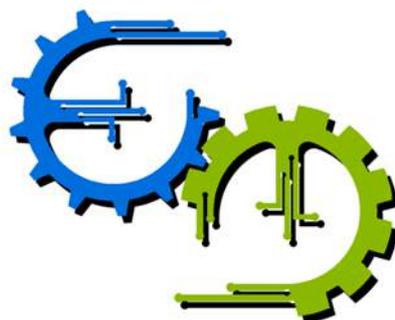


TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**INTEGRAÇÃO DOS MÓDULOS ENVASADOR E
TAMPADOR DE UMA BANCADA DIDÁTICA**

Carlos Alberto Alvares Rocha

Brasília, dezembro de 2018



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**INTEGRAÇÃO DOS MÓDULOS ENVASADOR E
TAMPADOR DE UMA BANCADA DIDÁTICA**

Carlos Alberto Alvares Rocha

*Relatório submetido como requisito parcial de obtenção
de grau de Engenheiro de Controle e Automação*

Profª. Aida Alves Fadel, ENM/UnB
Orientadora

Prof. Lélío Ribeiro Soares Júnior, ENE/UnB
Co-Orientador

Prof. Gerson Henrique Pfitscher, ENE/UnB
Examinador externo

Prof. Guilherme Caribe de Carvalho,
ENM/UnB
Examinador externo

Brasília, dezembro de 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

ROCHA, CARLOS A. A.

Integração dos módulos envasador e tampador de uma bancada didática,

[Distrito Federal] 2018.

vii, 79p., 297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2018). Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

1. Módulo Envasador

2. Módulo Tampador

3. CLP

4. Automação de Processos

I. Mecatrônica/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROCHA, C.A.A. (2018). Integração dos módulos envasador e tampador de uma bancada didática. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-*n*°19, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 79p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Carlos Alberto Alvares Rocha

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: Integração dos módulos envasador e tampador de uma bancada didática.

GRAU: Engenheiro

ANO: 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Carlos Alberto Alvares Rocha

SQN 410, BL , APT 305.

70865-080 Brasília – DF – Brasil.

Dedicatória

"Dedico esse trabalho aos meus pais Carlos e Aldair, por todo o apoio e confiança."

Carlos Alberto Alvares Rocha

Agradecimentos

Agradeço a todos os amigos que me ajudaram a fazer esse projeto possível. Agradeço também a minha família que sempre me apoiou em todas as minhas decisões dentro desse curso maravilhoso. Agradeço a Mecajun, minha casa dentro da Universidade, que me deu a oportunidade de crescer como pessoa e como profissional. Agradeço a minha irmã Carla que sempre esteve do meu lado. Não sei o que seria desse curso sem Rafaela Senhoroto e Mariana Pimentel. Meu amigo Daniel Amaral que iniciou esse projeto comigo e que será apenas o primeiro de muitos.

Carlos Alberto Alvares Rocha

RESUMO

O presente trabalho de graduação apresenta o projeto, desenvolvimento e testes de um sistema de integração de duas bancadas didáticas, envasadora e tampadora, objetos de estudo de trabalhos anteriores, no Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília (LSHP-FT/UnB). A nova estrutura foi montada utilizando perfis estruturais de alumínio e os sensores menos robustos foram substituídos por sensores de maior robustez. Todo o sistema de controle, envolvendo sensores digitais de proximidade e atuadores elétricos e pneumáticos, foi desenvolvido com a utilização de um Controlador Lógico-Programável (CLP). No projeto foi possível aprimorar os módulos e verificar as complicações que surgem na união das duas máquinas. Foi possível também a realização de vários testes objetivando melhorar a taxa de sucesso do processo.

Palavras Chave: Envasadora, Tampadora, Sistemas Hidráulicos, Sistemas Pneumáticos, Integração, CLP, Controle, Automação, Mecatrônica.

ABSTRACT

This graduation project presents the design, development and testing of an integration system of two didactic modules, filling and bottle capping modules, objects of study of previous works, in the Laboratory of Hydraulic and Pneumatic Systems of the Department of Mechanical Engineering of the University of Brasília (LSHP-FT / UnB). The new structure was assembled using structural aluminum extrusions and the less robust sensors were replaced by sensors of greater robustness. The entire control system, involving digital proximity sensors and electric and pneumatic actuators, was developed with the use of a Logic-Programmable Controller (PLC). In the project was possible to improve the modules and to verify the complications that arise in the union of the two machines. It was also possible to perform several tests to improve the success rate of the process.

Keywords: Filler, Bottle Capping Machine, Hydraulic Systems, Pneumatic Systems, Integration, PLC, Control, Automation, Mechatronics.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS DO PROJETO	2
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3	DOS TRABALHOS ANTERIORES	2
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2	Fundamentação Teórica	4
2.1	INTRODUÇÃO	4
2.2	SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS	4
2.2.1	DIAGRAMA TRAJETO-PASSO	4
2.2.2	VÁLVULAS PNEUMÁTICAS	5
2.2.3	CILINDROS PNEUMÁTICOS	6
2.2.4	BOMBAS HIDRÁULICAS	7
2.3	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	8
2.3.1	DISJUNTORES	8
2.3.2	CONTADORES	8
2.3.3	REDES TRIFÁSICAS	9
2.3.4	MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS	9
2.4	INSTRUMENTAÇÃO	10
2.4.1	SENSORES CAPACITIVOS	10
2.4.2	SENSORES INDUTIVOS	10
2.4.3	SENSORES ÓPTICOS	11
2.5	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL	11
2.5.1	PROGRAMAÇÃO LADDER	12
3	Desenvolvimento	14
3.1	INTRODUÇÃO	14
3.2	ENVASADORA	14
3.2.1	INTRODUÇÃO	14
3.2.2	ESTRUTURA	14
3.2.3	SENSORES	18
3.2.4	ATUADORES	19

3.2.5	SISTEMA DE CONTROLE	22
3.3	TAMPADORA	24
3.3.1	INTRODUÇÃO	24
3.3.2	ESTRUTURA	24
3.3.3	SENSORES.....	27
3.3.4	ATUADORES	29
3.3.5	SISTEMA DE CONTROLE	31
3.4	SISTEMA INTEGRADO	32
3.4.1	ESTRUTURA	32
3.4.2	SENSORES.....	37
3.4.3	ATUADORES	39
3.4.4	CIRCUITO PNEUMÁTICO	39
3.4.5	QUADRO ELÉTRICO	40
3.4.6	CLP.....	41
3.4.7	MANUAL DA MÁQUINA	43
4	Apresentação e Discussão dos Resultados	44
4.1	INTRODUÇÃO	44
4.2	TESTES	45
4.2.1	TESTE SENSORES	45
4.2.2	TESTE ENVASADORA.....	45
4.2.3	TESTE CAMINHO DAS GARRAFAS E TAMPAS.....	46
4.2.4	TESTE CONTROLE DE QUALIDADE	48
4.2.5	TESTE <i>Buffer</i> DE SAÍDA.....	49
4.2.6	TESTE COMPLETO	49
4.3	DOS PROBLEMAS ENCONTRADOS	51
5	Conclusões.....	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
	Apêndice	56
I.1	DIAGRAMA ELÉTRICO	57
I.2	DIAGRAMA PNEUMÁTICO	58
I.3	ROTINAS CLP	59
I.4	COTAGEM DA ESTRUTURA	65
I.5	MANUAL DA MÁQUINA.....	67

LISTA DE FIGURAS

1.1	Diagrama do processo industrial.....	1
2.1	Diagrama Trajeto-passo [3].....	5
2.2	Válvula reguladora de fluxo unidirecional [4].....	5
2.3	Tipos de válvulas direcionais [4].	6
2.4	a) Cilindro de simples ação; b) Cilindro de dupla ação [adaptado de 4].....	7
2.5	Classificação dos tipos de bomba [6].	7
2.6	Parte interna de dois modelos de disjuntor [9].	8
2.7	Simbologia de um contator [10].	9
2.8	Vista em corte de um motor de indução trifásico [11].....	10
2.9	Funcionamento do sensor capacitivo [13].	10
2.10	Funcionamento do sensor indutivo [13].....	11
2.11	Funcionamento do sensor óptico [13].	11
2.12	Principais blocos da programação ladder em ambiente SPDSW [adaptado de 15].....	12
2.13	Exemplo de programa em <i>ladder</i>	13
3.1	Foto do módulo envasador comissionado no projeto [1].....	15
3.2	Esquemático do módulo envasador [adaptado de 1].....	15
3.3	Adaptações na tubulação da máquina envasadora. a) Saída do reservatório; b) Entrada do bico injetor.....	16
3.4	Fixações na base da máquina envasadora.	16
3.5	Bico Injetor da máquina envasadora.	17
3.6	Sensoriamento do módulo envasador [adaptado de 1].	18
3.7	Sensor TCRT5000 [16].....	18
3.8	Sensor óptico IDCL 10-18 DPT.....	19
3.9	Válvula solenoide do bico injetor.	20
3.10	Bomba Hidráulica RS-385.	20
3.11	Circuito auxiliar para o acionamento da bomba e da válvula (ver Apêndice 1).	22
3.12	Sistema de controle do módulo envasador [1].....	23
3.13	Foto do módulo tampador [2].....	24
3.14	Componentes do módulo tampador [adaptado de 2].....	25
3.15	Sistema de coleta e posicionamento de tampas [2].	26
3.16	Portinhola do <i>buffer</i> [2].	26
3.17	Sensores capacitivo e óptico do controle de qualidade.....	28

3.18	Sensor óptico da fila de tampas.	28
3.19	Circuito auxiliar para o acionamento das contadoras (ver Apêndice 1).	30
3.20	a) Cilindro utilizado no ato de tampar; b) Cilindro utilizado no controle de qualidade.	30
3.21	Válvula de controle de vazão unidirecional utilizada no controle de qualidade.	30
3.22	CLP ZAP900 acoplado ao painel didático ZTK900.	31
3.23	Perfil de alumínio.	32
3.24	Modelagem da nova estrutura.	33
3.25	Estrutura de fixação montada com o alumínio estrutural.	33
3.26	Fixação da chapa da esteira.	34
3.27	Material e costura da esteira.	34
3.28	Extensor da esteira.	35
3.29	Peça prototipada para a fixação das guias.	35
3.30	Filetes para a fixação na estrutura.	36
3.31	Guias de alinhamento das garrafas.	36
3.32	Posicionamento dos sensores.	37
3.33	Esquemático do posicionamento dos sensores.	38
3.34	Esquemático do posicionamento dos atuadores.	39
3.35	Diagramas trajeto-passo.	40
3.36	Quadro elétrico do sistema lógico.	40
3.37	Ambiente de desenvolvimento SPDSW com conexão ativa.	42
4.1	Sistema completo.	44
4.2	Teste dos sensores no depurador do SPDSW.	45
4.3	Gráfico do tempo de envasamento com e sem a bomba.	46
4.4	a) Garrafa caindo na portinhola; b) Folga entre a tampa e a parte superior da portinhola; c) Tampas travando na estrutura.	47
4.5	Tampa utilizada no processo.	47
4.6	Fluxograma do código de teste do controle de qualidade.	48
4.7	Fluxograma do código de teste completo.	50
4.8	Pontos críticos do sistema.	50
1	Diagrama elétrico.	57
2	Diagrama pneumático.	58
3	Código utilizado no teste dos sensores.	59
4	Código utilizado no teste do controle de qualidade (1º parte).	60
5	Código utilizado no teste do controle de qualidade (2º parte).	61
6	Código utilizado no teste do sistema completo (1º parte).	62
7	Código utilizado no teste do sistema completo (2º parte).	63
8	Código utilizado no teste do sistema completo (3º parte).	64
9	Cotagem da vista frontal da estrutura.	65
10	Cotagem da vista lateral da estrutura.	66
11	Cotagem da vista superior da estrutura.	66

LISTA DE TABELAS

3.1	Especificações do sensor TCRT5000 [16].....	18
3.2	Especificações do sensor IDCL 10-18 DPT [17].	19
3.3	Especificação do cilindro do bico injetor.	19
3.4	Especificações da válvula solenoide do bico injetor.	20
3.5	Especificações da bomba hidráulica RE-385.	21
3.6	Especificações da fonte de 12VDC.	21
3.7	Especificações dos relés AX1RC3 [18].	21
3.8	Especificações do diodo 1N5819 [19].	22
3.9	Componentes do módulo tampador [2].....	25
3.10	Especificações dos sensores indutivos.	27
3.11	Especificações dos sensores do controle de qualidade.....	27
3.12	Especificações do sensor óptico da fila de tampas.	28
3.13	Especificação do motor da esteira.	29
3.14	Especificação do motor de posicionamento de tampas.	29
3.15	Especificação da contatora de acionamento dos motores.	29
3.16	Identificação dos sensores do sistema completo.	38
3.17	Identificação dos atuadores do sistema completo.	39
3.18	Especificação dos disjuntores.	41
3.19	Portas I/O.....	42
3.20	Temporizadores do sistema.....	43
4.1	Resultado do ensaio do temporizador da envasadora.....	46
4.2	Resultado do teste no <i>buffer</i> de saída	49
4.3	Resultados do teste completo.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas

SHP	<i>Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos</i>
LSHP	<i>Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos da UnB</i>
UNB	<i>Universidade de Brasília</i>
FT	<i>Faculdade de Tecnologia</i>
GRACO	<i>Grupo de Automação e Controle</i>
SG-9	<i>Laboratório da Engenharia Mecânica</i>
CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
CQ	<i>Controle de Qualidade</i>
SPDSW	<i>Sistema para Programação, Documentação e Supervisão em plataformas Windows</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

A crescente automação na indústria, tanto de manufatura quanto de serviços, motivada pela indústria 4.0 e seus conceitos, requer cada vez mais que os sistemas outrora independentes, funcionem integrados uns aos outros. Tal integração torna os processos mais rápidos, mais econômicos e com um grau maior de controlabilidade e confiabilidade, além de permitir melhorias nos processos por meio da constante coleta de dados.

O LSHP no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília possui algumas bancadas didáticas que foram objeto de trabalho de diversos projetos no decorrer dos anos. Duas dessas bancadas serão tratadas nesse trabalho: os módulos Envasador e o Tampador. Existe também o projeto para um terceiro módulo, o Empacotador.

Num contexto industrial essas máquinas possuem o papel fundamental para a produção em larga escala de produtos alimentícios e farmacêuticos que necessitam um alto grau de homogeneidade em seus produtos envasados. Já num contexto didático as bancadas surgem para suprir um problema que existe na universidade que é a falta de contato dos alunos de graduação com laboratórios abertos que permitam o contato com CLPs em um contexto de automação industrial.

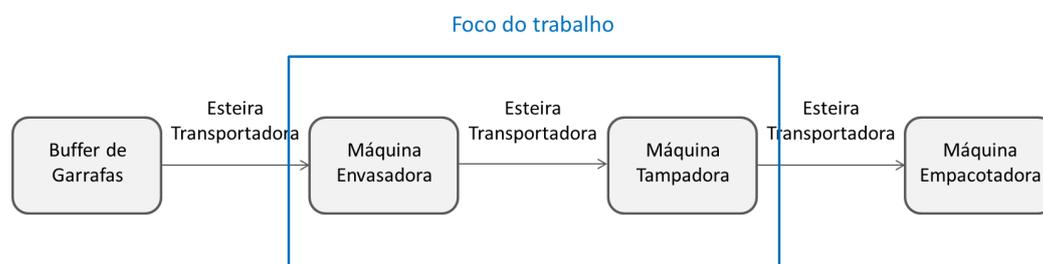


Figura 1.1: Diagrama do processo industrial.

As bancadas foram desenvolvidas de forma independente, porém, sempre houve o interesse de fazê-las funcionarem de modo integrado simulando uma linha de produção completa. Esse

trabalho visa o projeto de um novo sistema composto pelas duas plantas, mostrado na Figura 1.1, que possa ser utilizado no laboratório como objeto didático de estudo para diversas disciplinas dentro da Universidade de Brasília.

1.2 Objetivos do projeto

O projeto tem como objetivo a integração das bancadas didáticas presentes no LSHP em uma única linha, visando a simulação de uma linha industrial, para estudos futuros de sistemas hidráulicos e pneumáticos, automação de processos, programação de controladores lógico programáveis, sistemas de tempo real, técnicas de controle, internet das coisas e indústria 4.0.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Projetar uma nova linha industrial didática no Laboratório de SHP, que integrará as bancadas envasadora e tampadora;
- Construir uma estrutura que comporte as duas máquinas, envasadora e tampadora, e um sistema de transporte compatível.
- Desenvolver um sistema de controle único, eliminando redundâncias de controle, utilizando CLP através da programação em *Ladder*;
- Organizar e estruturar o cabeamento e o quadro elétrico para facilitar a utilização e entendimento futuro;
- Testar e avaliar os principais problemas que surgem com a integração do sistema.
- Otimizar os processos e resolver problemas deixados por trabalhos anteriores.
- Desenvolver um manual da máquina, contendo informações construtivas e de funcionalidade, que possa servir como guia de utilização para uso futuro.

1.3 Dos trabalhos anteriores

Esse trabalho é uma continuação dos trabalhos de título Desenvolvimento dos módulos envasador e empacotador de uma bancada didática [1] e *Retrofitting* de uma bancada tampadora para aplicações didáticas [2].

1.4 Estrutura do trabalho

O capítulo 2 aborda toda a fundamentação teórica necessária para a realização deste trabalho. No capítulo 3 são apresentadas, resumidamente, as bancadas e todas as metodologias e aprimoramentos realizados durante o desenvolvimento do projeto. O capítulo 4 apresenta todos os testes

e os resultados experimentais obtidos com a bancada, junto com as dificuldades encontradas e os problemas solucionados, No capítulo 5 são apresentadas as conclusões e os desafios para os trabalhos futuros. Na seção dos apêndices, são encontrados os diagramas elétricos e pneumáticos, assim como todos os códigos utilizados nos testes e a cotação da bancada comissionada.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Introdução

A máquina desenvolvida neste trabalho utiliza diversos componentes elétricos e mecânicos que são tratados no curso de Engenharia Mecatrônica. Entender o funcionamento e o uso desses componentes é de fundamental importância para o entendimento do projeto como um todo.

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica, dividida pelas áreas de conhecimento, abordando ferramentas, sensores, atuadores, dispositivos de segurança, acionamento e controle utilizados no trabalho.

2.2 Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

2.2.1 Diagrama Trajeto-passo

O diagrama trajeto-passo é uma ferramenta muito utilizada no contexto hidráulico e pneumático para ilustrar o acionamento de atuadores em função dos eventos realizados no processo. O DTP, de acordo com [3], "serve para representar a sequência de movimento, analisar o funcionamento do circuito pneumático, e identificar os possíveis problemas que deverão ser solucionados através da correta especificação e posicionamento das válvulas e dos fins de curso necessários".

Um exemplo pode ser mostrado na Figura 2.1. A sequência de movimentos é definida pelos sensores 1.3, 2.3, 2.2, conforme representado pelo diagrama em forma de tabela, à esquerda dos atuadores, onde cada linha equivale a um atuador e cada coluna representa um movimento distinto realizado pelo atuador. No sistema apresentado um atuador A é acionado a partir de uma válvula 1.2 e ao chegar ao final de seu curso é identificado pelo sensor 2.2 que aciona o atuador B. Quando o cilindro B chega ao seu fim de seu curso acusado pelo sensor 1.3 o atuador A então retorna acionando o sensor 2.3 que causa o retorno do atuador B.

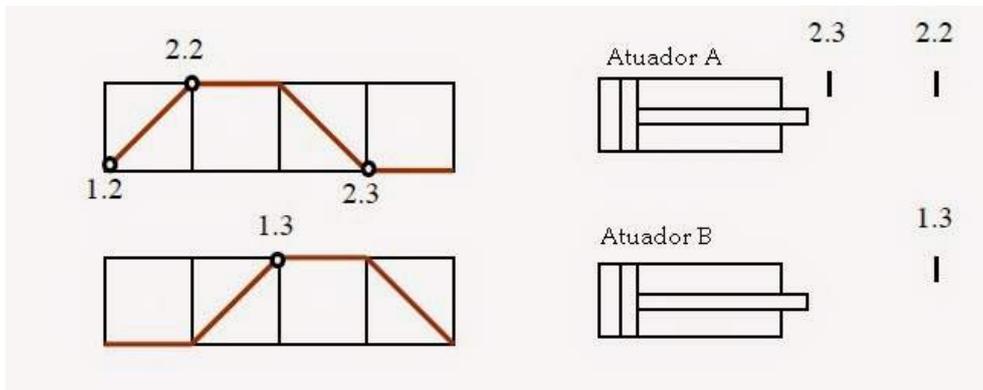


Figura 2.1: Diagrama Trajeto-passo [3].

2.2.2 Válvulas Pneumáticas

São todas as válvulas que realizam o controle e a manipulação do fluxo de ar comprimido ao receberem um impulso pneumático, mecânico ou elétrico.

2.2.2.1 Válvulas de Controle de Pressão

As válvulas de controle de pressão possuem a função de controlar o fluxo de ar que alimenta determinado componente. Controlar o fluxo, portanto, significa controlar a velocidade, pois a velocidade de um atuador é diretamente proporcional ao fluxo, ou seja, quanto maior for o fluxo de ar agindo sobre o atuador, maior será a sua velocidade. A Figura 2.2 mostra uma válvula reguladora de fluxo unidirecional. Esse tipo de válvula é útil quando existe a necessidade de um acionamento mais lento de um atuador em apenas um dos sentidos do movimento.

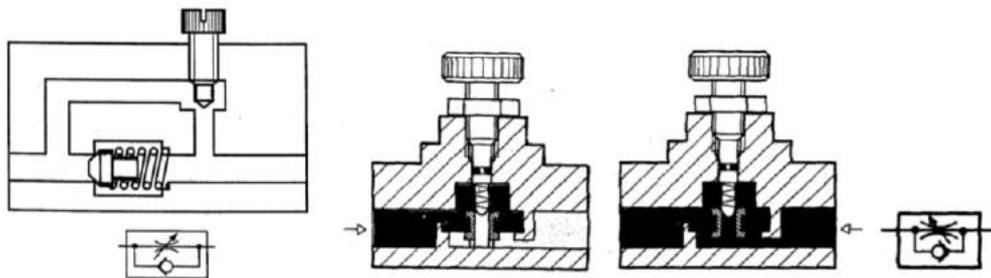


Figura 2.2: Válvula reguladora de fluxo unidirecional [4].

