide.

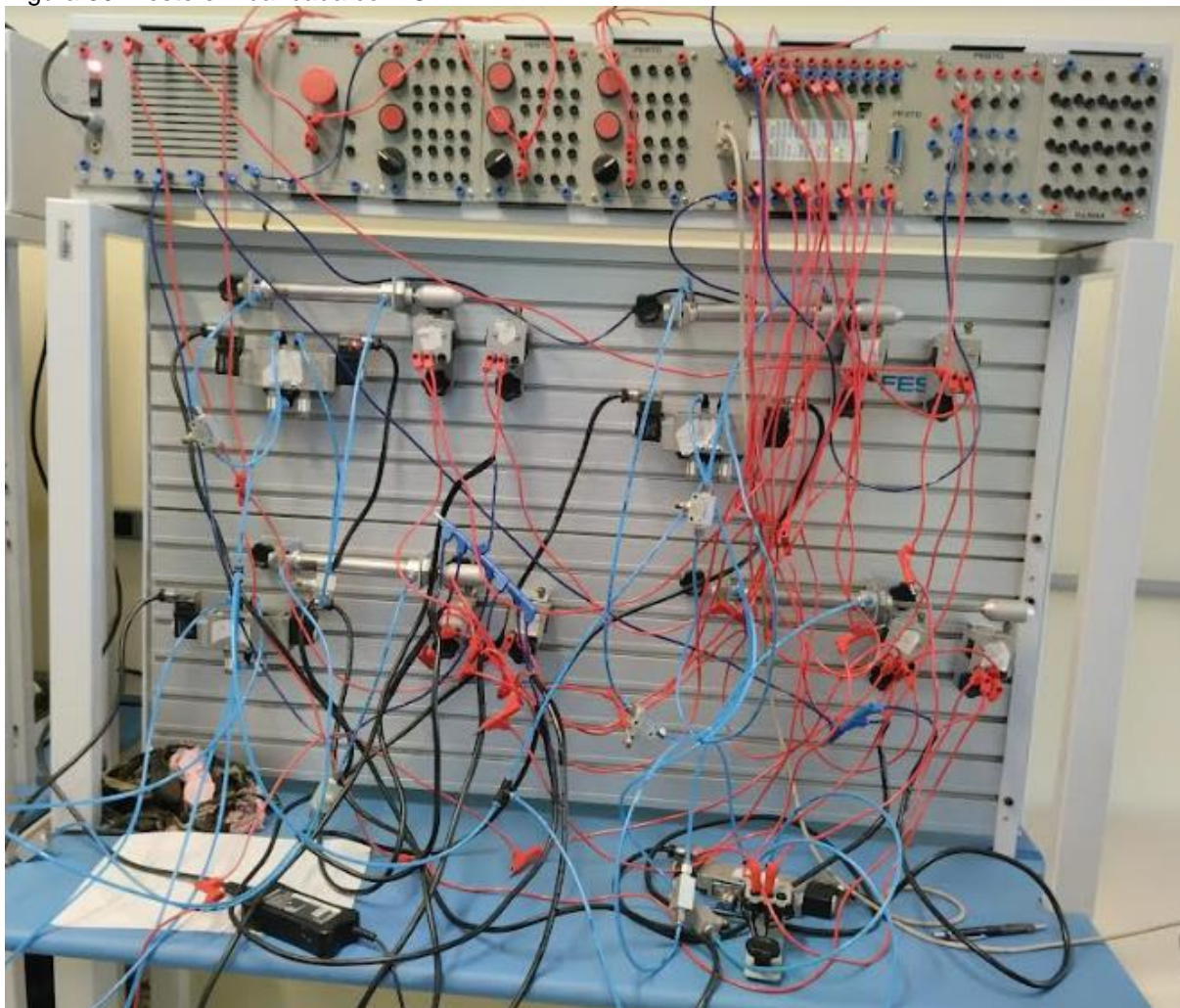
Figura 29: Teste em bancada do circuito eletropneumático com relés



Fonte: De autoria própria

A figura 30 apresenta o circuito conectado ao CLP. Foi usado CLP Festo® Compact, que conta com 12 *inputs* e oito *outputs*. O Festo® Compact é capaz de se conectar a um computador através de uma conexão RS-232, e sua programação se dá através do programa *Festo® Software Tools*, que permite enviar um código *ladder* ao CLP. O código utilizado no teste está disponível no apêndice C deste trabalho.