2.2.2.2 Válvulas de Controle Direcional

Também conhecidas como distribuidores de ar, são as válvulas responsáveis por fazer o controle da direção do fluxo de ar comprimido nos sistemas pneumáticos. O seu funcionamento leva em consideração as posições de comutação da válvula, o número de conexões e o tipo de acionamento. A nomenclatura das válvulas é determinada pela quantidade de conexões e de posições que elas

possuem, e a representação é feita por um retângulo, para cada posição da válvula, que contém o fluxo de ar em cada conexão, como mostra a Figura 2.3. O acionamento pode ser mecânico, elétrico, pneumático ou uma combinação desses tipos.



Figura 2.3: Tipos de válvulas direcionais [4].

2.2.3 Cilindros Pneumáticos

De acordo com [5], são atuadores pneumáticos lineares "constituídos por um tubo cilíndrico, tendo uma de suas extremidades fechada por uma tampa, a qual contém uma conexão que serve para admissão e exaustão do ar, e na outra extremidade, outra tampa com igual característica, porém dotada ainda de um furo central pelo qual se movimenta uma haste que, na extremidade interna ao cilindro, possui um êmbolo com vedação, que pela ação do ar expandindo-se no interior do tubo cilíndrico, possibilita o movimento de expansão ou retração dessa haste".

Dois atuadores pneumáticos lineares bem comuns são os cilindros de simples ação e os de dupla ação. O cilindro de simples ação, mostrado na Figura 2.4 a), consiste em um pistão e uma mola, quando a pressão é reduzida a mola retorna a posição do pistão. Já o cilindro de dupla ação,

mostrado Figura 2.4 b), tem a sua atuação feita por ar comprimido nas duas direções.

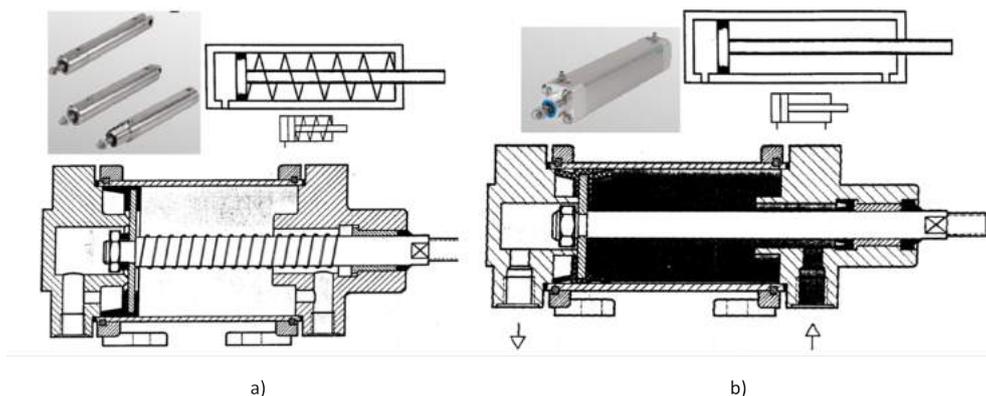


Figura 2.4: a) Cilindro de simples ação; b) Cilindro de dupla ação [adaptado de 4].

2.2.4 Bombas Hidráulicas

As bombas hidráulicas, como a da Figura 2.5, são equipamentos rotativos utilizados para bombear fluidos, ou seja, transformar a energia mecânica em vazão, de forma que possam desempenhar um trabalho. A ação mecânica cria um vácuo parcial na tubulação de entrada da bomba, permitindo que a pressão atmosférica force o fluido do reservatório a escoar pela tubulação. Elas podem ser classificadas em dois principais grupos: as bombas de deslocamento positivo e as bombas centrífugas.

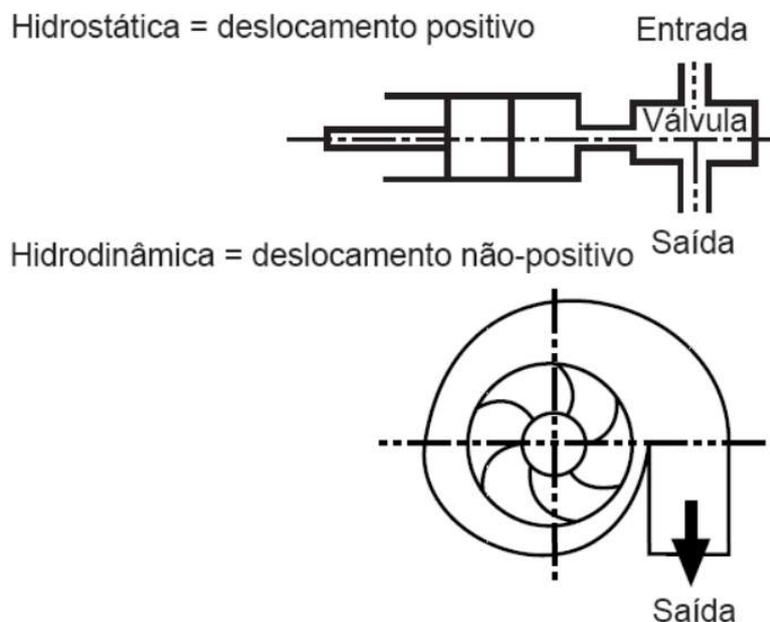


Figura 2.5: Classificação dos tipos de bomba [6].

As bombas de deslocamento positivo, ou volumétricas, fornecem uma determinada quantidade de fluido a cada rotação. Essa movimentação de fluido, de acordo com [6], "é causada diretamente

pela ação do órgão de impulsão da bomba que obriga o fluído a executar o mesmo movimento a que está sujeito este impulsor (êmbolo, engrenagens, lóbulos, palhetas)". Já as bombas centrífugas, ou hidrodinâmicas, possuem um órgão rotatório que exerce forças sobre o líquido que resultam da aceleração que lhe imprime. A movimentação do fluído, segundo [6], "ocorre pela ação de forças que se desenvolvem na massa do mesmo, em consequência da rotação de um eixo no qual é acoplado um disco (rotor, impulsor) dotado de pás (palhetas, hélice), o qual recebe o fluído pelo seu centro e o expulsa pela periferia, pela ação da força centrífuga".

2.3 Instalações Elétricas

2.3.1 Disjuntores

Em instalações elétricas residenciais, comerciais ou industriais, é importante garantir o funcionamento adequado do sistema para quaisquer condições de operação, de forma a proteger as pessoas, os equipamentos e a rede elétrica de possíveis acidentes provocados por alterações de corrente, como curto-circuitos [7].

O disjuntor, apresentado na Figura 2.6, é um equipamento eletromecânico que possui como objetivo proteger as instalações elétricas dessas alterações. Se a corrente elétrica que passa por ele ultrapassa o seu valor nominal, ele então interrompe o circuito impedindo o fornecimento de energia, assim evitando que o circuito e os equipamentos alimentados por ele se danifiquem [8].

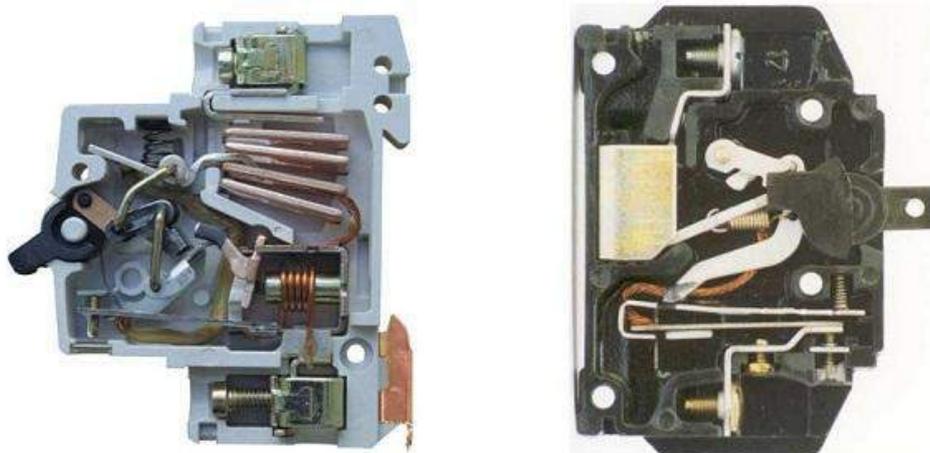


Figura 2.6: Parte interna de dois modelos de disjuntor [9].

2.3.2 Contatores

Também conhecidos como contadoras ou contactoras são, de acordo com [7], dispositivos com dois circuitos básicos, de comando e de força, onde o primeiro opera com corrente pequena,

apenas o suficiente para operar uma bobina, que fecha o contato do circuito de força. Consistem, portanto, em chaves elétricas de quatro ou mais contatos que são acionadas pelo sinal enviado ao circuito de comando. A Figura 2.7 mostra a representação de um contator onde os terminais A1 e A2 correspondem à atuação eletromagnética da bobina (sinal de controle), que age sobre os contatos principais (circuito de força) representados pelos terminais L e T. A contatora também pode possuir contatos auxiliares normalmente abertos ou fechados, no exemplo da Figura 2.7 a contatora possui um contato auxiliar normalmente aberto.

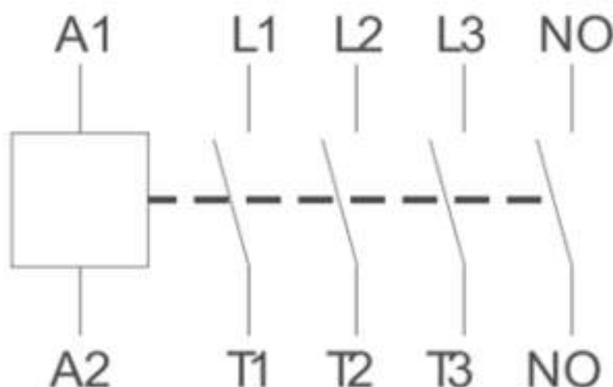


Figura 2.7: Simbologia de um contator [10].

2.3.3 Redes Trifásicas

Atualmente, a maior parte da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica do mundo se dá de forma trifásica. As três fases são geradas pelos enrolamentos do gerador e encontram-se defasadas de 120° entre si. Essa propriedade de simetria, que a torna muito mais eficiente em comparação com três sistemas monofásicos isolados, reduz as perdas e garante uma maior economia para a mesma potência [7].

2.3.4 Motores de Indução Trifásicos

Motores trifásicos são encontrados facilmente dentro das indústrias, como por exemplo dentro do torno, fresa, esteiras e diversas outras máquinas, mas fora das indústrias encontram-se motores trifásicos em um elevador ou em uma escada rolante por exemplo.

Motores elétricos são máquinas capazes de transformar a energia elétrica em mecânica. O motor de indução trifásico, mostrado na Figura 2.8, é alimentado por um sistema trifásico que passa pelos enrolamentos do estator, que é a parte fixa do motor. Com a passagem de corrente no estator cria-se um campo magnético girante que produz movimento no rotor, parte móvel do motor. Isso é possível porque "a interação magnética entre o campo do rotor e do estator fornece um conjugado mecânico que atua no sentido de fazer o campo magnético do rotor acompanhar o campo girante do estator"[11].

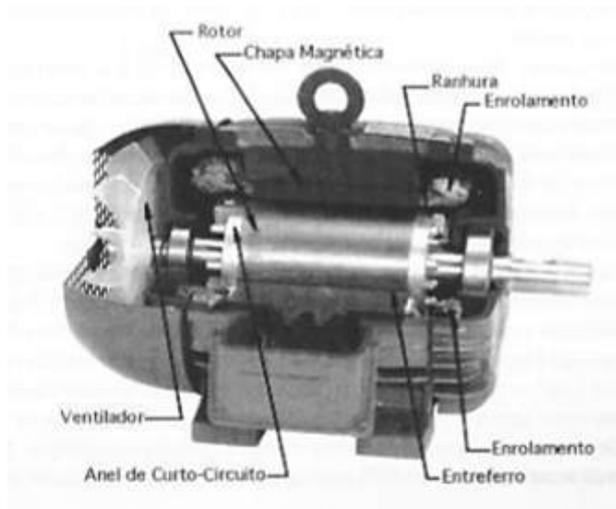


Figura 2.8: Vista em corte de um motor de indução trifásico [11].

2.4 Instrumentação

2.4.1 Sensores Capacitivos

Os sensores capacitivos de proximidade, por meio da geração de um campo eletrostático, permitem a detecção de um alvo que se aproxima da superfície sensível do sensor. O sensor consiste de uma ponta de prova capacitiva, um oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtro e um circuito de saída. Na ausência de um alvo o oscilador fica inativo. Quando um alvo se aproxima, ele gera um aumento na capacitância da ponta de prova que, ao alcançar um valor especificado, ativa o oscilador excitando o circuito de saída [12]. Esse funcionamento está ilustrado na Figura 2.9. O sensor capacitivo é capaz de identificar líquidos, sólidos, metais e não metais através de certos materiais, como caixas de produtos ou embalagens, o que o torna muito útil para aplicações industriais.

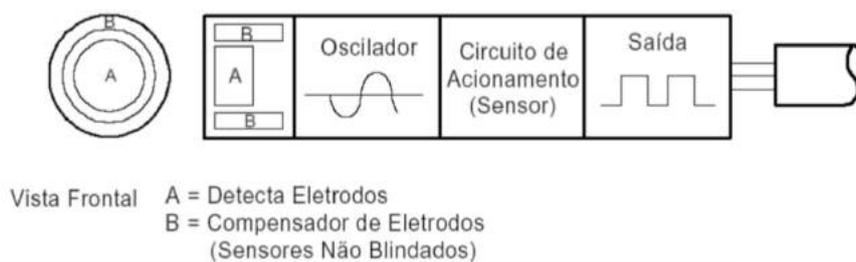


Figura 2.9: Funcionamento do sensor capacitivo [13].

2.4.2 Sensores Indutivos

O sensores de proximidade indutivos são sensores que utilizam de campos magnéticos variáveis para a detecção de objetos metálicos. Ele é formado por uma bobina, um oscilador, um circuito acionador, e uma saída de estado sólido. Quando um objeto metálico é inserido na região do

campo magnético gerado pelo oscilador e bobina, correntes de superfície são induzidas no objeto resultando na perda de energia no circuito do oscilador e como consequência ocorre uma redução na amplitude de oscilação. Essa redução é detectada pelo circuito acionador, que gera um sinal para comutar a saída [13]. Esse funcionamento está ilustrado na Figura 2.10.

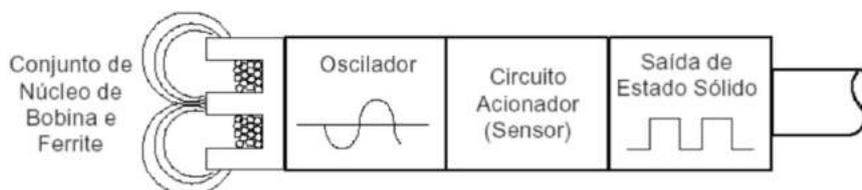


Figura 2.10: Funcionamento do sensor indutivo [13].

2.4.3 Sensores Ópticos

Os sensores ópticos ou fotoelétricos são dispositivos que utilizam o processo de emissão e recepção de raios de luz e, de acordo com [14], "são usados para detecção de qualquer tipo de substâncias ou materiais, conforme seu índice de reflexão ou difração". A mudança na luz permite que o sensor detecte a presença ou a ausência do objeto, assim como a sua capacidade refletora, opacidade, transparência e cor. Em geral existem 3 modelos de sensor, O sensor barreira, possui o seu transmissor e receptor dispostos em frente um do outro, de forma que haja a recepção do feixe transmitido, e o acionamento ocorre quando o feixe for interrompido pelo objeto. O sensor difuso, apresentado na Figura 2.11 é acionado com a entrada do objeto na sua região de sensibilidade, refletindo para o receptor o feixe de luz enviado pelo transmissor. Já o retro reflexivo possui um espelho refletor responsável por intermediar o feixe de luz entre o transmissor e o receptor, e o acionamento ocorre quando o objeto interrompe esse feixe.

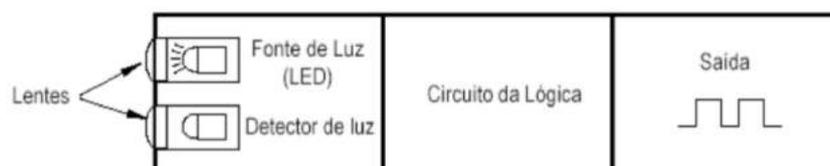


Figura 2.11: Funcionamento do sensor óptico [13].

2.5 Controlador Lógico Programável

Os CLPs, do inglês PLCs (*Programmable Logic Controller*) são dispositivos eletrônicos que controlam máquinas e processos. Eles possuem uma memória programável que armazena instruções para executar funções específicas incluindo "controle de energização/desenergização, temporização, contagem, sequenciamento, operações matemáticas e manipulação de dados"[5].

Os primeiros modelos de CLP surgiram no final da década de 1960, fazendo sucesso quase imediato. Esse sucesso foi devido ao fato desses equipamentos serem mais confiáveis que os siste-

mas baseados em relés, principalmente devido aos seus componentes de estado sólido serem mais robustos quando comparados com as peças móveis dos relés eletromecânicos.

Eles reduziram a necessidade de fiação e com isso os custos de materiais, mão-de-obra, instalação também foram minimizados. A sua memória programável permitiu a flexibilização na troca dos esquemas de controle, e o fato deles ocuparem menos espaço que os componentes de controle anteriormente utilizados (contatores, temporizadores, etc.), garantiram o seu espaço no contexto industrial.

2.5.1 Programação Ladder

As linguagens de programação estabelecem regras para combinar as instruções de forma que gerem as ações desejadas, Dentro do contexto de controladores lógicos programáveis a mais conhecida, e tradicionalmente utilizada, é a *ladder*. Ela surgiu a partir dos diagramas *ladder* elétricos, que "representam a maneira como a corrente elétrica circula pelos dispositivos de forma a completar um circuito elétrico"[5].

A Figura 2.12 mostra a representação e descrição de alguns dos principais blocos da programação *ladder* no software SPDSW.

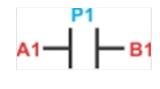
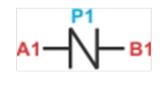
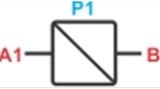
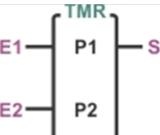
Símbolo	Nome	Descrição
	Contato normalmente aberto (NA)	Se a bobina do relé associado estiver desenergizada, ele estará aberto interrompendo o circuito lógico. Se a sua bobina estiver energizada, ele estará fechado, deixando que o circuito se complete através dele.
	Contato normalmente fechado (NF)	Se a bobina do relé associado estiver energizada, ele estará aberto interrompendo o circuito lógico. Se a sua bobina estiver desenergizada, ele estará fechado, deixando que o circuito se complete através dele.
	Relé (Bobina)	Se uma bobina estiver associada a um operador O, ele estará representando o estado de uma bobina de relé associada a uma saída digital do controlador. Se estiver associado a um operador R, ele estará representando o estado de uma bobina de um relé auxiliar.
	Temporizador	Ele opera, basicamente, ativando a saída após a contagem de um tempo pré-programado. Este tempo é especificado no parâmetro P2 e seu valor é dado em múltiplos de 10ms.

Figura 2.12: Principais blocos da programação ladder em ambiente SPDSW [adaptado de 15].

No exemplo da Figura 2.13 a ativação dos componentes A ou B e a não ativação de C promove o acionamento do componente D, que pode ser um atuador ou um relé lógico. Os componentes A, B e C podem ser chaves, sensores ou variáveis lógicas.

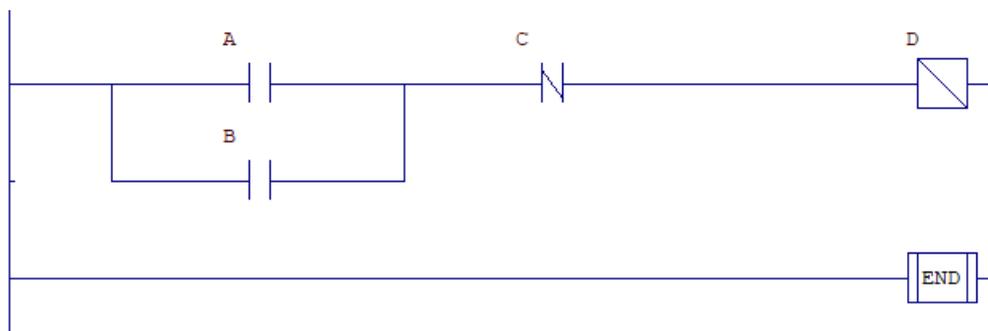


Figura 2.13: Exemplo de programa em *ladder*.

Capítulo 3

Desenvolvimento

3.1 Introdução

Este capítulo abordará a descrição das bancadas Envasadora e Tampadora e todos os aprimoramentos realizados para a integração do sistema em uma linha de produção única.

No momento do início desse trabalho as máquinas não estavam operacionais, seja por falhas na documentação ou por falta de elementos fundamentais para o funcionamento das bancadas. Primeiramente essas complicações tiveram que ser resolvidas de forma a permitir o desempenho completo das bancadas individuais. Em seguida começou o trabalho de integração tanto estrutural e de transporte, quanto eletrônica e de controle alertando sempre para a documentação e correta identificação dos componentes e do quadro elétrico de forma a facilitar o uso futuro.

3.2 Envasadora

3.2.1 Introdução

A máquina envasadora, mostrada na Figura 3.1, foi comissionada, ou seja, projetada, montada e testada, em um trabalho de graduação desenvolvido em 2016 [1].

Esta máquina é responsável por envasar líquidos. Seu propósito é prover o enchimento de recipientes com líquidos sem haver contato humano com o produto. No caso da máquina desenvolvida no laboratório, todo o processo é automatizado para promover rapidez, precisão e higiene.

3.2.2 Estrutura

O módulo envasador é composto pelos componentes descritos e mostrados na Figura 3.2. Com a adaptação da estrutura para o novo sistema de transporte toda a esteira (itens 6, 7, 8, 9 e 10).

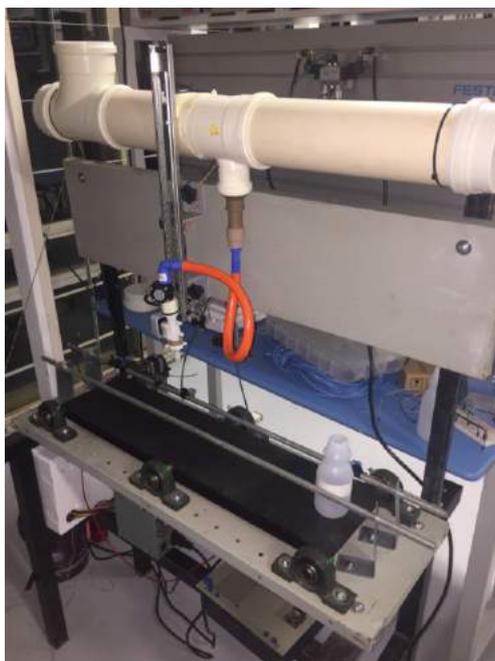


Figura 3.1: Foto do módulo envasador comissionado no projeto [1].

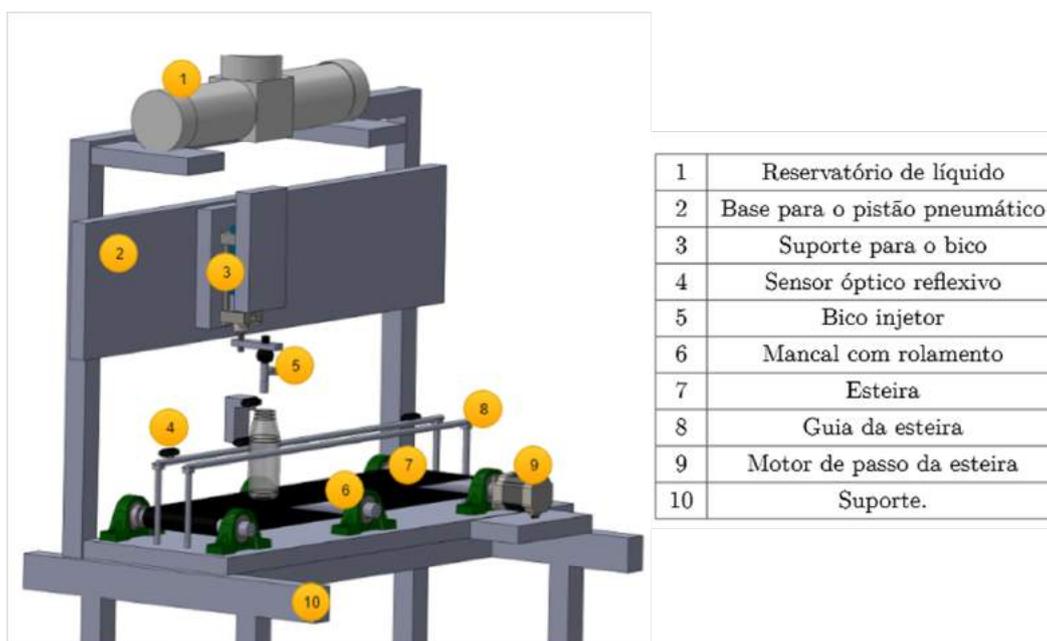


Figura 3.2: Esquemático do módulo envasador [adaptado de 1].

O bico injetor, o reservatório e o pistão foram movidos para uma nova base já integrada à tampadora. Durante o processo de adaptação da estrutura, a mangueira ligando o reservatório ao bico injetor foi substituída por uma tubulação de 4mm de diâmetro. Por isso, foi necessário modificar a saída do reservatório assim como a entrada do bico injetor para a nova tubulação conforme mostra a Figura 3.3.

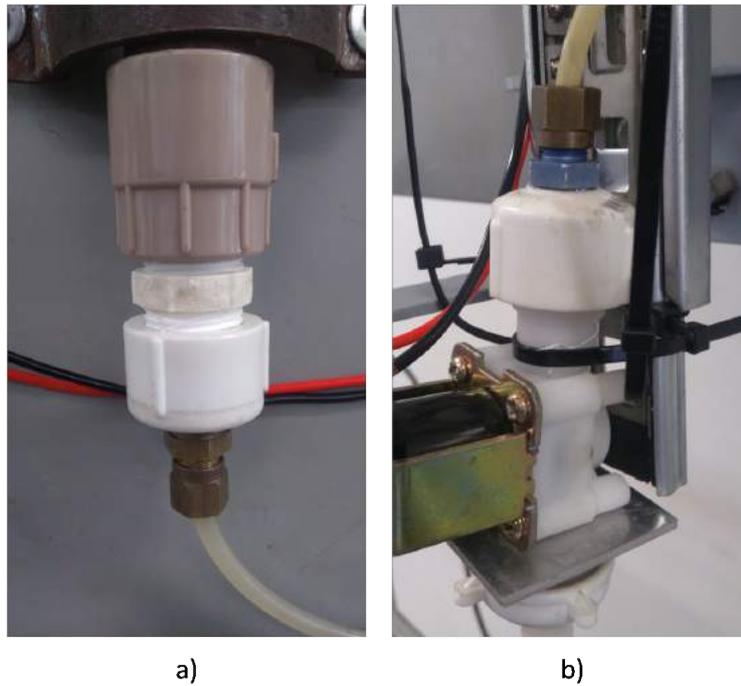


Figura 3.3: Adaptações na tubulação da máquina envasadora. a) Saída do reservatório; b) Entrada do bico injetor.

Houve também a adição de uma bomba hidráulica ao sistema, detalhada na seção 3.2.4, que necessitou ser fixada na mesma base do pistão pneumático. Outras alterações estruturais foram realizadas para melhor estabilizar o reservatório, que anteriormente era preso por abraçadeiras plásticas, como a fixação da saída do reservatório com uma braçadeira metálica parafusada na estrutura. Essas alterações podem ser observadas na Figura 3.4.

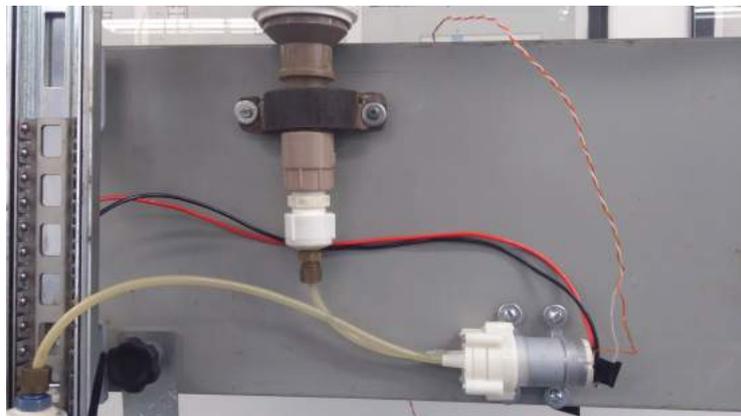


Figura 3.4: Fixações na base da máquina envasadora.

3.2.2.1 Bico Injetor

O bico injetor, além de um bico comum de torneira, possui em sua estrutura uma válvula solenoide (12VDC) que responde a um relé conectado ao CLP. A válvula serve para liberar ou

não o fluxo de água, conforme solicitado. Para saber se já foi liberado líquido suficiente para encher a garrafa, um sensor de fluxo havia sido acoplado ao sistema. Ele ia recebendo informações e encaminhando ao Arduino à medida que o líquido passava por ele. Este sensor encontrava-se entre a válvula e a mangueira, conectado a eles através de luvas, uma de cada lado. No intuito de evitar ao máximo desperdícios, mesmo que apenas respingos, é necessário que o bico entre na abertura da garrafa antes de liberar o líquido. Para tanto, todo esse sistema foi colocado em um pistão e, para garantir que quando o pistão for ativado o bico percorra uma trajetória linear, foi preso a um trilho.

Com a remoção do sensor de fluxo, detalhada em 3.2.3, o novo bico injetor ficou mais simples consistindo apenas do encanamento, a válvula solenoide e o bico de torneira. Para ser fixado no pistão foi necessário a usinagem de um filete de alumínio que permitisse parafusar o bico na haste do pistão. O novo bico pode ser observado na Figura 3.5.



Figura 3.5: Bico Injetor da máquina envasadora.

3.2.3 Sensores

A bancada envasadora idealmente possuiria 4 sensores ópticos reflexivos distribuídos ao decorrer de sua estrutura, porém o sensor IR1 foi removido junto com o *buffer* de garrafas durante o comissionamento do projeto. O sensor IR2 identifica a garrafa no início da esteira. O sensor IR3 fica alinhado ao bico injetor e identifica o momento em que a garrafa assume a posição desejada para o acionamento do bico. O sensor IR4 é o sensor de vazão, acoplado a um Arduino que, a partir da leitura do sensor, calcula a quantidade de líquido despejada na garrafa. A Figura 3.6 mostra o posicionamento dos sensores utilizados no módulo envasador

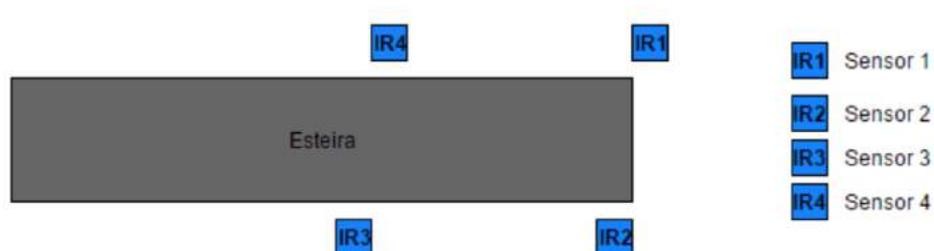


Figura 3.6: Sensoriamento do módulo envasador [adaptado de 1].

No projeto utilizou-se o sensor por reflexão TCRT5000 que foi escolhido devido ao seu baixo custo e facilidade de ser encontrado [1]. O sensor utiliza reflexão difusa e suas especificações encontram-se na Figura 3.7 e Tabela 3.1.



Figura 3.7: Sensor TCRT5000 [16].

Especificações	
Tensão de operação	5VDC
Corrente de consumo	60mA
Distância sensora	0,2 à 15mm
Tempo de resposta	20ms

Tabela 3.1: Especificações do sensor TCRT5000 [16].

Devido à alimentação do sensor ser 5VDC, não seria possível utilizá-lo com o CLP, uma vez

que a tensão de operação do CLP é de 24VDC. Portanto decidiu-se trocar os sensores IR2 e IR3, identificados acima, por sensores ópticos industriais com tensões de operação mais elevadas. Os novos sensores utilizados são fotoelétricos difusos do modelo SENSORBRAS IDCL 10-18 DPT, mostrado na Figura 3.8, possuem as especificações apresentadas na Tabela 3.2.



Figura 3.8: Sensor óptico IDCL 10-18 DPT.

Especificações	
Tensão de operação	10-30VDC
Corrente de consumo	$\leq 30\text{mA}$
Distância sensora	100mm
Tempo de resposta	$< 20\text{ms}$

Tabela 3.2: Especificações do sensor IDCL 10-18 DPT [17].

Outra modificação realizada na bancada envasadora foi a remoção do sensor de vazão (IR4) da planta, já que além de necessitar do Arduino para sua utilização, ele não estava mais funcionando. Decidiu-se então controlar a quantidade de líquido despejado em cada garrafa com a utilização de um temporizador, admitindo que a vazão no bico seja constante.

3.2.4 Atuadores

A bancada envasadora utilizava um motor de passo para a movimentação da esteira. Uma vez que com a integração a esteira utilizada será única, esse motor pode ser descartado assim como seu *driver* de acionamento.

Como visto na seção 3.2.2.1, o bico injetor é composto por um cilindro pneumático de simples ação, com especificação na Tabela 3.3, que é o componente responsável a garantir que todo o líquido seja despejado no interior das garrafas. Ele é acionado com a utilização de uma válvula de controle direcional 3/2 com acionamento por solenoide e retorno por mola. Esta válvula não estava presente na bancada e foi substituída por outra, reaproveitada de uma bancada didática, que apresentava comportamento semelhante.

Especificações	
Comprimento da haste	5cm
Pressão máxima	10bar

Tabela 3.3: Especificação do cilindro do bico injetor.

O bico também possui uma válvula solenoide, mostrada na Figura 3.9, para permitir ou não a passagem de líquido pelo bico. As especificações dessa válvula encontram-se na Tabela 3.4.



Figura 3.9: Válvula solenoide do bico injetor.

Especificações	
Tensão de operação	12VDC
Corrente nominal	1A
Pressão de operação	0.2 - 10bar

Tabela 3.4: Especificações da válvula solenoide do bico injetor.

Com a remoção do sensor de vazão foram necessários ensaios para o ajuste do tempo necessário para o envasamento de forma a garantir que esse tempo seja o suficiente para que as garrafas tenham um nível de líquido aceitável, ou seja, passem pelo controle de qualidade, e não transbordem. Esse ensaio é detalhado em 4.2.2.

Um problema foi encontrado com a metodologia aplicada, uma vez que o tempo de envasamento está diretamente relacionado com o nível de líquido presente no reservatório que exerce pressão sobre a mangueira. Para sanar esse problema foi adicionada ao sistema uma bomba hidráulica centrífuga de modelo RS-385, vista na Figura 3.10, de maneira a tentar garantir uma vazão mais constante para o envasamento das garrafas. As especificações da bomba utilizada encontram-se na Tabela 3.5.



Figura 3.10: Bomba Hidráulica RS-385.

Especificações	
Tensão Máxima	12VDC
Corrente nominal(sem carga)	0,6mA
Vazão Máxima	2L/min

Tabela 3.5: Especificações da bomba hidráulica RE-385.

Com a inserção da bomba hidráulica para o envasamento das garrafas tornou-se redundante o uso da válvula solenoide do bico injetor. Porém, após alguns testes, percebeu-se que sem essa válvula retendo o líquido a bomba hidráulica não era capaz de impedir o fluxo. Portanto a válvula teve que ser reinsertada no bico injetor e sua conexão elétrica foi ligada em paralelo à bomba ou seja, os dois atuadores são ativados e desativados em conjunto. Com essa conexão feita os vazamentos acabaram.

Uma vez que a tensão de operação da bomba e da válvula solenoide é de 12VDC foi necessário a adição de uma fonte externa que pudesse ser chaveada pelo CLP para realizar o acionamento dos atuadores. No projeto [1] foi utilizada uma fonte de computador porém, no início deste trabalho, a fonte não estava mais operante, portanto foi necessário a aquisição de uma nova fonte. As especificações da fonte adicionada podem ser observadas na Tabela 3.6.

Especificações	
Tensão de saída	12VDC
Corrente de saída	1A

Tabela 3.6: Especificações da fonte de 12VDC.

Apesar das correntes nominais de operação da bomba e da válvula solenoide ultrapassem a fornecida pela fonte utilizada, verificou-se que a válvula consumia aproximadamente 300mA apenas de corrente. Verificou-se também que, pelo fato de a bomba estar posicionada embaixo do reservatório, a pressão do nível de líquido auxilia no trabalho realizado por ela, garantindo que sua operação seja quase sem carga.

Para realizar o chaveamento da nova fonte pelo CLP foi necessária a montagem de um circuito auxiliar com relés do modelo METALTEX AX1RC3, de especificação apresentada na Tabela 3.7, conforme mostrado na Figura 3.11. Com o objetivo de proteger a saída do CLP foi utilizado um diodo de modelo 1N5819, com a especificação presente na Tabela 3.8.

Especificações	
Tensão da bobina	24VDC
Corrente nominal (250VAC)	10A

Tabela 3.7: Especificações dos relés AX1RC3 [18].

Especificações	
VR	40V
Corrente máxima	1A
Queda de tensão (1A)	0,6V

Tabela 3.8: Especificações do diodo 1N5819 [19].

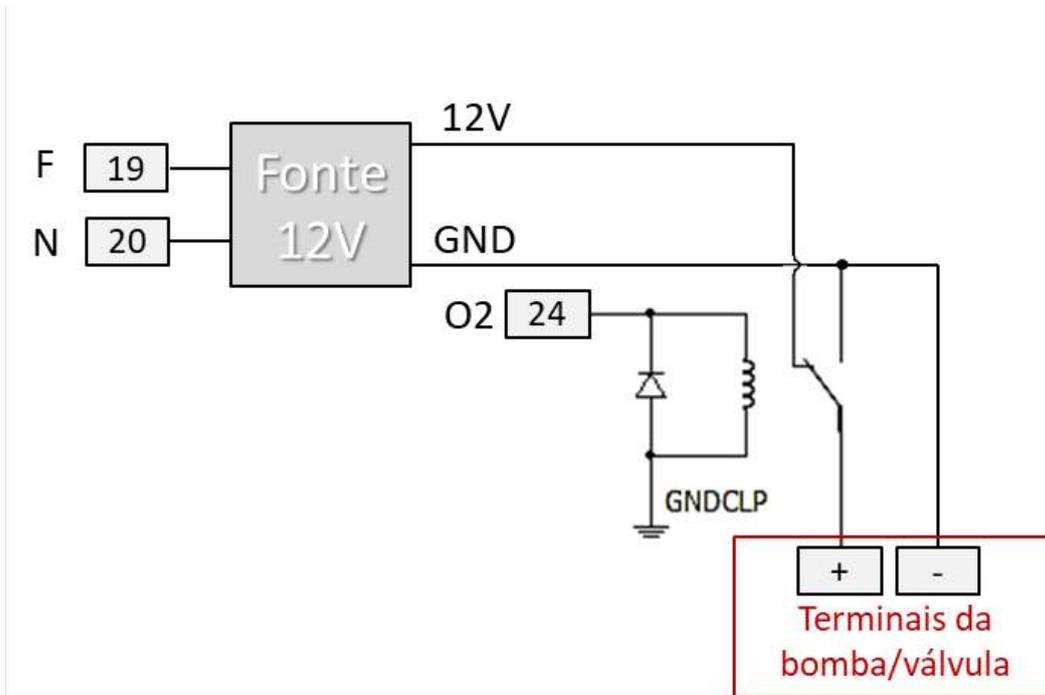


Figura 3.11: Circuito auxiliar para o acionamento da bomba e da válvula (ver Apêndice 1).

3.2.5 Sistema de Controle

O sistema de controle dessa bancada era feito de forma que um Arduino lia os sensores de posição e de fluxo da bancada, então esses dados eram processados por um programa que interagiam com elementos de controle da bancada para atuar sobre ela.

Na Figura 3.12, é possível ver os sensores utilizados na bancada. Os sensores digitais IR1, IR2, IR3 e IR4, são os responsáveis por informar a posição da garrafa na esteira e o sensor de fluxo de líquido é usado para ter controle sobre a quantidade de fluido que entra na garrafa.

Com essas informações o Arduino podia controlar o acionamento do motor de passo e da válvula de saída de água. O motor de passo era controlado por meio de um *driver* e a válvula era acionada por um relé. Além disso, o Arduino se comunicava com o CLP por meio de um sinal digital indicando se a garrafa estava cheia ou não. Quando a garrafa estivesse cheia, um sinal lógico alto era enviado ao CLP e ele acionava a válvula solenoide que comandava o pistão pneumático do bico injetor.

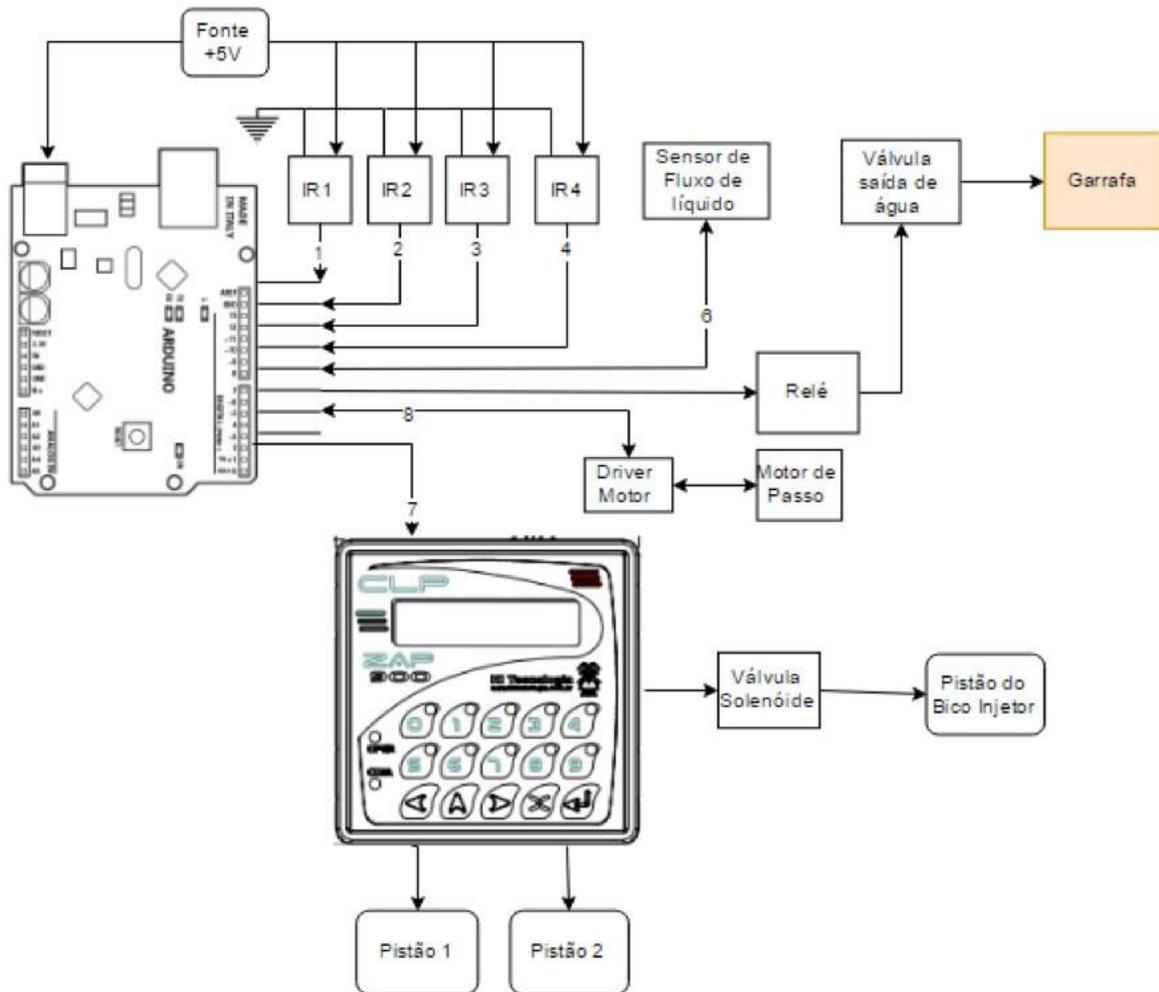


Figura 3.12: Sistema de controle do módulo envasador [1].

Como o Arduino e os relés que faziam a interface com o CLP não estavam mais presentes na bancada, e com o objetivo de unificar o sistema de controle na bancada integrada, eles foram removidos por completo. Com isso, todo o controle passou a ser feito utilizando apenas o CLP, uma vez que os sensores que utilizavam sinais lógicos de 5VDC foram substituídos por sensores com mesmo nível lógico que o CLP.