Figura 30: Teste em bancada com CLP



Fonte 1: De autoria própria

A programação por *ladder* oferece a possibilidade de implementação de componentes lógicos digitais, tais como relés auxiliares, temporizadores e contadores. Essa abordagem simplifica consideravelmente a montagem do circuito físico, facilitando o desenvolvimento de lógicas complexas.



## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho descreve o desenvolvimento da simulação da automação de uma máquina injetora de plástico por meio de linguagem *ladder*. O circuito foi montado de forma física com componentes pneumáticos em uma bancada de testes. Realizaram-se duas simulações: uma utilizando um circuito de relés e outra utilizando programação por *ladder*, que foi implementada através do CLP Festo® Compact. Durante a realização do teste, ficou evidente que o comando por *ladder* facilita significativamente a montagem do sistema físico, visto que oferece uma representação visual e intuitiva das etapas lógicas do programa, além de permitir a alteração da lógica de maneira flexível sem que se realize modificações físicas no circuito através da alteração e adição de componentes digitais, como relés auxiliares, temporizadores e contadores

Durante o processo, foram encontradas dificuldades com relação ao mau funcionamento de alguns equipamentos assim como à falta de componentes adequados, o que afetou o desempenho do circuito. Apesar das dificuldades encontradas, a simulação por bancada de testes se mostrou uma ferramenta útil para testar e otimizar o funcionamento do circuito antes de sua implementação definitiva, buscando evitar falhas e defeitos no produto final.

Em suma, a realização deste trabalho proporcionou a aquisição de conhecimentos relevantes relacionados ao campo da automação industrial, principalmente no que diz respeito ao funcionamento de controladores lógicos programáveis e à lógica *ladder*. Neste sentido, o trabalho cumpriu satisfatoriamente com a sua motivação inicial. As adversidades encontradas durante o processo fortalecem a experiência prática e capacidade de lidar com problemas reais.

## REFERÊNCIAS

ABIPLAST, **Perfil da indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico 2021**, São Paulo: Abiplast, 2021. Anual.

ENGEL Canada Inc., **ENGEL Injection Molding Machine Maintenance Manual**. Guelph, Ontario: Engel, 2005.

FIALHO, A. B. **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 2. ed. São Paulo: Editora Érica, 2003.

FRANCHI, C. M.; DE CAMARGO, V. L. A. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2020.

GEORGINI, M. **Automação Aplicada: Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs**. 9. ed. São Paulo: Editora Érica, 2008.

HEIM, H.-P. **Specialized Injection Molding Techniques**. Norwich, CT, USA: William Andrew Publishing, 2015.

**Injection molding machine design and manufacture**. Disponível em: <<https://www.billion.fr/en/>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

LAMB, F. **Automação Industrial na Prática**. Porto Alegre: Editora AMGH, 2015.

MICHAELI, W. et al. **Tecnologia dos plásticos**.: Editora Blucher, 1995. E-book. ISBN 9788521217305. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521217305/>. Acesso em: 30 out. 2022.

MICHAELI, W. et al. **Training in Injection Molding**. 2. ed. Munich: Hanser, 2001.

**Multi-injection**. Disponível em: <<https://www.billion.fr/en/products-solutions/multi-injection/>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

RIBEIRO, L. D. S. **Evolução Tecnológica E Automação Das Máquinas Injetoras**. São Paulo: Centro Tecnológico Da Zona Leste Faculdade De Tecnologia Da Zona Leste, 2009.

**Shibaura machine ISGT720 injection molding machine**. Disponível em: <<https://shibaura-machine.ca/injection-molding-machines/specifications/hydraulic/isgt/isgt720/>>. Acesso em: 8 nov. 2022.

YANG, Y. et al. **Injection Molding Process Control, Monitoring, and Optimization**. Munique, Germany: Hanser, 2016.

## APÊNDICE A – Tabela Verdade

Linha	E1	E2	E3	E4	E5	E6	S1	S2	S3	S4	S5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
12	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
14	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
18	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
19	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
20	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
21	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
22	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
23	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
24	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
26	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
27	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
28	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
29	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
30	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
31	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
33	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	<b>1</b>
34	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
35	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
36	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
37	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	<b>1</b>
38	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
39	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
40	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
41	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

42	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
43	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
44	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
45	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
46	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
47	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
48	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
49	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	<b>1</b>
50	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
51	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
52	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
53	1	1	0	1	0	1	<b>1</b>	0	0	<b>1</b>	<b>1</b>
54	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
55	1	1	0	1	1	1	<b>1</b>	0	<b>1</b>	<b>1</b>	0
56	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
57	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
58	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
59	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
60	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
61	1	1	1	1	0	1	<b>1</b>	0	0	<b>1</b>	0
62	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
63	1	1	1	1	1	1	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	0