3.3 Tampadora

3.3.1 Introdução

A máquina tampadora, fabricada pela Pamet Indústria Metalúrgica Ltda., do modelo TP1 e número de série 0126, doada pelo SENAI ao laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para fins didáticos é mostrada na Figura 3.13. Posteriormente, em 2016, ela recebeu um trabalho de *retrofitting* [2].



Figura 3.13: Foto do módulo tampador [2].

A máquina é responsável por tampar frascos. A selagem é realizada através de um sistema composto de cilindros pneumáticos, motores elétricos e sensores que realizam toda a operação de posicionamento, pressionamento e selagem do frasco. Além disso a máquina possui um mecanismo que realiza um controle de qualidade para verificar a correta selagem dos frascos.

3.3.2 Estrutura

A estrutura é composta pelos componentes descritos na Tabela 3.9. Cada componente descrito na Tabela 3.9 é mostrado na Figura 3.14.

3.3.2.1 Processo de deslocamento

Para realizar essa etapa é preciso uma unidade que seja capaz de receber uma grande quantidade de tampas, enfileira-las, posicioná-las e direcioná-las a um alimentador. Para implementar isso, é usado um sistema rotativo, mostrado na Figura 3.15, que recebe as tampas do recipiente em que elas foram armazenadas e orienta o furo delas no sentido correto e, em seguida, direciona-as para o alimentador. A movimentação das tampas no interior do tampo do cilíndrico é feita através de um mecanismo de garras metálicas na parte superior que é responsável por pelo posicionamento

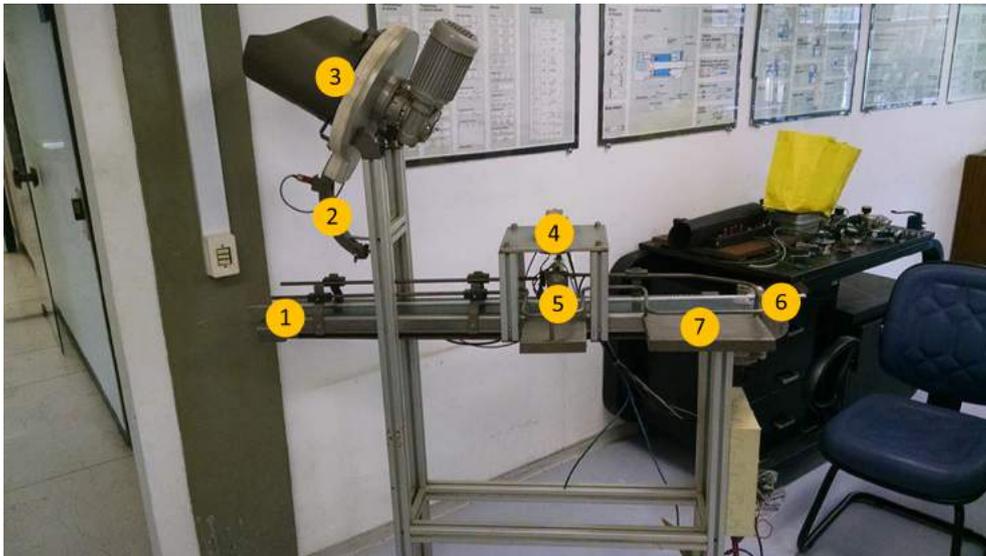


Figura 3.14: Componentes do módulo tampador [adaptado de 2].

1	Esteira
2	Armazenador de tampas
3	Mecanismo de posicionamento das tampas
4	Módulo de Selagem
5	Controle de Qualidade
6	Motor da esteira
7	Estação de destino dos frascos tampados

Tabela 3.9: Componentes do módulo tampador [2].

de cada tampinha. As tampas que estiverem com abertura para cima são capturadas por dentes na parte inferior e então são direcionadas ao alimentador. Esse mecanismo é acionado por um motor de indução trifásico acoplado a um redutor de velocidade.

O alimentador possui um sensor fotoelétrico (ou óptico) que verifica se a quantidade de tampas atingiu o nível certo para interromper o funcionamento do organizador de tampas até que sejam necessárias mais. Do contrário, o alimentador não seria capaz de lidar com tantas tampas e a máquina não funcionaria adequadamente.

Por fim, as tampas irão aguardar a abertura de uma portinhola no final do alimentador, como mostrado na Figura 3.16, essa portinhola é mantida fechada por um mola. Quando essa portinhola é aberta a tampa se adere à garrafa em movimento na linha de transferência. Para garantir o correto funcionamento do sistema é necessário que essa mola seja ajustada corretamente, se muito apertada as garrafas caem ao passar na portinhola, e se muito frouxa não consegue reter as tampas.

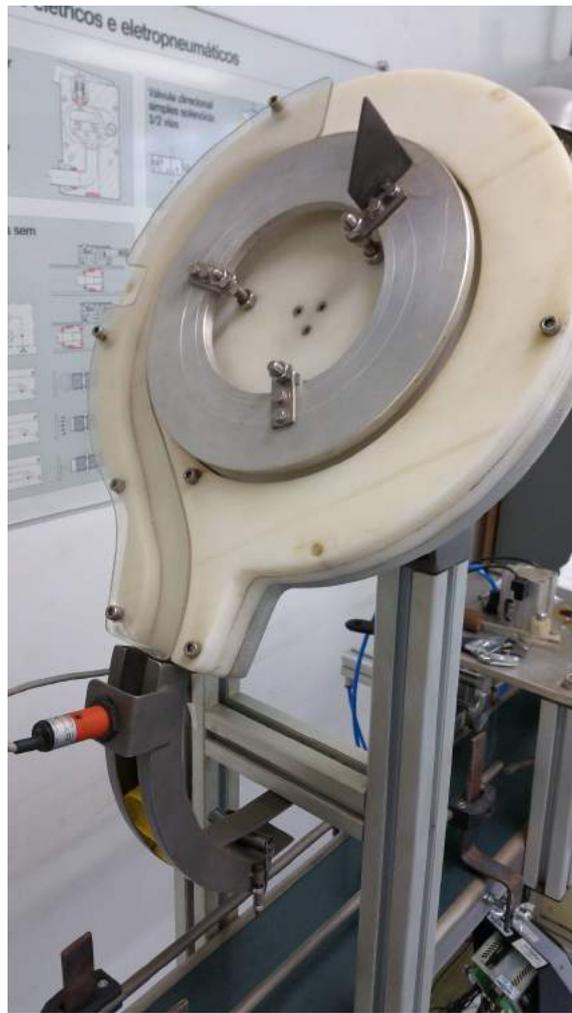


Figura 3.15: Sistema de coleta e posicionamento de tampas [2].

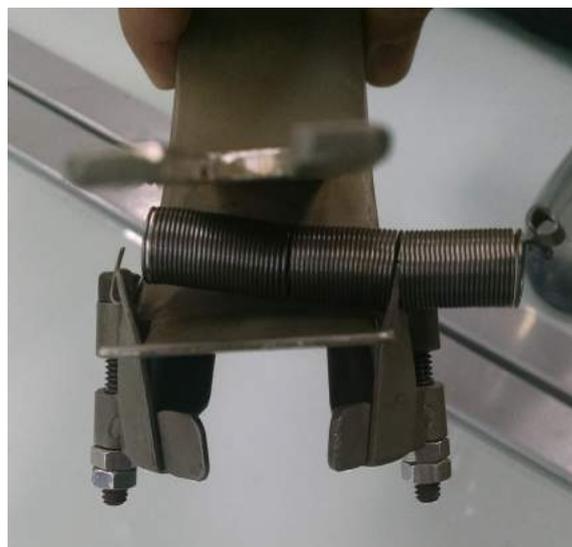


Figura 3.16: Portinhola do *buffer* [2].

3.3.2.2 Controle de Qualidade

O controle de qualidade existe dentro de um processo para testar a eficiência de um sistema. No contexto da tampadora existem dois sensores que legitimam o controle de qualidade. O primeiro sensor é capacitivo, cujo objetivo é verificar se existe algum líquido presente dentro do recipiente e, de acordo com a sua posição, identifica a quantidade de líquido existente na garrafa, respeitando a medida prevista. O segundo sensor é óptico e identifica se existe uma vedação (tampa), na "boca" da garrafa. Caso um dos sensores identifique um erro durante o processo, o controle retira os frascos que apresentam defeito a partir do acionamento do cilindro de controle de qualidade, que os empurra para fora da esteira. Caso os dois sensores identifiquem suas condições de qualidade, o cilindro tampador pressiona a tampa na garrafa, lacrando-a. O frasco então segue na esteira para ser depositada no *buffer* de saída. Devido a sensibilidade dos sensores foi necessário um reajuste das posições dos sensores para que não houvesse nenhum problema quanto a detecção dos parâmetros do controle de qualidade.

3.3.3 Sensores

O módulo tampador em sua totalidade possui 6 sensores, sendo 3 deles sensores indutivos, de especificações mostradas na Tabela 3.10, de início e fim de curso do cilindro tampador e de fim de curso do cilindro de controle de qualidade.

Especificações	
Tensão de operação	10-250V AC/DC
Corrente I_e	0,5A

Tabela 3.10: Especificações dos sensores indutivos.

Outros 2 sensores compõem o sistema de controle de qualidade, apresentados na Figura 3.17 e com especificações presentes na Tabela 3.11, sendo o primeiro capacitivo para detecção do nível de líquido e o outro fotoelétrico difuso para detecção de tampas posicionadas sobre as garrafas.

Especificações		
-	Capacitivo	Óptico
Tensão de operação	10-60VDC	10-60VDC
Corrente I_e	0,2A	0,4A

Tabela 3.11: Especificações dos sensores do controle de qualidade.

O último sensor também é óptico, mostrado na Figura 3.18 e de especificações apresentadas na Tabela 3.12, e é responsável por identificar se há tampas disponíveis no alimentador para o controle da ativação do motor posicionador.



Figura 3.17: Sensores capacitivo e óptico do controle de qualidade.



Figura 3.18: Sensor óptico da fila de tampas.

Especificações	
Tensão de operação	10-60VDC
Corrente I_e	0,2A

Tabela 3.12: Especificações do sensor óptico da fila de tampas.

3.3.4 Atuadores

A bancada tampadora utilizava como sistema de transporte um motor trifásico, de configuração mostrada na Tabela 3.13, acoplado a um redutor de velocidade de razão 80 para 1 objetivando diminuir a velocidade da rotação para suavizar o movimento da esteira. Esse sistema de transporte foi aproveitado para a bancada integrada uma vez que o motor se provou suficiente para mover a nova esteira.

Especificações	
Potência	1/6 cv
Tensão de operação Y	380V
Corrente de operação Y	0,62A
RPM	1680
Fator de potência	0,58

Tabela 3.13: Especificação do motor da esteira.

Para o posicionamento das tampas outro motor trifásico, de configuração mostrada na Tabela 3.14, é utilizado acoplado a outro redutor de velocidade com uma redução de 100 para 1 o que caracteriza uma velocidade de aproximadamente 1 revolução a cada 4s de acordo com as especificações do motor.

Especificações	
Potência	1/4 cv
Tensão de operação Y	380V
Corrente de operação Y	0,64A
RPM	1695
Fator de potência	0,68

Tabela 3.14: Especificação do motor de posicionamento de tampas.

Todos os atuadores estavam funcionando corretamente, porém as contatoras utilizadas pelo projeto [2] não estavam funcionando, e o circuito de acionamento possuía os relés queimados. Foi necessário, portanto, a aquisição de novas contatoras para o acionamento dos motores M1 e M2, assim como novos relés para o circuito auxiliar de acionamento, mostrado na Figura 3.19. Os relés e diodos utilizados no circuito auxiliar foram do mesmo modelo detalhado nas Tabelas 3.7 e 3.8. As contatoras adquiridas foram do modelo SIEMENS 3T530 10-0A de especificação na Tabela 3.15.

Especificações	
Potência(380V)	5 cv
Corrente de operação	9A
Tensão da bobina	220V
Nº de contatos NO	4

Tabela 3.15: Especificação da contatora de acionamento dos motores.

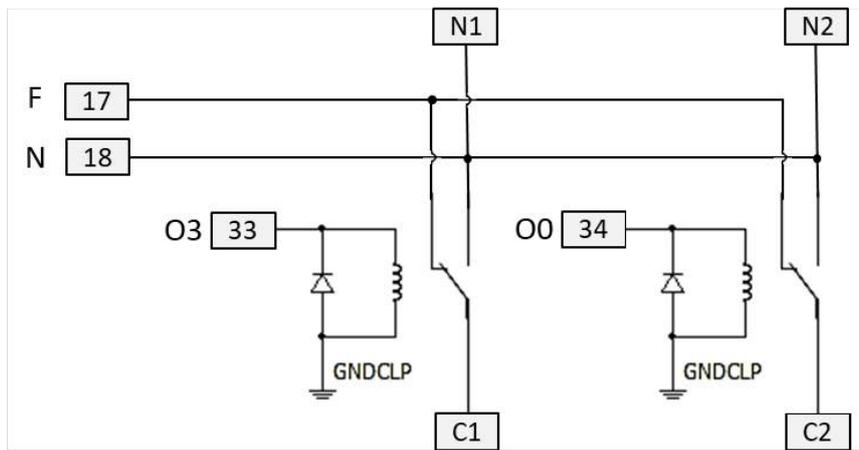


Figura 3.19: Circuito auxiliar para o acionamento das contadoras (ver Apêndice 1).

O ato de tampar é realizado por um cilindro pneumático de dupla ação, apresentado na Figura 3.20 a), acionado por uma válvula de controle direcional 4/2 com ativação por solenoide e retorno por mola. O controle de qualidade é realizado por outro cilindro pneumático, mostrado na Figura 3.20 b) acionado por outra válvula semelhante porém com um pequeno ajuste no circuito pneumático, a adição de uma válvula de controle de vazão unidirecional em configuração *meter-in*, vista na Figura 3.21, para controlar a velocidade em que o cilindro remove as garrafas da esteira de modo a evitar que elas caiam.

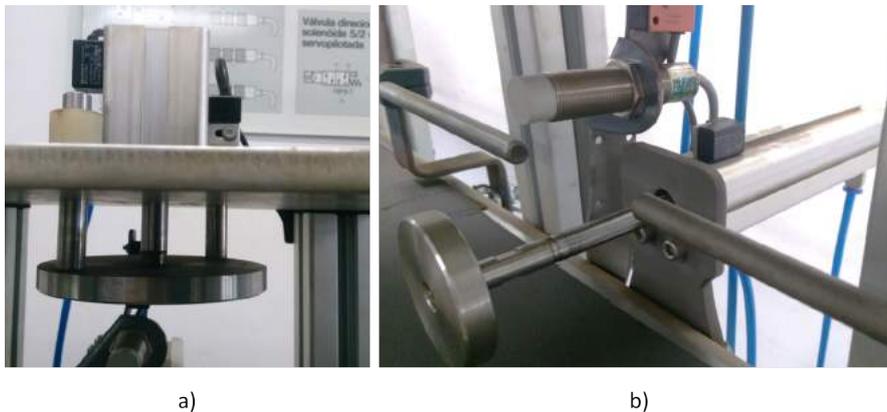


Figura 3.20: a) Cilindro utilizado no ato de tampar; b) Cilindro utilizado no controle de qualidade.



Figura 3.21: Válvula de controle de vazão unidirecional utilizada no controle de qualidade.

3.3.5 Sistema de Controle

O sistema de controle tem a função de ler os sinais vindos dos sensores para processá-los e saída para os atuadores. Todo esse controle é realizado no CLP ZAP900, apresentado na Figura 3.22, que faz as leituras dos sensores industriais e aciona as válvulas solenoides para a atuação dos cilindros e as contatoras para a atuação dos motores trifásicos. O CLP possui os módulo de hardware ZMB900 e HXM500 que em conjunto garantem 12 entradas digitais, 12 saídas digitais, 8 entradas analógicas e 1 saída analógica. Além disso o CLP está acoplado ao módulo didático ZTK900 que fornece LEDs de saída e Chaves mecânicas de entrada, que por mais que não tenham sido aproveitados no projeto de integração facilitaram os testes preliminares.



Figura 3.22: CLP ZAP900 acoplado ao painel didático ZTK900.

3.4 Sistema Integrado

3.4.1 Estrutura

Para realizar a integração dos módulos, foi necessário definir qual a estrutura a ser utilizada para acomodar fisicamente toda o sistema. No primeiro momento, foi escolhida uma esteira de rolos retrátil, que possui um comprimento de 7.0 metros quando estendida, podendo se adequar a necessidade do projeto. Porém, ao realizar um estudo sobre a mesma, alguns problemas foram encontrados inviabilizando a sua utilização. Houve necessidade, então, do desenvolvimento de uma nova estrutura, semelhante a do módulo tampador, mostrado na Figura 3.13.

Essa nova estrutura foi feita utilizando um perfil de alumínio extrudado 40x40, como mostrado na Figura 3.23.

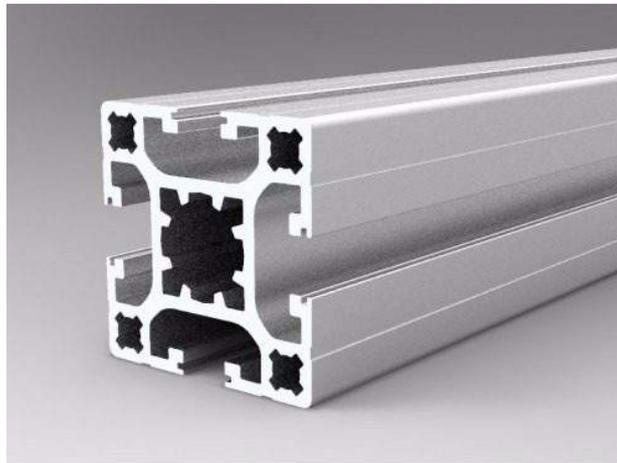


Figura 3.23: Perfil de alumínio.

A nova estrutura é uma extensão da máquina tampadora, que agora tem uma parte a antecedendo.

A Figura 3.24 mostra o projeto da nova estrutura comissionada. A cotação das visões frontal, lateral e superior estão presentes no Apêndice I.4.

3.4.1.1 Expansão da estrutura

O alumínio estrutural foi comprado e foram realizados cortes para a montagem da estrutura. As principais operações de usinagem (cortes e furos) foram realizados na oficina do prédio SG-9 e alguns furos menores foram feitos na oficina do laboratório GRACO na Faculdade de Tecnologia.

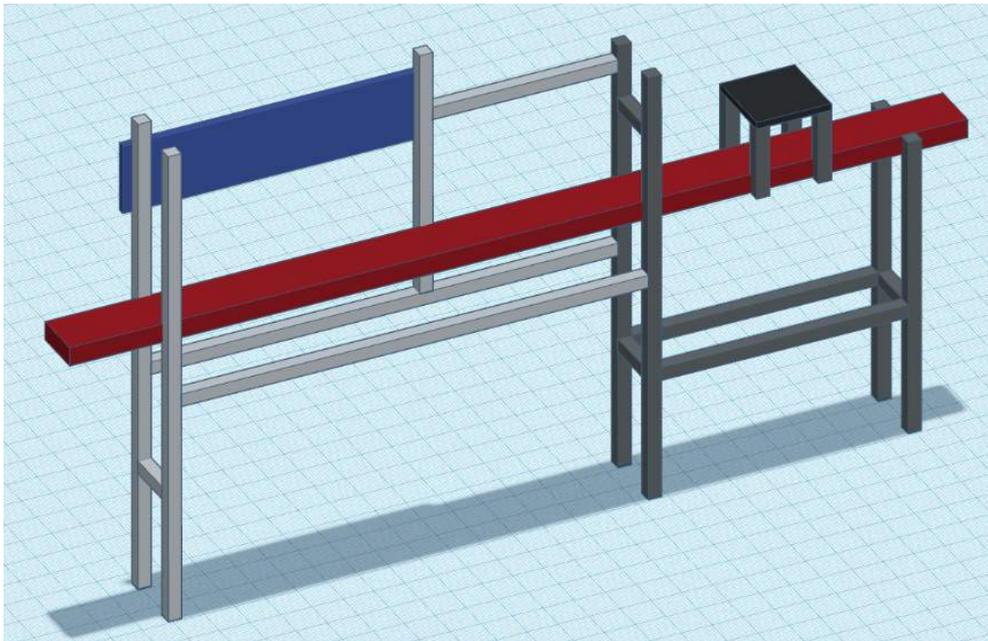


Figura 3.24: Modelagem da nova estrutura

Com as peças cortadas foi possível realizar a montagem utilizando um sistema similar à utilizada na máquina tampadora onde são feitos furos no alumínio estrutural cujo diâmetro permite a passagem apenas da chave para dar o aperto no parafuso localizado do outro lado. A estrutura montada pode ser observada na Figura 3.25.



Figura 3.25: Estrutura de fixação montada com o alumínio estrutural.

Foi necessário então uma nova chapa para que a esteira pudesse correr em cima. Ela foi adquirida e cortada na prefeitura do CAMPUS com a ajuda de alguns técnicos do setor da serralheria. A peça foi então trazida até o SG-9 onde foram realizadas as furações necessárias para a fixação da mesma na estrutura já montada. O resultado pode ser observado na Figura 3.26



Figura 3.26: Fixação da chapa da esteira.

3.4.1.2 Esteira

A antiga esteira da máquina tampadora era bastante robusta porém seu comprimento era insuficiente para comportar o novo sistema integrado. Portanto foi necessária a busca de uma nova esteira para a bancada. A esteira foi comprada em uma loja de tecidos e borracha, o material é uma variação de couro que se destaca por aspectos estéticos e uma certa flexibilidade quanto ao tensionamento necessário que o couro puro não teria. Ela foi cortada e costurada de forma a ficar justa e tensionada no sistema montado. Com a costura realizada a esteira foi capaz de correr sem haver trepidações e tremedeiras quando as emendas passavam nos rolamentos. O material e a costura podem ser observados na Figura 3.27.



Figura 3.27: Material e costura da esteira.

Devido às propriedades elásticas do material da esteira foram necessárias várias reduções no tamanho da correia, e o devido cuidado no ajuste de um extensor da estrutura, mostrado na Figura

3.28, para garantir que com o uso ela não deslize na direção transversal ao movimento da esteira.



Figura 3.28: Extensor da esteira.

3.4.1.3 Guias

As peças utilizadas para a fixação da guia do sistema da tampadora foram utilizadas do sistema antigo, doado junto com a máquina, e o trabalho de *retrofitting* realizado apenas resolveu o problema do posicionamento das guias de forma a garantir sua compatibilidade com o padrão de garrafa selecionado. Para a adaptação de novas guias na extensão da esteira foi necessária a prototipagem de um novo sistema para segurar as guias utilizadas no projeto da envasadora. As guias consistiam em tubos de alumínio de aproximadamente 1m de comprimento que foram fixados na estrutura por meio de uma peça prototipada através de impressão 3D. A peça pode ser visualizada na Figura 3.29.