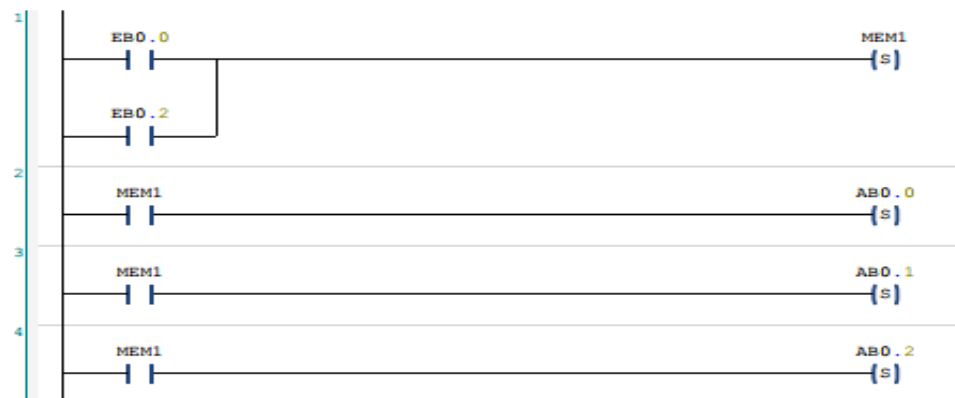
## APÊNDICE B – Código Ladder do Software Mastertool®

POU: UserPrg

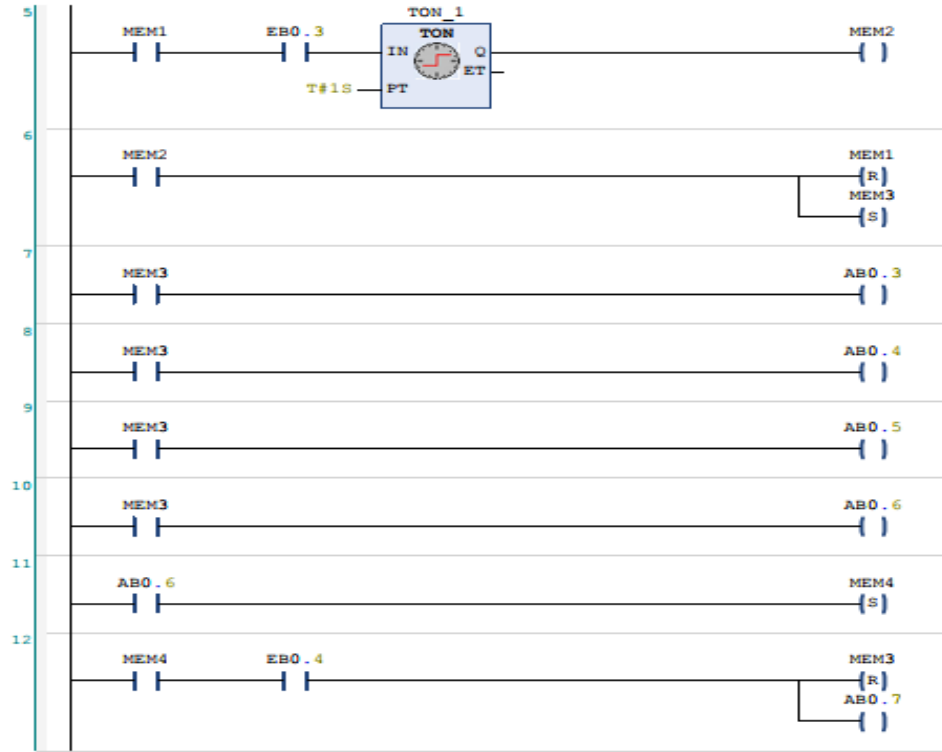
```

1      (*The main code inserted by the user and executed associated with the MainTask
2      must be inserted into this POU.*)
3      PROGRAM UserPrg
4      VAR
5          EBO : INT ;
6          ABO : INT ;
7
8          TON_0 : TON ;
9          CTU_0 : CTU ;
10         MEM : BOOL ;
11
12         //EBO.0: START
13         //EBO.1: STOP
14         //EBO.2: CICLO ÚNICO
15         MEM0 : BOOL ;
16         MEM1 : BOOL ;
17         MEM2 : BOOL ;
18         MEM3 : BOOL ;
19         MEM4 : BOOL ;
20         TON_1 : TON ;
21         CTU_1 : CTU ;
22         PECAS : WORD ;
23     END_VAR