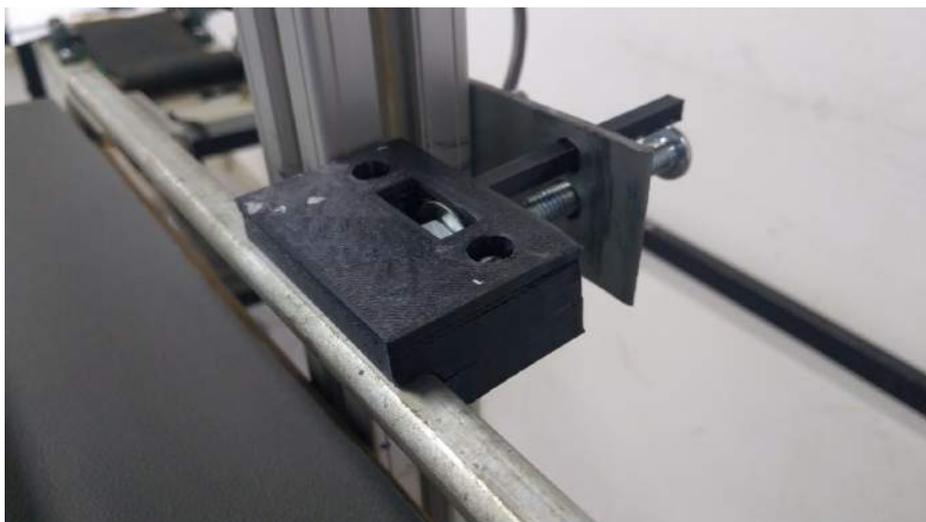


Figura 3.29: Peça prototipada para a fixação das guias.

A Figura 3.30 mostra alguns filetes metálicos utilizados para a fixação, no alumínio estrutural, das peças de suporte para as guias. Para isso, esses filetes, que foram reaproveitados da estrutura da máquina envasadora, receberam alguns furos. Com a finalidade de permitir o ajuste da posição das guias foi realizada a aderência de porcas sobre alguns desses furos utilizando pontos de solda.



Figura 3.30: Filetes para a fixação na estrutura.

Então foi o momento de fixar as guias e ajustar o seu posicionamento de forma a garantir que o bico injetor ficasse alinhado com a garrafa no momento do acionamento do pistão, e garantir que as garrafas que saem desse módulo prossigam corretamente para serem tampadas. O sistema de guias completo está apresentado na Figura 3.31.

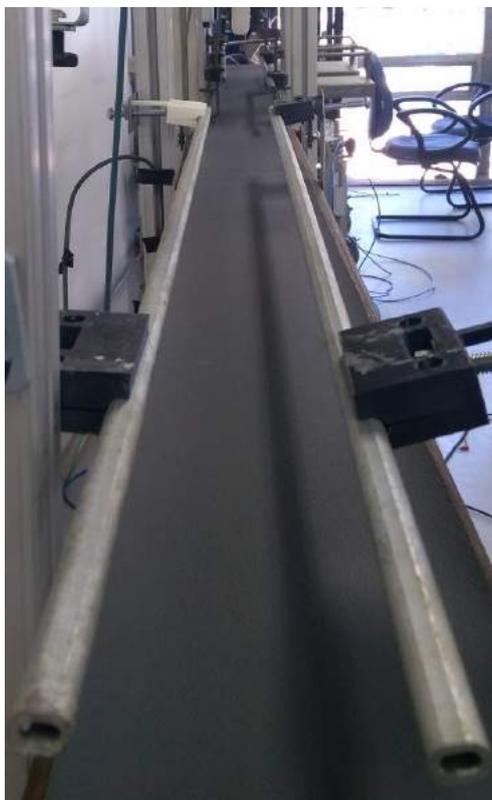


Figura 3.31: Guias de alinhamento das garrafas.

3.4.1.4 Posicionamento dos Sensores

Com a inclusão dos dois novos sensores necessitou-se de uma maneira de posicioná-los. Para isso foi utilizado um sistema de fixação já presente nos sensores, que eram utilizados na bancada didática da FESTO presente no laboratório. A bancada também é feita de alumínio estrutural, e seu sistema de fixação estava adaptado para o mesmo tipo de fresta. A fixação pode ser observada na Figura 3.32.



Figura 3.32: Posicionamento dos sensores.

Para a fixação do sensor ótico do bico injetor foram necessárias algumas adaptações para garantir o seu nível. Ele foi posicionado com facilidade e de uma forma a permitir o ajuste de sua posição, o que é fundamental para garantir a parada da garrafa em um alinhamento perfeito com o bico injetor. Os demais sensores já haviam sido posicionados pela equipe que realizou o *retrofitting* da máquina tampadora e não necessitaram de ajustes.

3.4.2 Sensores

Os dois novos sensores da envasadora foram adicionados ao sistema da tampadora, que em sua completude ficou com 8 sensores. Os sensores estão representados na Figura 3.33 e sua descrições expostas na Tabela 3.16.

Os sensores foram testados individualmente, detalhes em 4.2.1, e todos estavam em excelentes condições para uso.

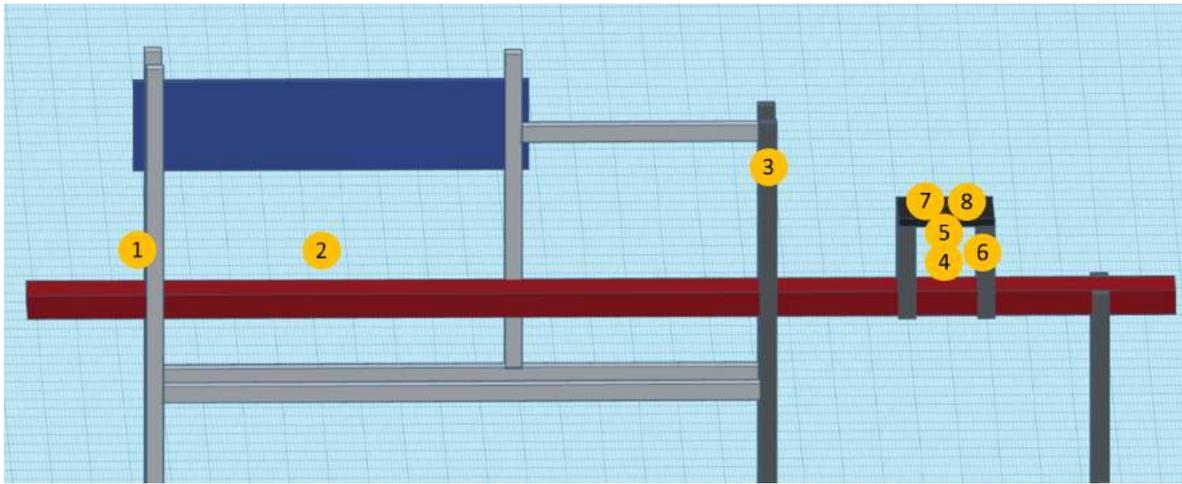


Figura 3.33: Esquemático do posicionamento dos sensores.

1	SGI	Sensor de início do sistema	Óptico
2	SE	Sensor da Envasadora	Óptico
3	ST1	Sensor de fila de tampas	Óptico
4	SIG	Sensor do nível de líquido	Capacitivo
5	ST2	Sensor identifica tampa	Óptico
6	SFC1	Sensor fim de curso controle de qualidade	Indutivo
7	SCC	Sensor início de curso tampadora	Indutivo
8	SFC2	Sensor fim de curso tampadora	Indutivo

Tabela 3.16: Identificação dos sensores do sistema completo.

Durante testes realizados na bancada, um problema acontecia após algumas iterações, em que os sensores da máquina envasadora paravam de responder. Num primeiro momento imaginava-se que a saída de tensão do CLP não estava sendo capaz de fornecer a corrente necessária para mantê-los operantes, uma vez que nominalmente seu valor é de 600mA e os sensores do sistema completo requerem uma corrente maior. Para solucionar esse problema optou-se por introduzir uma fonte externa de 24VDC de forma a fornecer as condições necessárias para a correta utilização do sistema. Infelizmente esse problema permaneceu.

Com a realização de vários testes foi possível identificar flutuações de tensão que ocorriam no transiente do acionamento dos motores trifásicos da bancada. A ativação e o desligamento dos motores estava gerando picos de tensão na rede elétrica que estavam sendo passados para os sensores. Uma vez que os sensores da bancada tampadora conseguem trabalhar em uma tensão mais elevada, como visto nas Tabelas 3.11 e 3.12, eles permaneciam operantes, porém os sensores da bancada envasadora, como vistos na Tabela 3.2, atingiam o seu limite de operação e desligavam. Foi identificada também uma possível causa para essa flutuação não estar sendo estabilizada pela fonte, que foi o fato de o CLP estar conectado a rede elétrica sem ser aterrado, uma vez que a tomada trifásica existente no laboratório possui apenas 3 fases e um terra, que estava sendo usado como neutro para a ligação do CLP. Quando o CLP foi ligado em uma tomada monofásica do

laboratório devidamente aterrada este problema parou de ser observado. A fonte de 24VDC foi mantida, uma vez que não era interessante sobrecarregar a saída do CLP.

3.4.3 Atuadores

Os dois novos atuadores da envasadora, o pistão e a bomba hidráulica (em conjunto com a válvula solenoide), foram adicionados ao sistema da tampadora, que em sua completude ficou com 6 atuadores. Os atuadores do sistema são mostrados na Figura 3.34 e suas descrições apresentadas na Tabela 3.17.

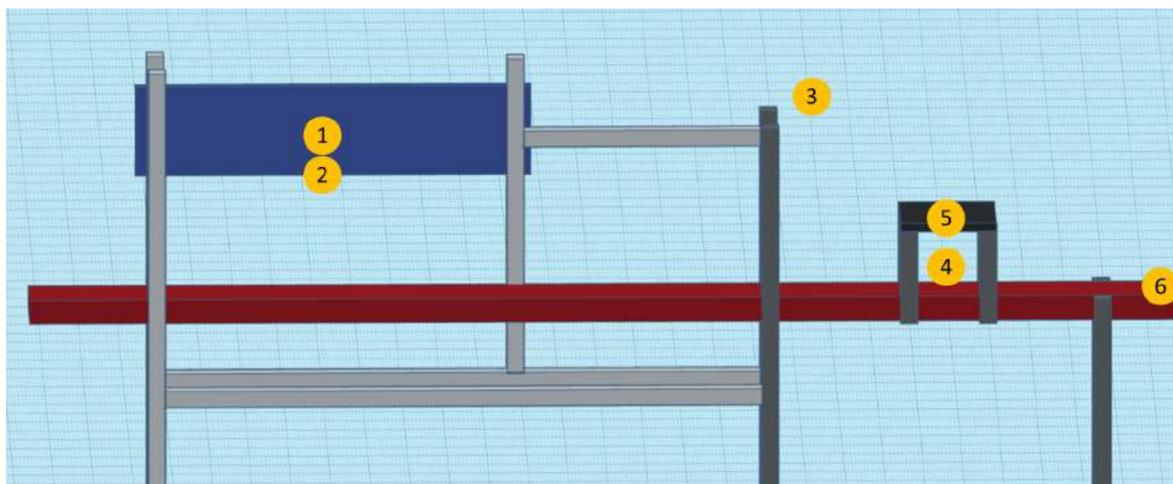


Figura 3.34: Esquemático do posicionamento dos atuadores.

1	PI	Pistão do bico injetor	Pneumático
2	VI	Conjunto Válvula/Bomba do bico injetor	Elétrico 12V
3	M1	Motor de posicionamento de tampas	Elétrico Trifásico
4	Sol1	Pistão da tampadora	Pneumático
5	Sol2	Pistão do controle de qualidade	Pneumático
6	M2	Motor da esteira	Elétrico Trifásico

Tabela 3.17: Identificação dos atuadores do sistema completo.

O pistão PI é acionado através de uma válvula solenoide de mesmo nome, assim como os pistões Sol1 e Sol2. Tal nomenclatura foi utilizada para facilitar o entendimento do sistema.

3.4.4 Circuito pneumático

O sistema integrado possui uma configuração pneumática conforme mostrado no Apêndice I.2. Os cilindros possuem seu comportamento independente um do outro como mostram os diagramas trajeto-passo apresentados na Figura 3.35. A pressão de operação do circuito pneumático foi definida em 2 bar, valor que se enquadra nas especificações de todos os componentes pneumáticos do sistema.

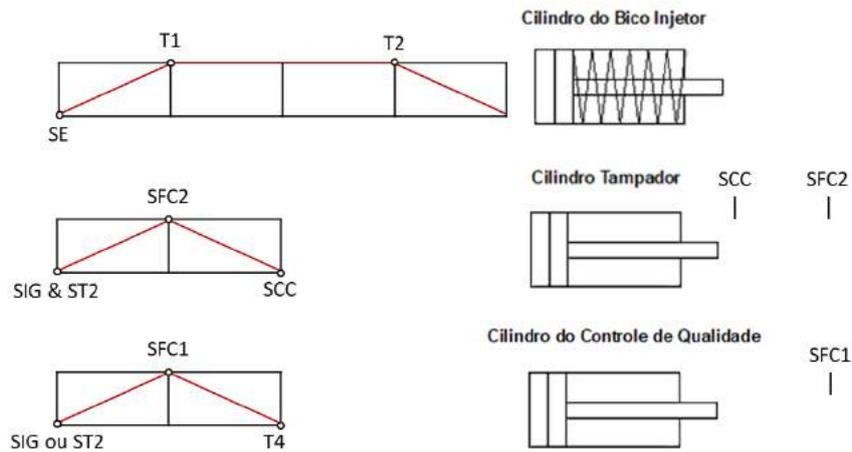


Figura 3.35: Diagramas trajeto-passo.

3.4.5 Quadro Elétrico

Para realizar a conexão de todos os sensores a atuadores do sistema conforme o diagrama elétrico, apresentado no Apêndice 1, foram utilizados 2 quadros elétricos – aproveitando o material disponível nas duas máquinas – um deles foi utilizado como barramento 24V e 0V de forma a facilitar a distribuição de tensão necessária para os sensores a atuadores. O outro, mostrado na Figura 3.36, foi utilizado para a organização dos sinais lógicos de leitura e ativação dos sensores a atuadores e para o circuito de potência. A partir dele todos os sinais foram para o CLP.

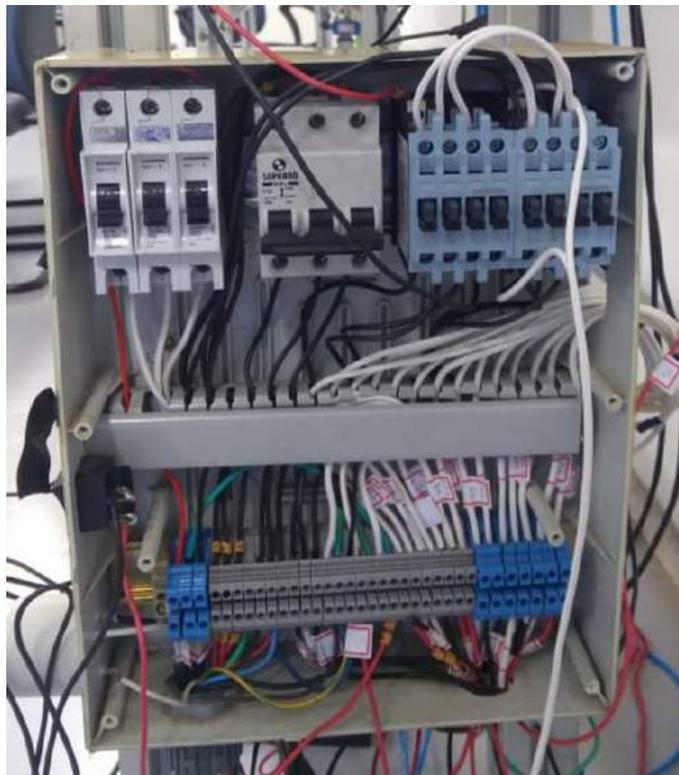


Figura 3.36: Quadro elétrico do sistema lógico.

Para a montagem do circuito de potência foram utilizados, além das contadoras descritas na Tabela 3.15, disjuntores termomagnéticos, de especificações presentes na Tabela 3.18. Todo o processo de cabeamento e montagem dos quadros elétricos foi catalogado tomando bastante cuidado para garantir uma certa facilidade na hora de compreender o sistema por trabalhos futuros e para o uso didático.

Especificações		
-	Monofásicos	Trifásico
Ics	5 kA	3 kA
Nível de proteção	Classe 1	Classe 1

Tabela 3.18: Especificação dos disjuntores.

3.4.6 CLP

3.4.6.1 Conexão com o Computador

O primeiro passo para fazer a programação do CLP é conectá-lo ao computador. A HI Tecnologia possui uma plataforma de desenvolvimento chamada SPDSW, que é utilizada para fazer a interface entre o computador e o CLP. Nessa plataforma é possível trabalhar com o diagrama *Ladder* do CLP, isso significa poder criar e executar projetos, além de poder utilizar o depurador de códigos para poder verificar o estado das variáveis durante a execução do código.

Para configurar a conexão foi necessário utilizar um cabo de comunicação *ethernet* do tipo *crossover*. O cabo *crossover* é um cabo de rede com um par trançado que, de acordo com [20], possibilita fazer a ligação de dois computadores sem a necessidade de um *Hub* ou *Switch*. Ainda para fazer a conexão foi necessário definir o *IP* fixo no computador para evitar conflitos com o CLP, garantindo que o *Gateway* definido corresponde com o definido no controlador. Com tudo isso definido bastou configurar a conexão com o CLP no menu de *setup* de comunicação, essa configuração consistiu em definir os parâmetros do controlador (*IP*, porta e protocolo).

A Figura 3.37 mostra a interface do ambiente de desenvolvimento SPDSW uma vez realizada a conexão. A principal desvantagem do CLP utilizado é a pouca documentação. A ferramenta que mais ajudou a realizar a conexão foram os trabalhos [1] e [2] já que nos fóruns e nos manuais da HI Tecnologia não havia explicações sobre como realizar essa comunicação de maneira eficiente.

3.4.6.2 Portas I/O

Com todas as ligações elétricas conectadas no CLP todo o desenvolvimento seguinte pode ser feito com a programação de rotinas e testes. A Tabela 3.19 mostra as portas de conexão do CLP e pode ser usada de referência para o entendimento das rotinas implementadas na seção de testes 4.2.



Figura 3.37: Ambiente de desenvolvimento SPDSW com conexão ativa.

Inputs		Outputs	
Sensor de início (SGI)	I1	Pistão do bico injetor (PI)	O1
Sensor Envasadora (SE)	I2	Bomba hidráulica (VI)	O2
Sensor fila tampas (ST1)	I3	Motor tampas (M1)	O3
Sensor identifica tampa (ST2)	I4	Pistão da tampadora (Sol1)	O4
Sensor nível de líquido (SIG)	I5	Pistão do controle de qualidade (Sol2)	O5
Sensor início tampadora (SCC)	I6	Motor esteira (M2)	O0
Sensor fim tampadora (SFC2)	I7		
Sensor fim controle de qualidade (SFC1)	I0		

Tabela 3.19: Portas I/O

3.4.6.3 Temporizadores

Nem todos os eventos do sistema podem ser detectados pelos sensores presentes na bancada. Esses eventos são listados a seguir:

- Início de curso do pistão do bico injetor;
- Fim de curso do pistão do bico injetor;
- Quantidade de líquido despejado nas garrafas (envasamento);
- Início de curso do pistão de controle de qualidade;
- Chegada das garrafas no *buffer* de saída.

Para esses eventos foram associados temporizadores de forma a garantir que eles sejam levados em consideração. Esses tempos estão apresentados na Tabela 3.20. O temporizador T2 será discutido na seção 4.2.2. O temporizador T6 não está associado a um evento específico e será detalhado na seção 4.2.4.

T1	Tempo para o pistão PI percorrer seu curso	2s
T2	Tempo para encher as garrafas	14s
T3	Tempo para o pistão PI retornar	2s
T4	Tempo para o pistão do controle de qualidade retornar	2s
T5	Tempo para as garrafas tampadas chegarem no <i>buffer</i> de saída	7s
T6	Tempo de sincronização do controle de qualidade	0,6s

Tabela 3.20: Temporizadores do sistema.

3.4.7 Manual da Máquina

De forma a garantir o correto funcionamento da máquina assim como a facilitação para o uso futuro, foi escrito um manual contendo as informações necessárias para o entendimento, manutenção, e desenvolvimento de experimentos utilizando a bancada. Este manual da foi anexado no Apêndice I.5.

Capítulo 4

Apresentação e Discussão dos Resultados

4.1 Introdução

Com o objetivo de avaliar o desempenho da nova bancada comissionada, que pode ser vista na Figura 4.1, vários testes foram realizados de forma a estimar uma taxa de sucesso e encontrar novos problemas que surgem com a integração. É importante portanto que os sistemas sejam testados individualmente e em conjunto para que seja possível observar os pontos críticos do processo e determinar formas de se melhorar o seu desempenho. Finalmente torna-se possível fazer uma análise geral dos problemas resolvidos e pendentes de solução por trabalhos futuros.



Figura 4.1: Sistema completo.

4.2 Testes

4.2.1 Teste sensores

O primeiro teste realizado foi o teste individual e em conjunto de todos os sensores do sistema. Esse teste é importante para garantir que a leitura do CLP está sendo feita corretamente. Para esse teste simples foi utilizado o código em *ladder* presente no Apêndice 3, e a resposta foi observada, Figura 4.2, na ferramenta de depuração do software SPDSW. O teste foi um sucesso e viabilizou a continuidade do projeto.