```



POU: UserPrg



POU: UserPrg



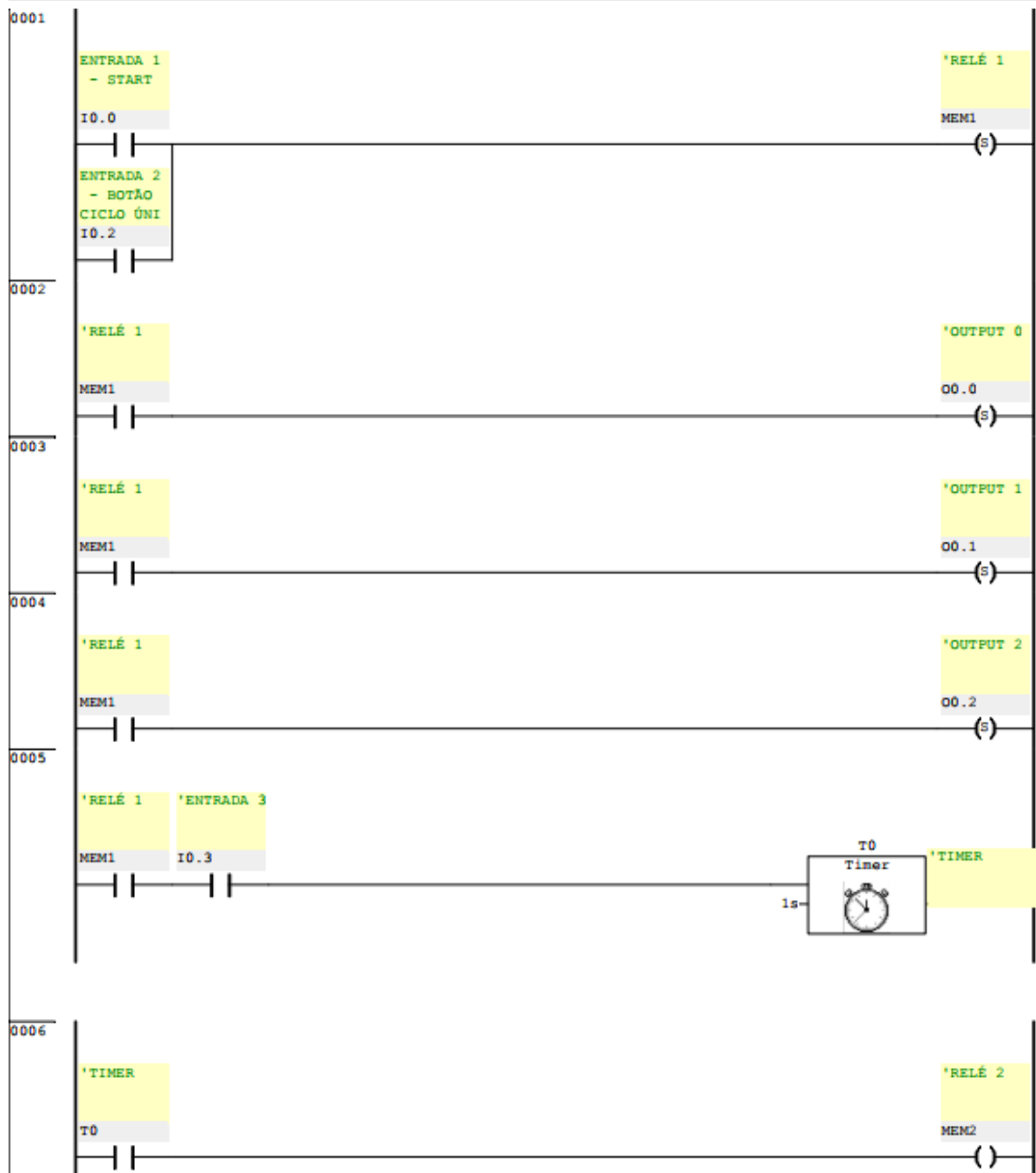
## APÊNDICE C – Código Ladder do software FST

FST - LDRINJ (No comment) - FEC Compact  
Allocation List

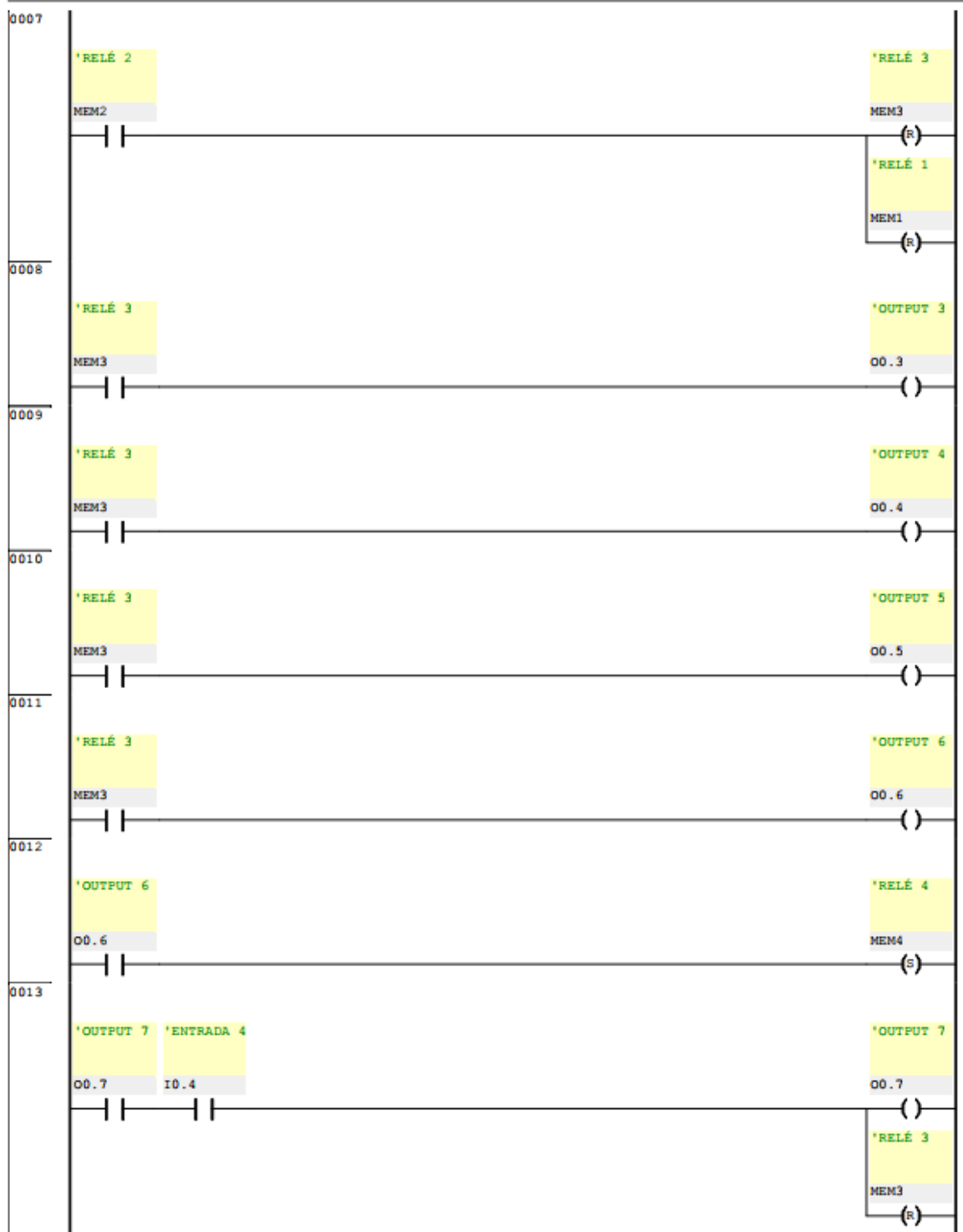
Operand	Symbol	Comment
O0.0	O0	OUTPUT 0
O0.1	O1	OUTPUT 1
O0.2	O2	OUTPUT 2
O0.3	O3	OUTPUT 3
O0.4	O4	OUTPUT 4
O0.5	O5	OUTPUT 5
O0.6	O6	OUTPUT 6
O0.7	O7	OUTPUT 7
I0.0	I0	ENTRADA 1
I0.1	I1	BOTÃO STOP
I0.2	I2	ENTRADA 2 - CICLO ÚNICO
I0.3	I3	ENTRADA 3
I0.4	I4	ENTRADA 4
I0.5	I5	ENTRADA 5
F0.1	MEM1	RELÉ 1
F0.2	MEM2	RELÉ 2
F0.3	MEM3	RELÉ 3
F0.4	MEM4	RELÉ 4
T0	TON_0	TIMER



FST - LDRINJ (No comment) - FEC Compact  
 Program 0 (V1) - No comment



FST - LDRINJ (No comment) - FEC Compact  
 Program 0 (V1) - No comment



FST - LDRINJ (No comment) - FEC Compact  
 Program 0 (V1) - No comment