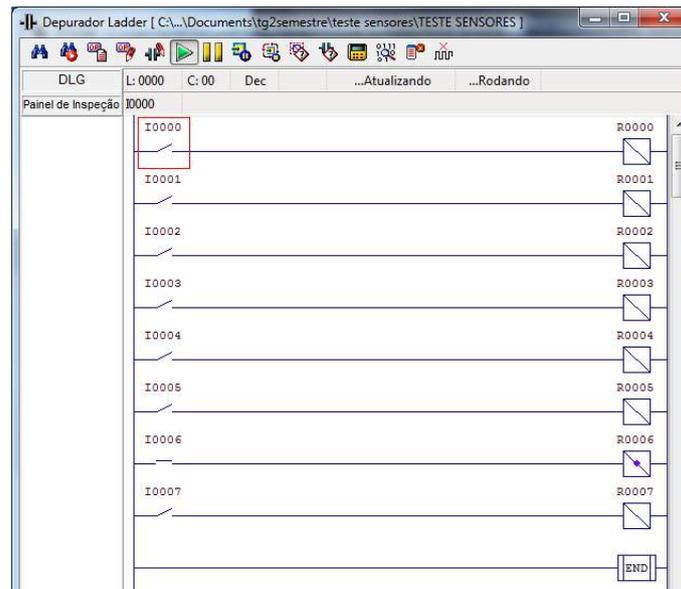


Figura 4.2: Teste dos sensores no depurador do SPDSW.

4.2.2 Teste Envasadora

Para determinar o tempo que se leva para o envasamento de uma unidade foi necessário um ensaio para a determinação do intervalo de tempo do temporizador associado. Esse ensaio objetivava mensurar também a consistência nesse tempo de envasamento, uma vez que, com a remoção do sensor de fluxo, a única forma de controlar o quanto de líquido será depositado em cada garrafa será o tempo escolhido.

O ensaio foi desenhado de forma a determinar o tempo para a máquina envasar a primeira garrafa, depois a segunda e assim por diante, sem repor o líquido no reservatório. Para cada garrafa foram realizadas cinco medições acionando o cronômetro no momento da abertura da válvula solenoide e finalizando a medição quando o líquido aproximava a marcação feita na garrafa. A Tabela 4.1 mostra o resultado do ensaio nas condições com e sem a bomba.

Observando o resultado, apresentado na Figura 4.3, pode-se verificar a melhoria significativa na vazão média da máquina envasadora com a adição da bomba hidráulica, visto que, após essa adição, os dados para as primeiras oito garrafas encontram-se estatisticamente empatados.

Garrafa	Tempo sem Bomba (s)	Tempo com Bomba (s)
1	11,14 ± 0,08	14,52 ± 0,09
2	13,11 ± 0,09	14,57 ± 0,09
3	14,95 ± 0,13	14,58 ± 0,08
4	17,90 ± 0,08	14,61 ± 0,07
5	19,47 ± 0,12	14,63 ± 0,06
6	20,28 ± 0,11	14,64 ± 0,16
7	21,29 ± 0,09	14,65 ± 0,08
8	22,3 ± 0,13	14,68 ± 0,08

Tabela 4.1: Resultado do ensaio do temporizador da envasadora.

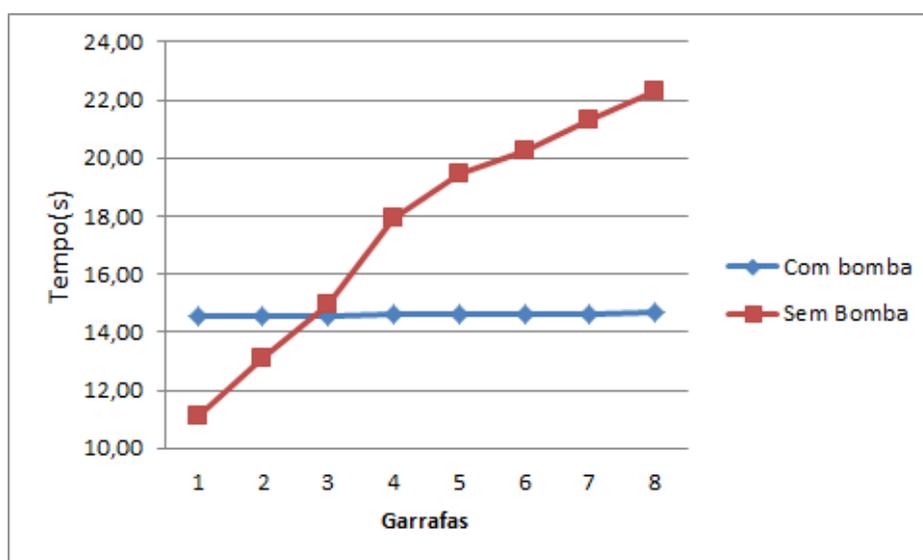


Figura 4.3: Gráfico do tempo de envasamento com e sem a bomba.

Após a introdução do temporizador, utilizando uma amostra de 27 garrafas para o teste, foram envasadas 26 garrafas de maneira satisfatória, ou seja, passando pelo controle de qualidade e apenas a 27ª garrafa não foi completamente cheia. A taxa de sucesso de envasamento pode ser considerada de 100% uma vez que apenas a última garrafa não foi completamente preenchida devido o esgotamento do reservatório.

4.2.3 Teste Caminho das garrafas e tampas

O objetivo deste teste foi adequar os componentes mecânicos do sistema de transporte de forma a garantir o correto percurso das garrafas, passando pela envasadora em posição hábil para a inserção do bico injetor em seu interior, em seguida passando pela portinhola do caminho das tampas, e finalmente seu encaminhamento para os *buffers* de saída. Com o ajuste correto das guias do módulo envasador foi possível garantir a inserção do bico injetor no interior das garrafas e o alinhamento com as guias do módulo tampador. Já a passagem pela portinhola apresentou problemas. Quando o nível de líquido no interior da garrafa é muito baixo ela cai ao passar pela

portinhola, como mostrado na Figura 4.4 a). Outro problema encontrado foi que nem sempre as tampas ficavam posicionadas corretamente, o que se atribuiu à folga existente entre a parte superior da portinhola e a garrafa, como pode ser observado na Figura 4.4 b). As tampas, devido a um ressalto em seu lacre, as vezes travavam na estrutura, como pode ser observado na Figura 4.4 c).

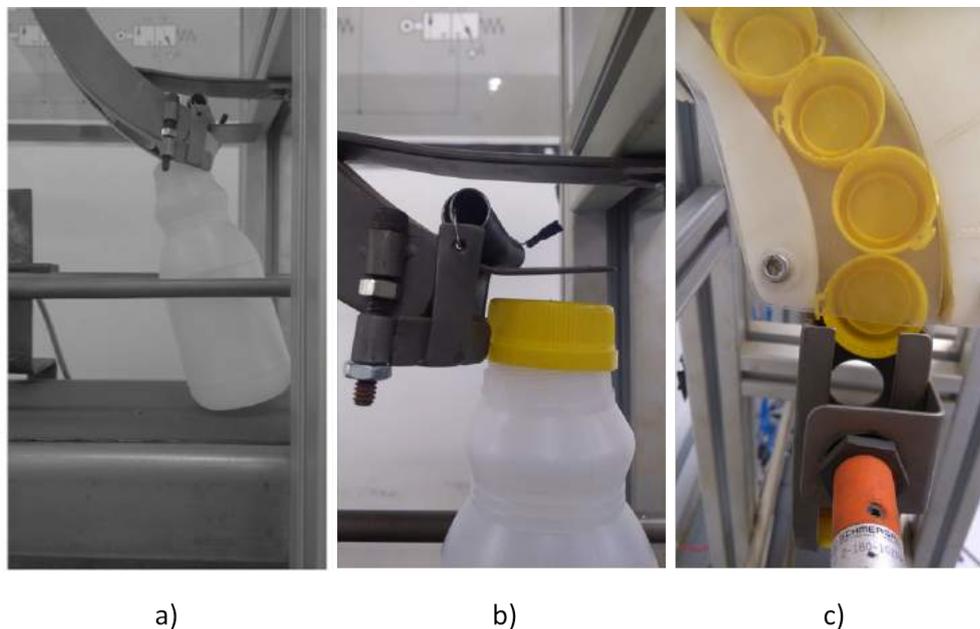


Figura 4.4: a) Garrafa caindo na portinhola; b) Folga entre a tampa e a parte superior da portinhola; c) Tampas travando na estrutura.

É possível observar que, devido a sua geometria, o modelo de tampa utilizado no processo, que pode ser observado na Figura 4.5, não é o mais adequado. Para um melhor desempenho do processo seria necessário a utilização de tampas simétricas que não possuam nenhum tipo de ressalto que possa levá-las a travar no caminho.



Figura 4.5: Tampa utilizada no processo.

4.2.4 Teste Controle de Qualidade

Outro teste pertinente é o do controle de qualidade. Diferentemente do trabalho anterior [2] verificou-se que não bastava a condição de apenas um dos sensores detectar sua exigência de qualidade para rejeitar as garrafas uma vez que esse método exigia uma total sincronia entre os sensores. Na prática, um sensor detectava sua condição de qualidade primeiro que o outro, resultando em todas as garrafas serem rejeitadas no controle de qualidade, uma vez que a rotina que removia a garrafa era acionada antes que dois sensores identificassem suas condições. Para solucionar este problema foi feita a adição de um temporizador com a lógica de só acionar a rotina para remover a garrafa da linha de produção caso um sensor identifique sua condição e após um tempo determinado o outro não verifique.

Para testar o controle de qualidade foi utilizada a lógica apresentada na Figura 4.6. Nessa lógica a ativação de um dos sensores do módulo envasador (SE ou SGI) inicia o movimento da esteira. Quando um dos sensores do controle de qualidade realiza sua leitura o sistema avança para um estado que espera uma das seguintes condições: a leitura simultânea dos dois sensores, que aciona o pistão da tampadora (Sol1); o tempo determinado pelo temporizador T6 decorre e, então, o pistão do controle de qualidade (Sol2) remove a garrafa da linha de produção. O código utilizado no teste está disponível no Apêndice 5.

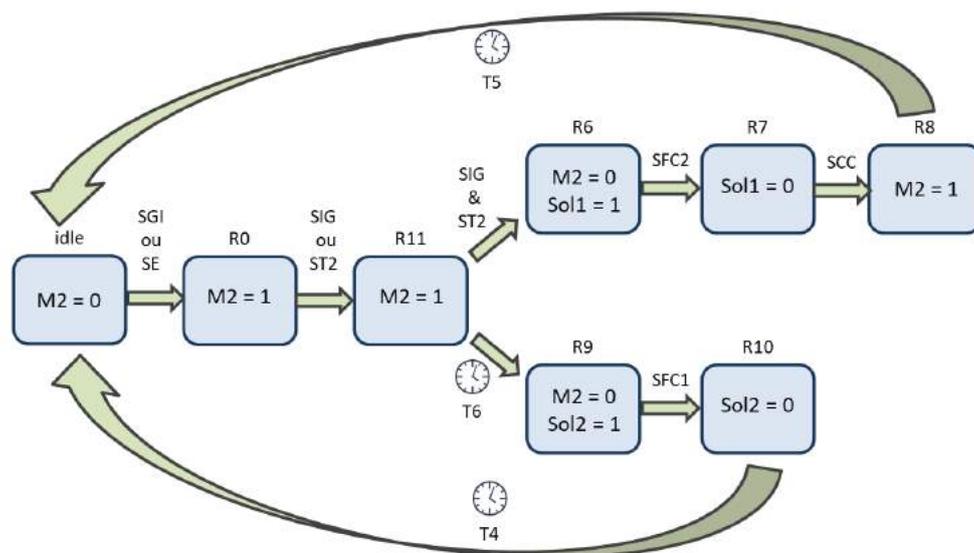


Figura 4.6: Fluxograma do código de teste do controle de qualidade.

A preocupação na escolha do intervalo de tempo desse temporizador se dá no fato de que se o tempo for muito curto ainda haverá problemas de sincronia que rejeitarão garrafas em condições aceitáveis, e se o tempo for muito longo o pistão de controle de qualidade não conseguirá removê-las da linha de produção.

Após testes com vários intervalos de tempo, o temporizador foi definido em 600ms. Com o temporizador ajustado foram feitos 20 testes no controle de qualidade e todos tiveram o resultado

desejado, ou seja, as garrafas em condições indevidas foram removidas da linha e as de condição apropriada seguiram até o *buffer* de saída. O teste também foi importante para a identificação de um problema no *buffer* de saída. As garrafas cheias e tampadas não conseguiam seguir as guias e caíam antes de atingir o seu destino.

4.2.5 Teste *Buffer* de Saída

Como o *buffer* de saída apresentou-se como um ponto crítico de resultado insatisfatório, foi realizado um teste simples para verificar a sua eficiência. O ensaio foi feito a partir da disposição de garrafas na esteira e o acionamento do motor M2 e, com isso, foi possível observar o comportamento delas ao atingir o *buffer*. O teste foi realizado com 20 garrafas.

	Nível de líquido original
Garrafas que chegaram com sucesso	6
Garrafas que caíram	14
Taxa de sucesso	30%

Tabela 4.2: Resultado do teste no *buffer* de saída

Com o ensaio realizado foi possível obter um resultado insatisfatório. Para melhorar a taxa de sucesso devem ser feitas alterações estruturais no *buffer*, que infelizmente não foram realizadas neste trabalho.

4.2.6 Teste Completo

Para determinar a taxa de sucesso da bancada integrada há necessidade de realizar um teste unindo os processos de envasamento e colocação de tampas. O objetivo desse teste foi validar o funcionamento completo do sistema e verificar os pontos críticos do processo.

Neste ensaio foi utilizada a lógica apresentada na Figura 4.7 em que a ativação do sensor de início (SGI) inicia o movimento da esteira. Quando o sensor da envasadora (SE) identifica a garrafa a esteira interrompe o seu movimento e o pistão PI é acionado. Após um tempo determinado pelo temporizador T1 a válvula solenoide e a bomba hidráulica da envasadora são acionados (VI) e permanecem assim até a comutação do temporizador T2. Então, com envasamento concluído, o pistão PI retorna, após o tempo designado pelo temporizador T3, permitindo que a garrafa siga na esteira, adquira a sua tampa e seja avaliada pela lógica do controle de qualidade.

O ensaio foi realizado 20 vezes e o código utilizado está presente no Apêndice 8. A Figura 4.8 mostra os pontos críticos do sistema analisado, e a Tabela 4.3 mostra os problemas encontrados em cada um deles.

Em testes anteriores foi observado um problema no ponto crítico do bico injetor, onde o sensor SE ativou junto com o SGI e o bico injetor desceu antes da garrafa chegar. O problema foi associado à proximidade entre os fios dos sensores ao longo da estrutura, e resolvido ao substituir o sensor SGI por uma chave simples para o início do processo.

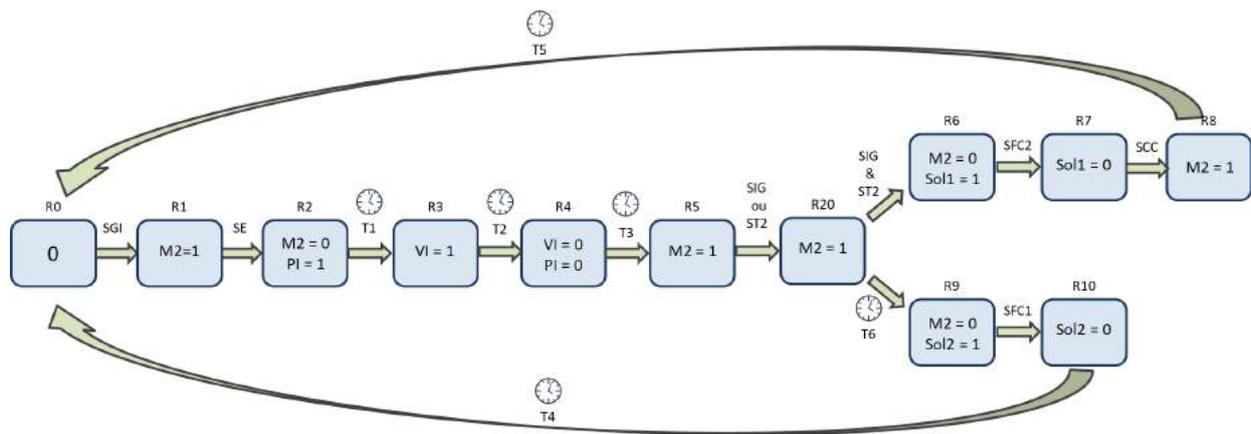


Figura 4.7: Fluxograma do código de teste completo.

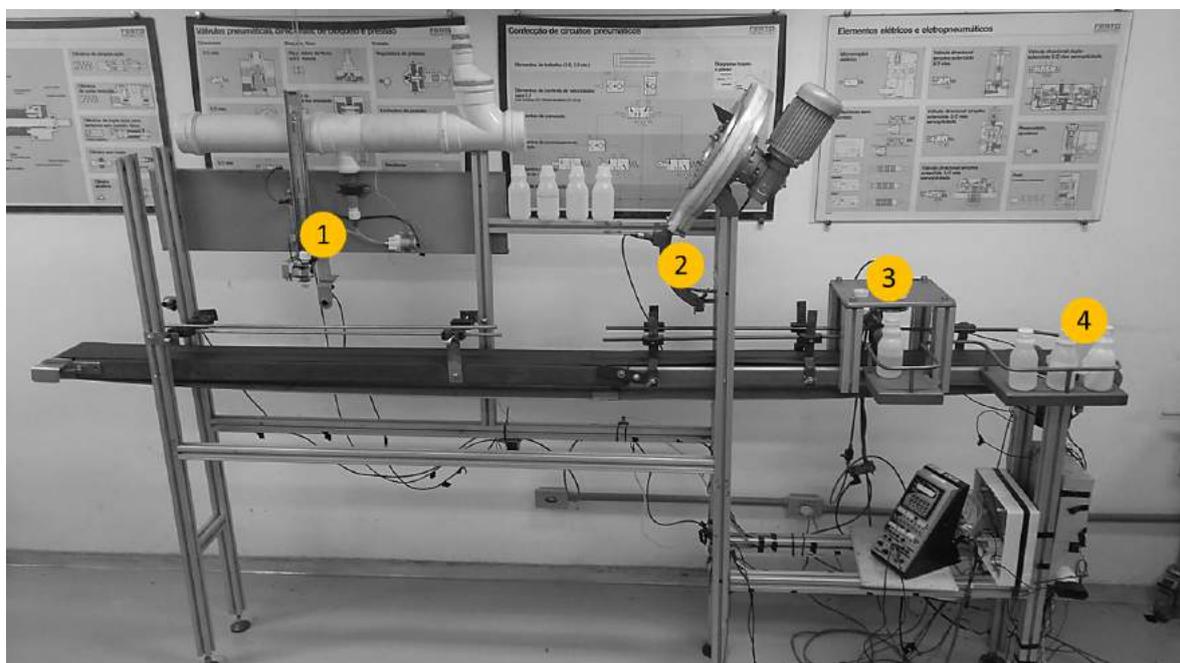


Figura 4.8: Pontos críticos do sistema.

Percentual	Bico injetor	Portinhola das tampas	Controle de qualidade	Buffer de saída
20%	Sucesso	Sucesso	Sucesso	Sucesso
30%	Sucesso	Sucesso	Sucesso	Falha
30%	Sucesso	Falha	Sucesso	-
10%	Sucesso	Falha	Falha	-
10%	Sucesso	Falha	-	-

Tabela 4.3: Resultados do teste completo.

Dos resultados apresentados na Tabela 4.3 tem-se que em 20% dos casos, todos os pontos críticos funcionaram corretamente. Outros 30% dos casos as garrafas conseguiram passar no controle de qualidade porém caíram no *buffer* de saída. Em 30% dos casos a tampa não foi posicionada

na garrafa o controle de qualidade atuou corretamente, o que também qualifica sucesso. O controle de qualidade funcionou corretamente na maioria dos casos, menos nos 10% onde as garrafas possuíam a tampa mal posicionada, levando o cilindro tampador a não conseguir finalizar o seu curso, travando o sistema. Nos outros 10% dos testes aconteceu um problema onde a portinhola derrubava as garrafas que passavam, derramando o líquido.

4.3 Dos problemas encontrados

Após todo a estrutura ser finalizada, os sensores posicionados, o sistema de controle configurado com as modelagens realizadas, o projeto apresentou um desempenho próximo ao esperado. Porém, como previsto, com essa integração surgiram diversas complicações que não eram possíveis de serem observadas analisando apenas as bancadas de maneira independente.

A primeira dificuldade encontrada foi o caminho das garrafas. Quando projetado e desenvolvido de maneira independente imaginava-se que apenas com a correção e diminuição da folga no ajuste das guias isso seria o suficiente para impedir as garrafas de caírem no meio da esteira. Porém isso não se mostrou verdadeiro quando garrafas leves entram no sistema. Problemas quanto ao nível de líquido existente nos frascos após o envasamento podem facilmente levá-los a cair quando passam pela portinhola do *buffer* de tampas. Para esse problema a solução implementada foi um novo ajuste das guias e da mola da portinhola para permitir a passagem das garrafas de maneira mais fácil. Porém, se a garrafa estiver muito leve, devido ao baixo nível de líquido, ela irá cair antes do controle de qualidade.

Outra complicação do sistema integrado é o fato de que para as garrafas alcançarem o *buffer* de saída elas precisam ser guiadas no final da esteira. Infelizmente essas garrafas são derrubadas ao chegarem nas guias. Uma solução para isso seria a modificação do *buffer* de saída para uma espécie de bacia que protegeria o sistema elétrico do contato com a água. Outra solução seria a modificação do *buffer* de forma a permitir uma maior superfície de contato com as garrafas da linha.

A despeito de haver queda de garrafas na aquisição das tampas o sistema funcionou corretamente. Há necessidade de serem feitos mais testes, ajustando as molas e as guias para tentar reduzir esses problemas, porém sem garantia de solução permanente.

Outros problemas foram descobertos nesse trabalho que não haviam sido discutidos nos trabalhos anteriores. Um deles envolve o posicionamento das tampas e um certo travamento da tampa no momento da passagem da garrafa. Esse problema se dá devido a geometria da tampa possuir uma pequena região com relevo que raramente trava na portinhola. Esses erros não são comuns mas não desqualificam o problema.

Capítulo 5

Conclusões

A proposta desse trabalho é dar continuação aos trabalhos [1] e [2] e finalmente realizar a integração dos módulos envasador e tampador de uma bancada didática no LSHP em uma única linha de produção de forma a simular uma linha industrial. Seu propósito é servir de ferramenta didática a ser utilizada para o auxílio de diversas disciplinas dentro do curso de Engenharia Mecatrônica. Durante o projeto foi possível aprender sobre o funcionamento das bancadas envasadora e tampadora, tanto num contexto didático quanto num contexto industrial. Foi possível colocar em funcionamento as duas estações, até o momento não funcionais, de maneira integrada a partir da modelagem do sistema completo.

A adaptação da estrutura agora permite a visualização do sistema completo funcional, a organização dos quadros elétricos permite o entendimento do trabalho de maneira facilitada, garantindo a possibilidade de expansão para a 3ª máquina (empacotadora) quando comissionada.

Durante o desenvolvimento desse trabalho foi possível propor e validar modelos, descobrir e solucionar problemas mecânicos, elétricos e computacionais, o que permite a validação dos conhecimentos aprendidos no curso de Engenharia Mecatrônica. Ensaios foram realizados para testar metodologias e confirmar resultados esperados, atividades que no curso só haviam sido realizados em um contexto puramente didático e que agora puderam ser experimentados em uma aplicação prática.

No projeto da envasadora [1] foram apontados problemas quanto a trepidação da esteira, quanto a falta de robustez do motor e dos sensores utilizados e também quanto ao uso do Arduino em conjunto com o CLP gerando uma redundância de controladores. Esses problemas foram solucionados neste trabalho com a utilização de sensores mais robustos, eliminando a necessidade do Arduino, o uso do motor trifásico da tampadora para a movimentação da esteira e com a costura do material reduzindo consideravelmente as trepidações. O outro problema encontrado foi o da falta de controle de vazão no envasamento das garrafas, que foi solucionado com a adição da bomba hidráulica ao sistema.

Já a máquina tampadora [2] apresentou problemas de natureza mecânica não descritos no trabalho realizado anteriormente. Tais problemas, que reduziram a taxa de sucesso da linha da produção, foram descobertos e descritos neste trabalho para facilitar a implementação de soluções

em trabalhos futuros.

Como sugestão para futuros trabalhos fica a implementação de soluções para a melhora da taxa de sucesso do processo. Para o problema encontrado com a portinhola das tampas é possível a realização de testes com tampas de geometria diferente, que possuam outro tipo de lacre, sem o ressalto, Já o problema no *buffer* de saída pode ser resolvido com mudanças na estrutura, como a utilização de uma bacia para a coleta das garrafas, ou uma alteração nas guias de forma a permitir uma maior superfície de contato com as garrafas. Outra sugestão para a melhoria da bancada seria a troca do reservatório utilizado por um transparente, para que seja possível observar o nível de líquido do reservatório antes de iniciar o processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMARAL, L. H. V., CARVALHO, D. N. (2016). Desenvolvimento dos Módulos Envasador e Empacotador de uma Bancada Didática. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº042, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 61p.
- [2] JUNIOR, P. L. B. S., LEÃO, F. A. (2016). Retrofitting de um Bancada Tampadora Para Aplicações Didáticas. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 44p.
- [3] GOMES, S. R. (2017). Automação Pneumática com Diagrama Trajeto-Passo. Fonte: Blog Eletropneumática e Eletrohidráulica: <http://eletropneumaticaeletrohidraulica.blogspot.com/2015/02/aula-06-diagrama-trajeto-passo.html> (acesso em 03 de dezembro de 2018)
- [4] SILVA, E. C. (2002). Apostila de Pneumática. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- [5] FIALHO, A. B.: Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos/Arivelto Bustamante Fialho.–São Paulo : Érica, 2003.
- [6] BRASIL, A. N. (01 de fevereiro de 2010). Máquinas Termodinâmicas de Fluxo. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- [7] CREDER, H, Instalações Elétricas / 15. ed. Rio de Janeiro LTC c2007
- [8] ELÉTRICA, M. (03 de dezembro de 2018). O que é um disjuntor e qual sua aplicação? Fonte: Mundo da Elétrica: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-disjuntor-e-qual-sua-aplicacao/>
- [9] MATTEDE, H. (03 de dezembro de 2018). Como funcionam os disjuntores? Fonte: Mundo da Elétrica: <https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funcionam-os-disjuntores/>
- [10] ELÉTRICA, M. (03 de dezembro de 2018). Contatores, o que são? Fonte: Mundo da Elétrica: <https://www.mundodaeletrica.com.br/contatores-o-que-sao/>
- [11] MAMEDE FILHO, J. Instalações elétricas industriais. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- [12] TERGOLINA, R. L. (03 de dezembro de 2018). Sensores Industriais. Fonte: Politecnica da PUCRS: http://www.politecnica.pucrs.br/professores/tergolina/Automacao_e_Control/APRESENTACAO_-_Aula_03_Sensores_Industriais.pdf
- [13] Curzel, J. L. (2018). Sensores Industriais. Joinville: Instituto Federal de Santa Catarina.
- [14] DENISENSOR. (03 de dezembro de 2018). O que são sensores fotoelétrico ou óptico e suas aplicações? Fonte: Denisensor Segurança Industrial: <http://denisensor.com/blog/o-que-sao-sensores-fotoeletrico-ou-optico-e-suas-aplicacoes>
- [15] TECNOLOGIA, HI (03 de dezembro de 2018). Elementos do Programa Ladder. Fonte:

HI Tecnologia Automação Industrial: https://doc.hitecnologia.com.br/spdsw/_files/lad_Elements.html

[16] VISHAY. :Datasheet (03 de dezembro de 2018). TCRT5000, Sensor óptico reflexivo. Fonte: Components101: <https://components101.com/sensors/tcrt5000-ir-sensor-pinout-datasheet>

[17] SENSORBRAS (03 de dezembro de 2018). Catálogo Geral. Fonte: SENSORBRAS Automação Industrial LTDA: http://www.sensorbras.com.br/catalogo_produtos_sensorbras.pdf

[18] METALTEX. :Datasheet (03 de dezembro de 2018). AX1RC3, Relé miniatura/Miniature relay. Fonte: METALTEX: <http://www.metaltex.com.br/downloads/AX.pdf>

[19] DIODES. :Datasheet (03 de dezembro de 2018). 1N5817-1N5819, Diodo. Fonte: Diodes Incorporated: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds23001.pdf>

[20] Eletricista, P. (03 de dezembro de 2018). Cabo Crossover - Entenda o que é e qual a sua utilidade. Fonte: Portal Eletricista: <http://www.portaleletricista.com.br/cabo-crossover>

APÊNDICE

I.1 Diagrama Eléctrico

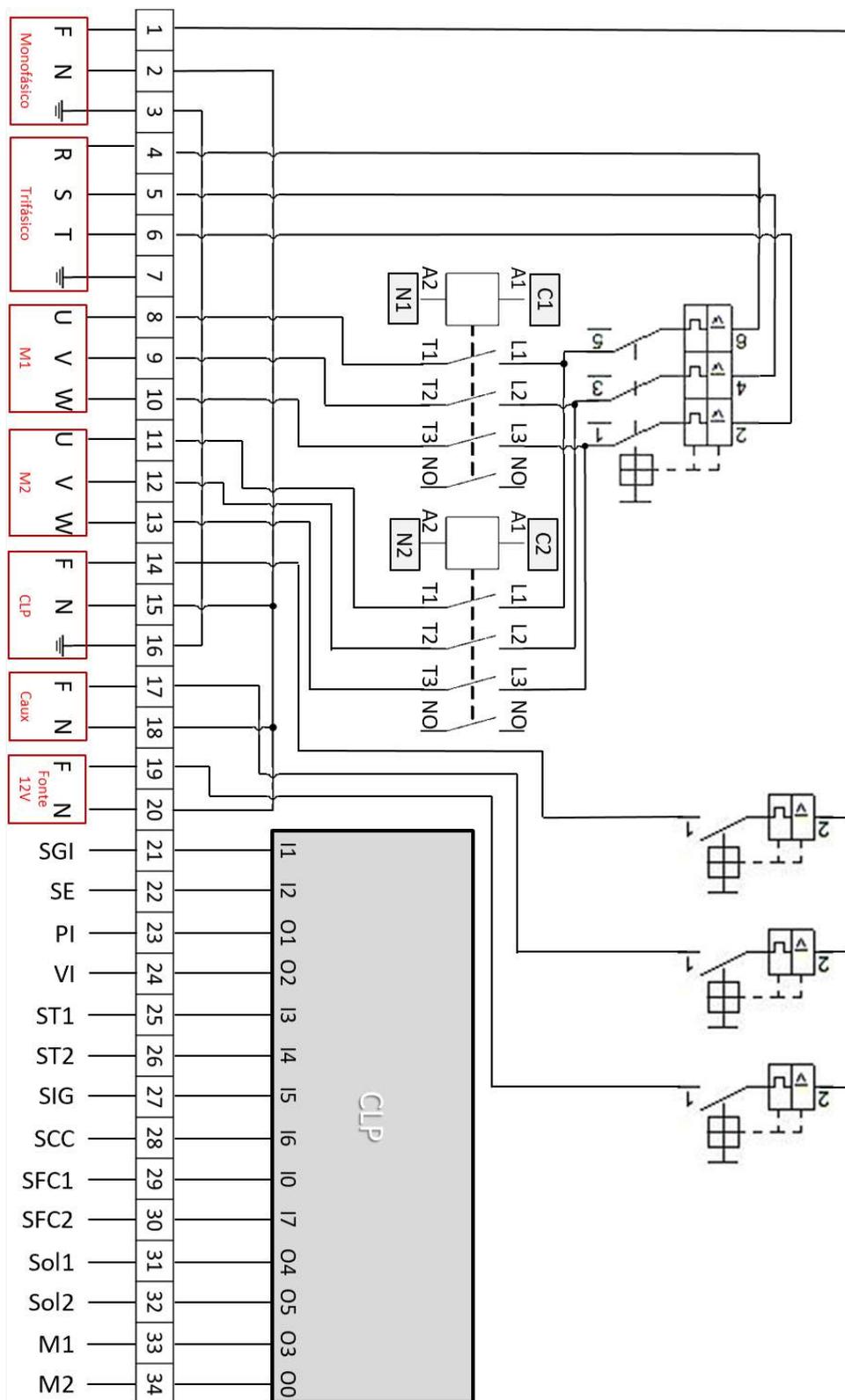


Figura 1: Diagrama elétrico.

I.2 Diagrama pneumático

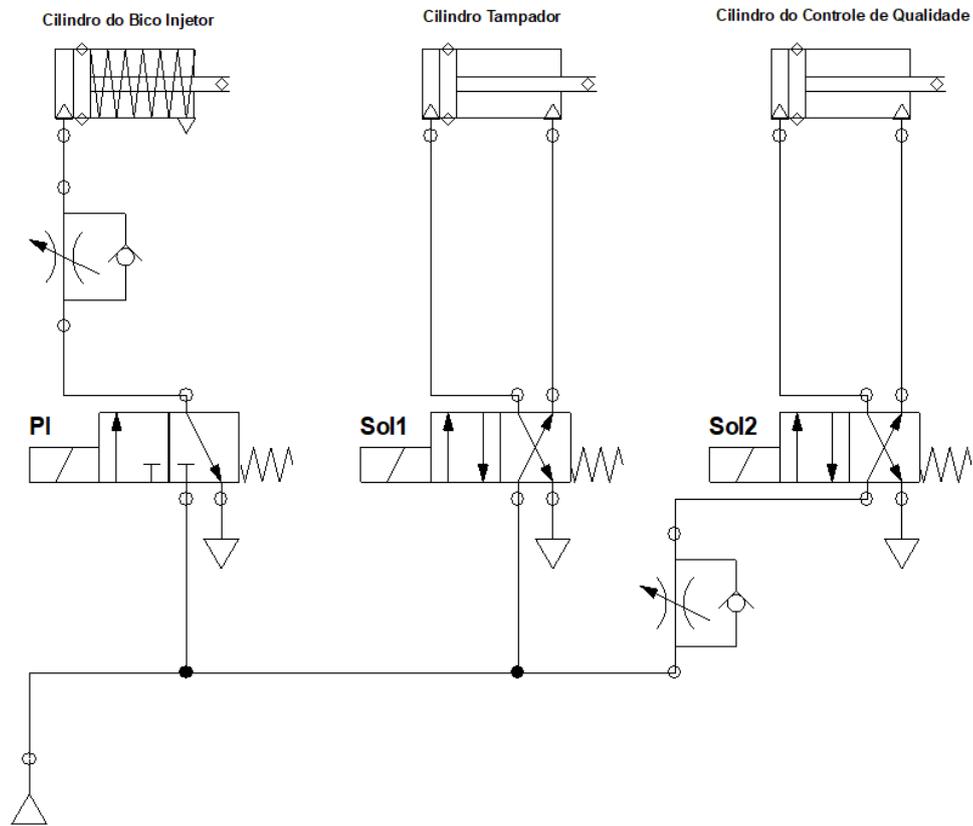


Figura 2: Diagrama pneumático.

I.3 Rotinas CLP

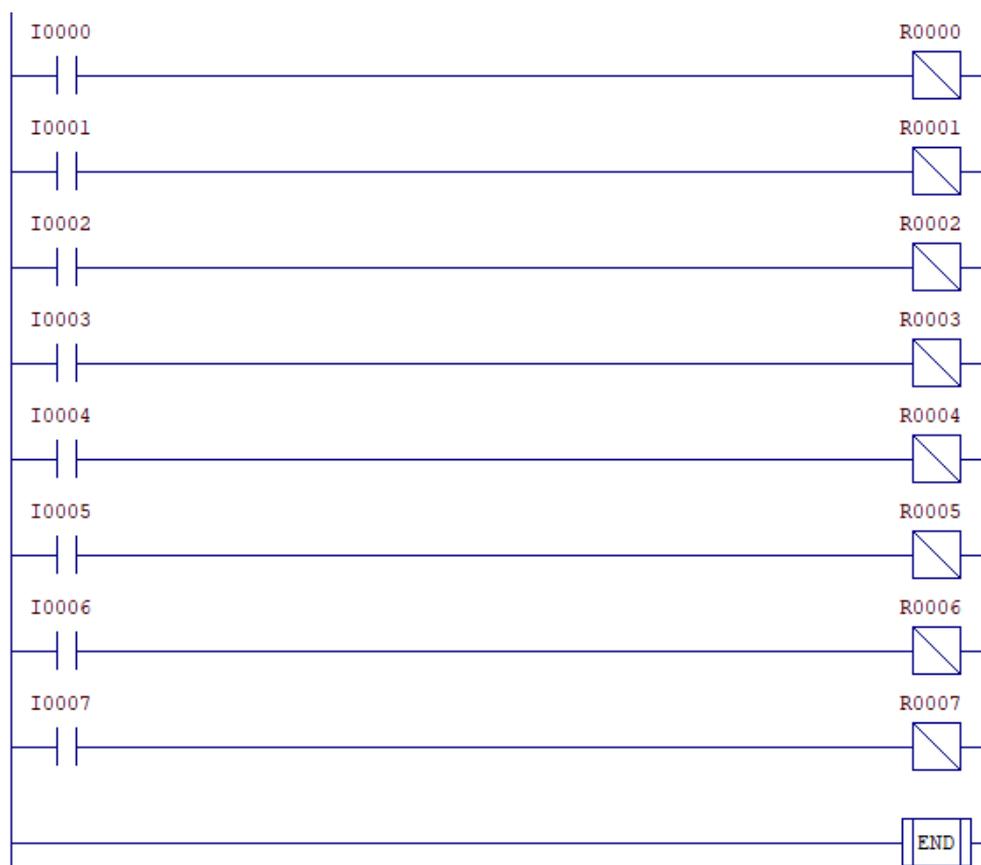


Figura 3: Código utilizado no teste dos sensores.

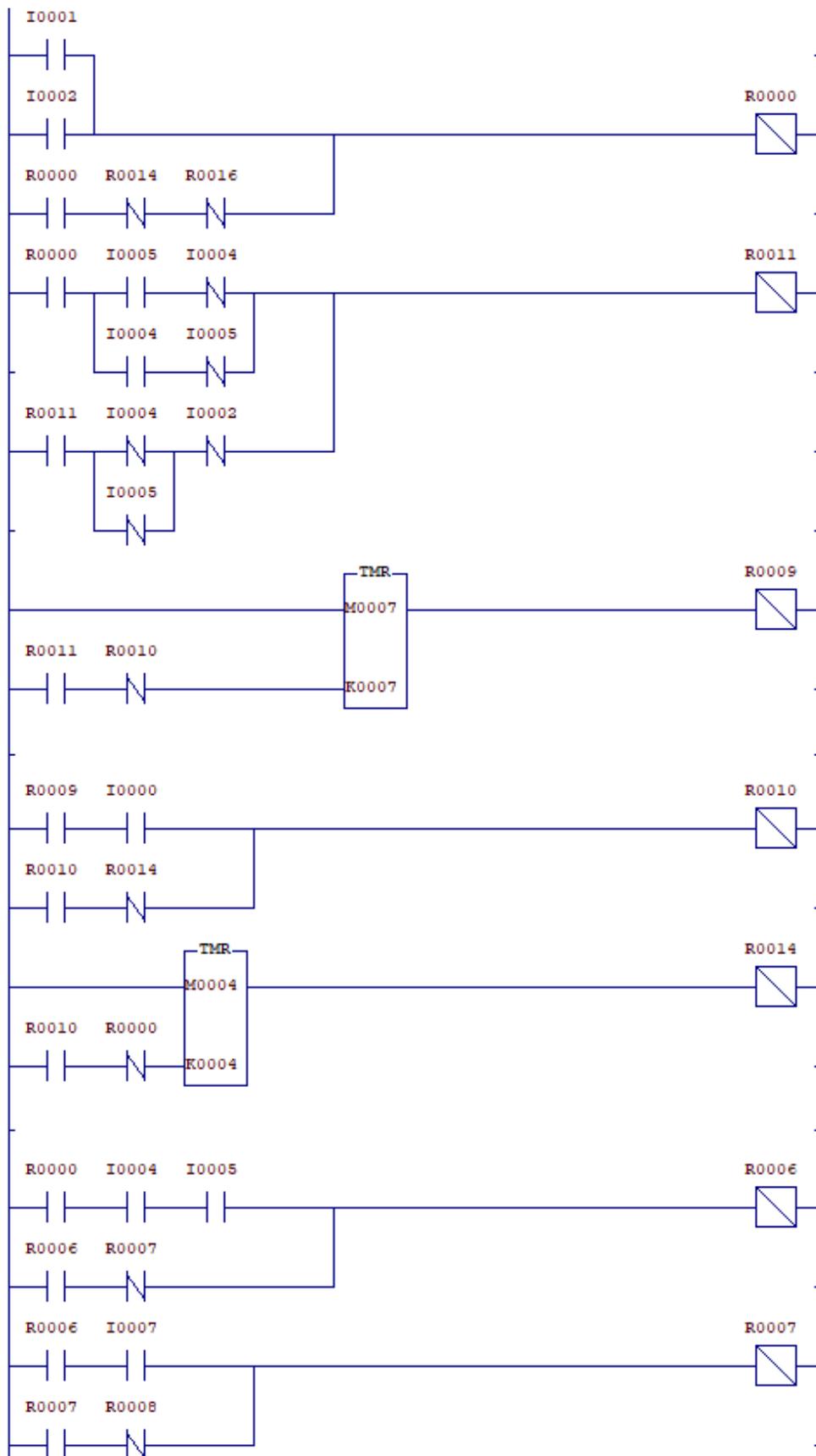


Figura 4: Código utilizado no teste do controle de qualidade (1º parte).

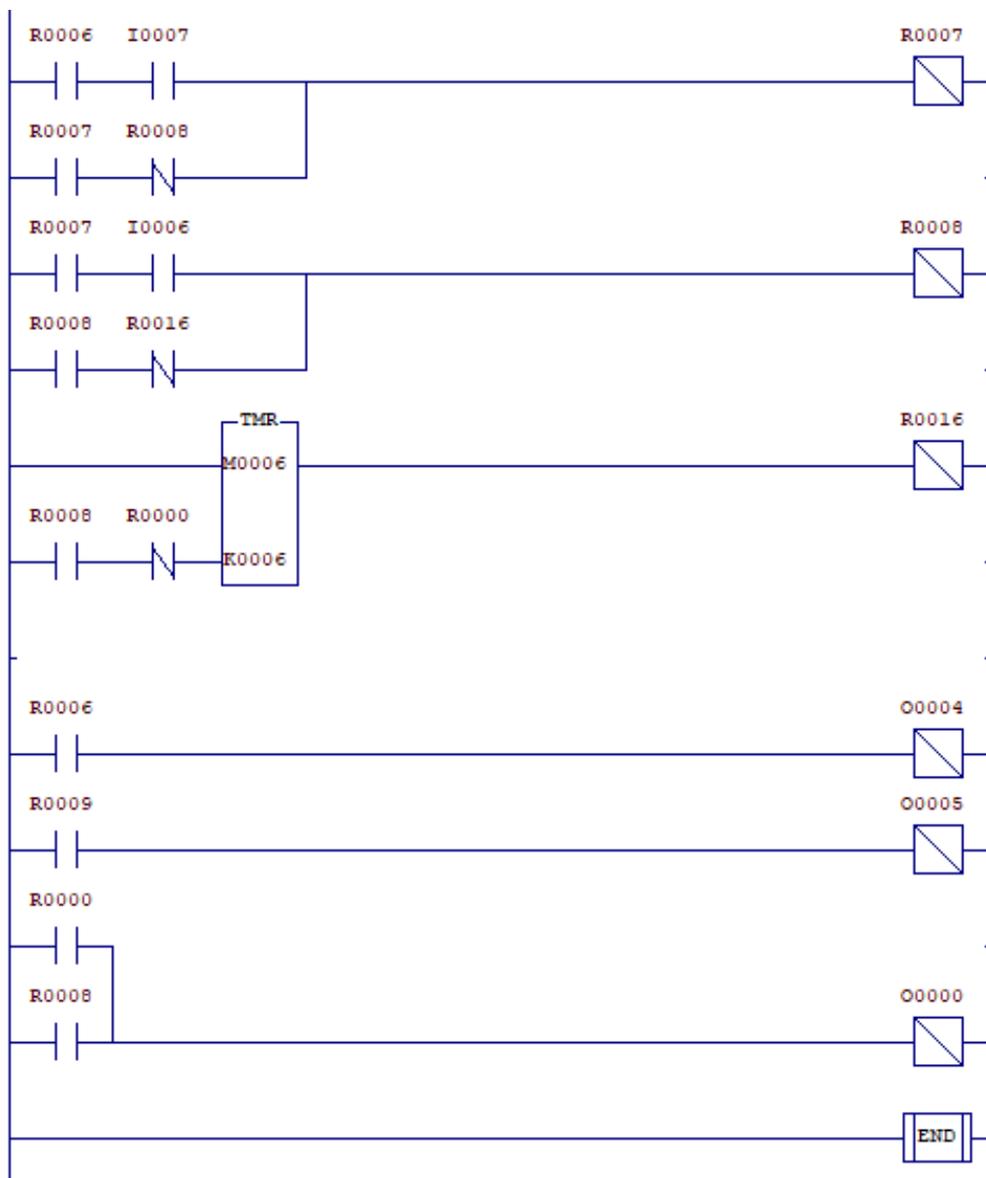


Figura 5: Código utilizado no teste do controle de qualidade (2º parte).

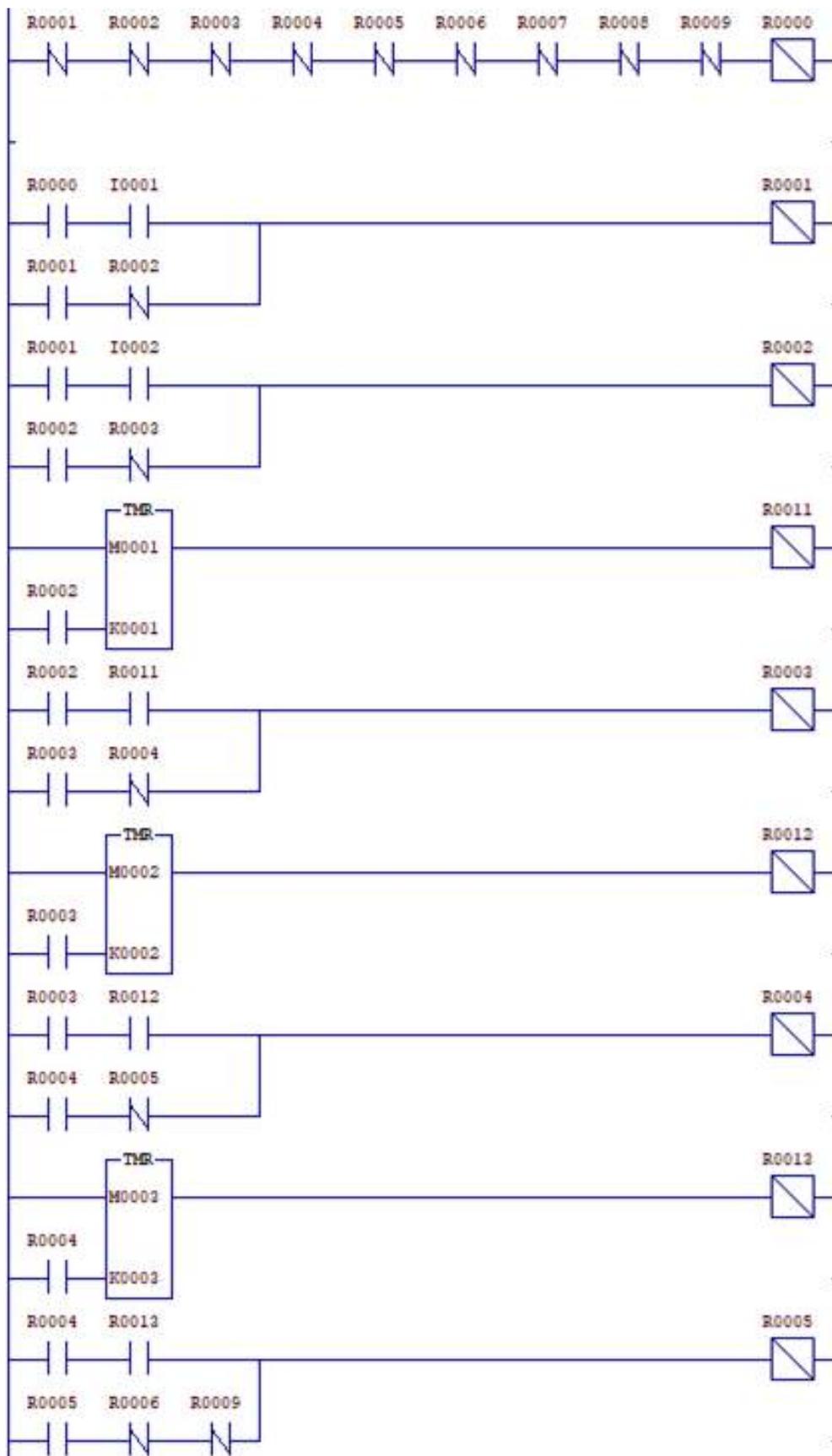


Figura 6: Código utilizado no teste do sistema completo (1º parte).

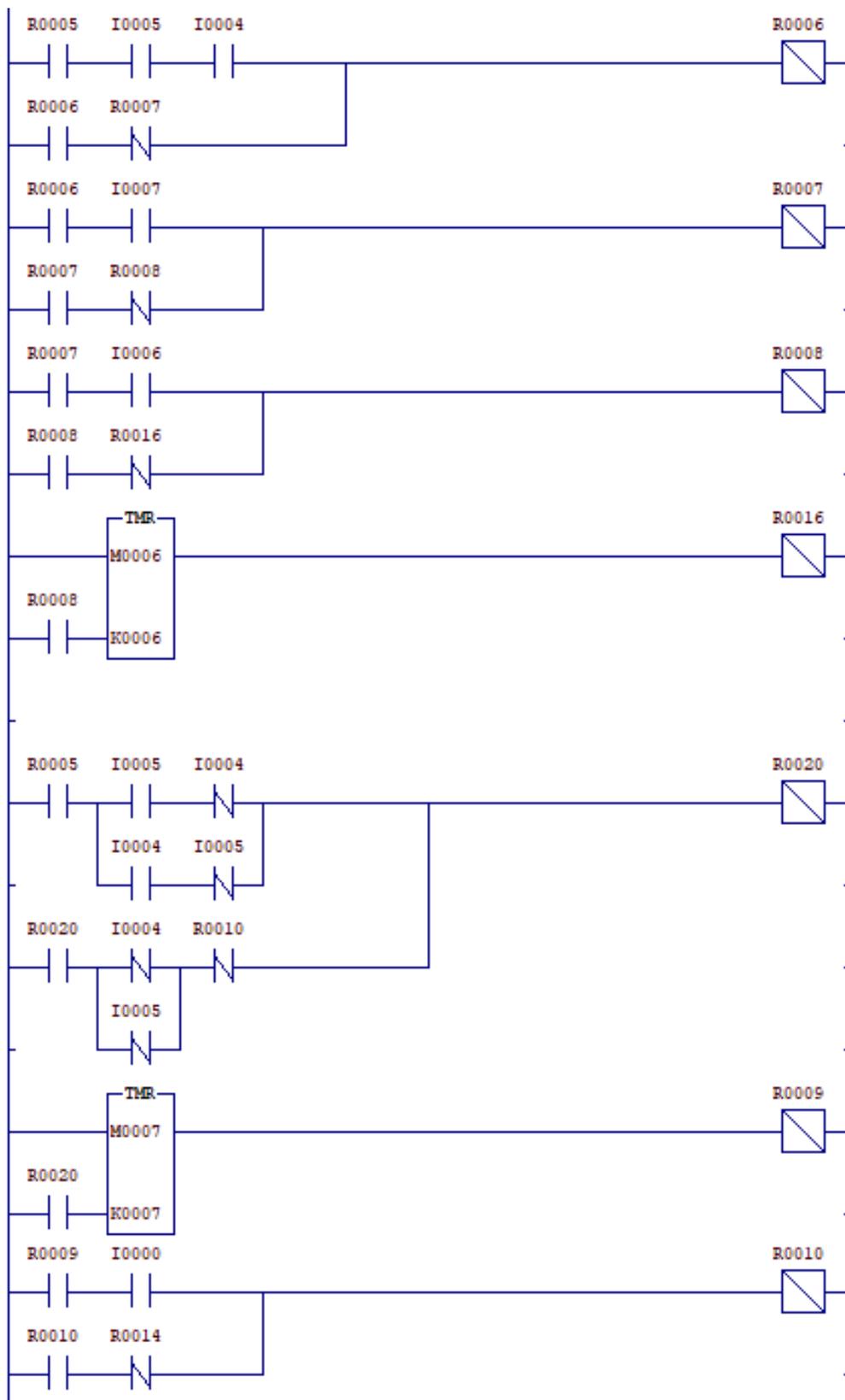


Figura 7: Código utilizado no teste do sistema completo (2º parte).

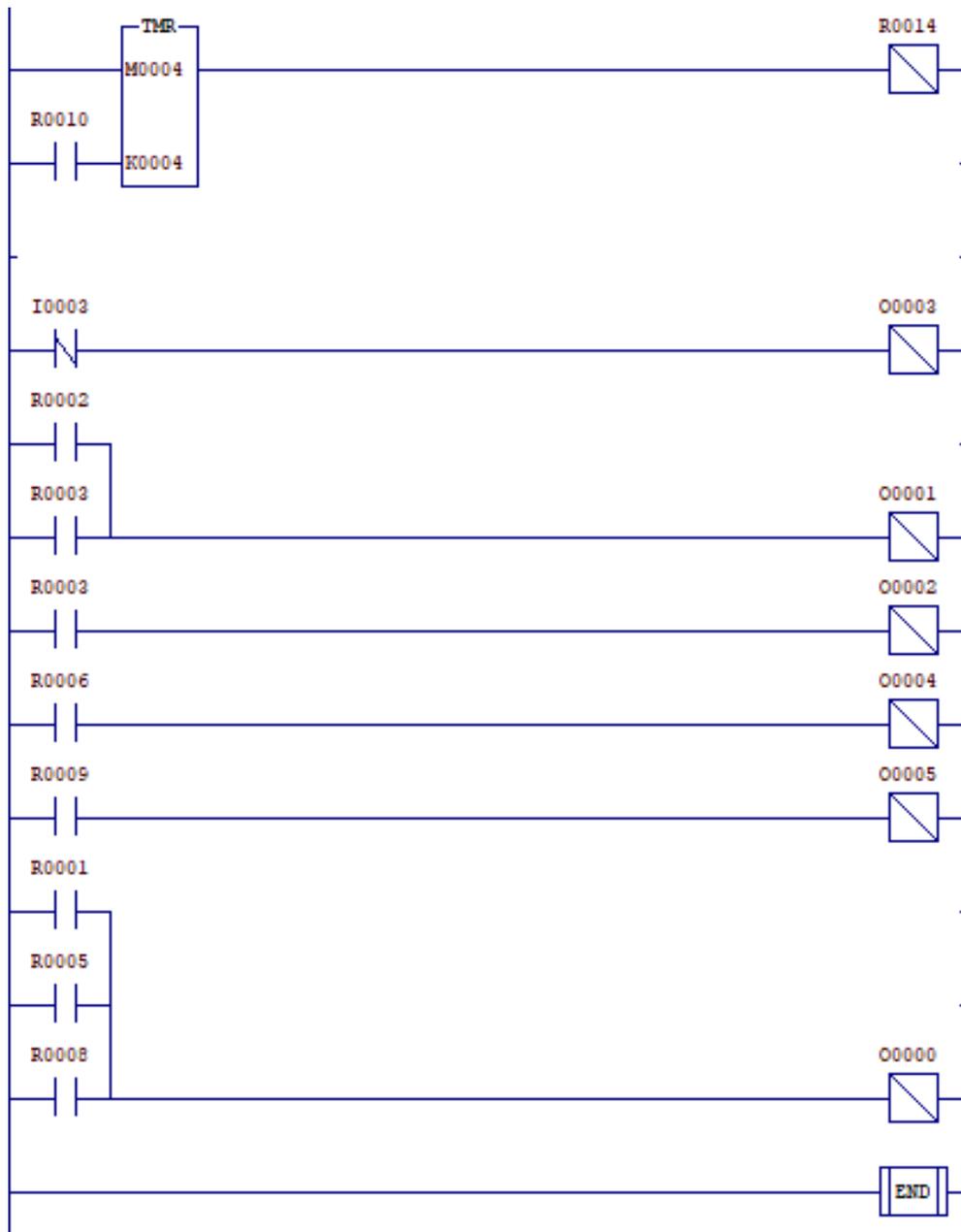


Figura 8: Código utilizado no teste do sistema completo (3º parte).

I.4 Cotagem da estrutura

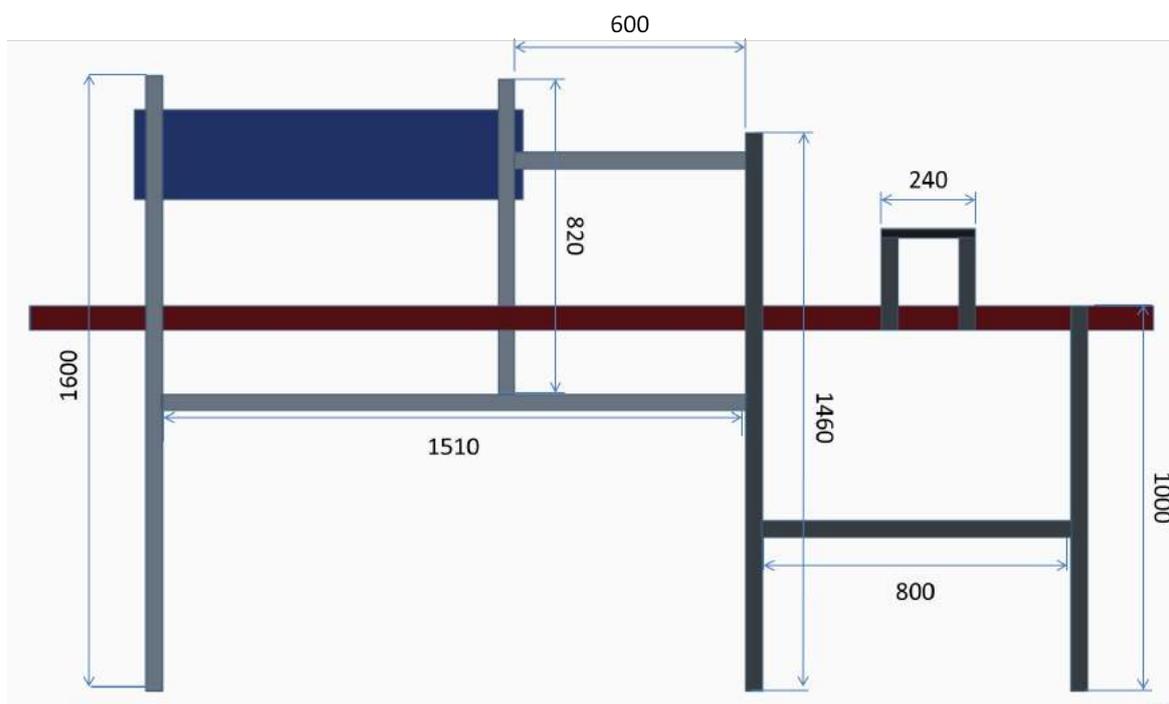


Figura 9: Cotagem da vista frontal da estrutura.



Figura 10: Cotação da vista lateral da estrutura.

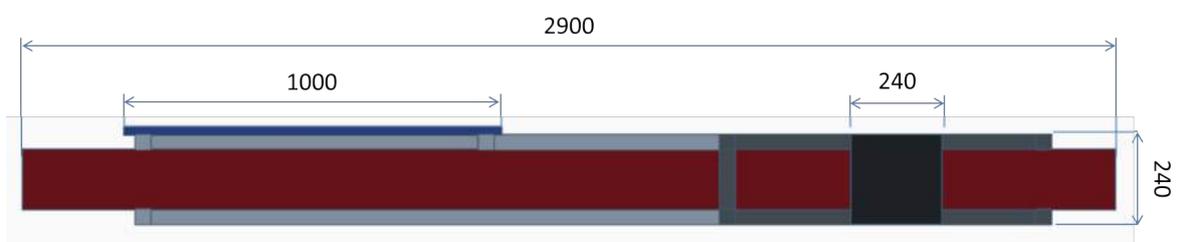
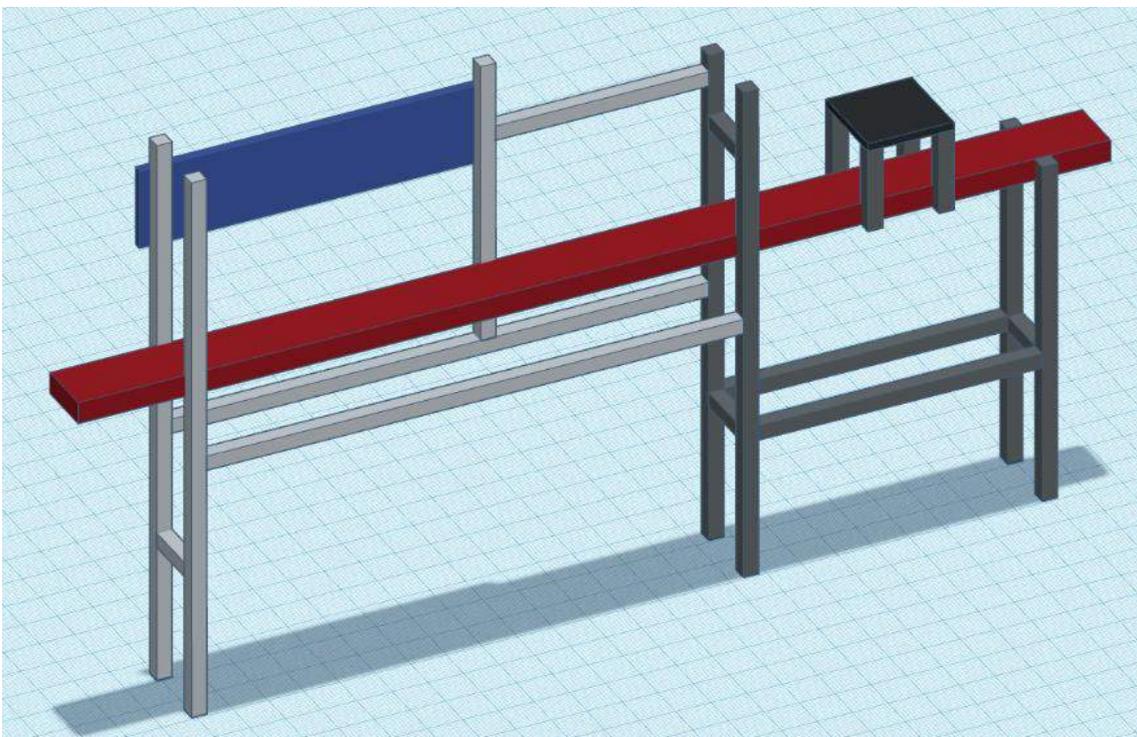


Figura 11: Cotação da vista superior da estrutura.

I.5 Manual da máquina

Manual da Máquina

Linha Envasadora/Tampadora



Carlos Rocha

Dezembro, 2018

Sumário

Sobre a bancada:	3
Componentes:	3
Sensores	3
Atuadores	4
Guias	4
<i>Buffer</i> de tampas	5
Bico Injetor	5
Controle de qualidade	6
Quadro elétrico	6
CLP	7
Como utilizar:	8
SPDSW	8
Conexão	9
Como criar o projeto	10
Tabela I/O	10
Códigos Existentes	10
Manutenção:	11
Nível de líquido	11
Ajuste da posição dos sensores	11
Ajuste das guias	12
Ajuste da portinhola	12
Temporizadores	12

Sobre a bancada:

A bancada Envasadora/Tampadora foi desenvolvida através da integração de dois trabalhos de graduação envolvendo cada máquina separadamente. O trabalho de integração, realizado pelo graduando Carlos Alberto Alvares Rocha no ano de 2018 está disponível no Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos da Universidade de Brasília para ser utilizado como ferramenta de apoio didático à diversas disciplinas dentro da área de Engenharia.

Deve-se dizer também, que o projeto ainda não foi finalizado e está constantemente sofrendo melhorias e atualizações. Portanto, de forma a garantir o correto funcionamento da máquina assim como a facilitação para o uso futuro, foi escrito este manual contendo as informações necessárias para o entendimento, manutenção, e desenvolvimento de experimentos utilizando a bancada.

Componentes:

Sensores

A bancada possui 8 sensores distribuídos conforme a figura 1:

1. O sensor 1 (SGI) é um sensor óptico que identifica uma garrafa posicionada no início da esteira.
2. O sensor 2 (SE) é um sensor óptico que acusa o momento onde a garrafa está alinhada com o bico injetor.
3. O sensor 3 (ST1) é um sensor óptico que identifica a fila de tampas.
4. O sensor 4 (SIG) é um sensor capacitivo que verifica o nível de líquido da garrafa.
5. O sensor 5 (ST2) é um sensor óptico que identifica uma tampa posicionada corretamente na garrafa.
6. O sensor 6 (SFC1) é um sensor mecânico do fim de curso do pistão de controle de qualidade.
7. O sensor 7 (SCC) é um sensor mecânico do início de curso do pistão tampador.
8. O sensor 8 (SFC2) é um sensor mecânico do fim de curso do pistão tampador.

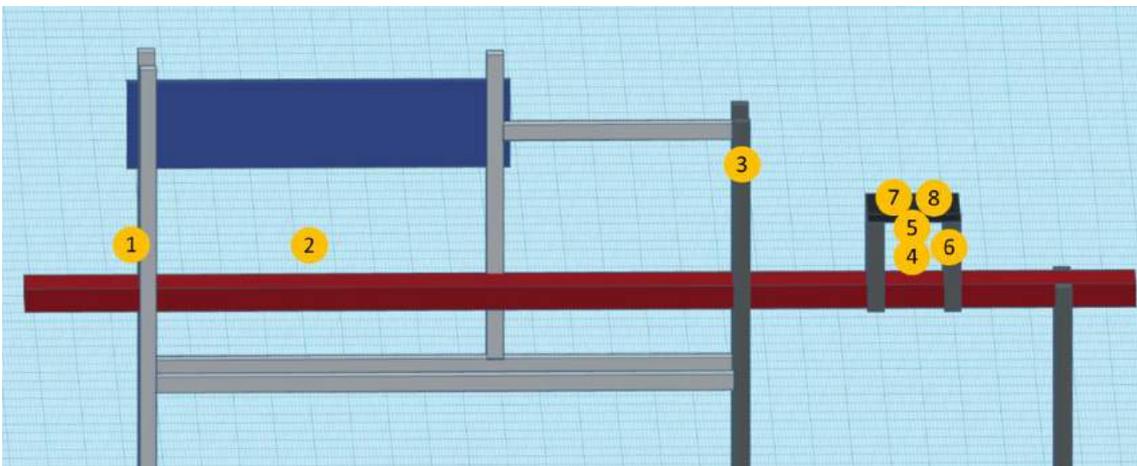


Figura 1 - Posicionamento dos sensores

Atuadores

A bancada possui 6 atuadores distribuídos conforme a figura 2:

1. O atuador 1 (PI) é o pistão do bico injetor.
2. O atuador 2 (VI) é o conjunto válvula/bomba que permita a passagem de líquido para o envasamento.
3. O atuador 3 (M1) é o motor de posicionamento das tampas.
4. O atuador 4 (Sol1) é o pistão da tampadora.
5. O atuador 5 (Sol2) é o pistão do controle de qualidade.
6. O atuador 6 (M2) é o motor da esteira.

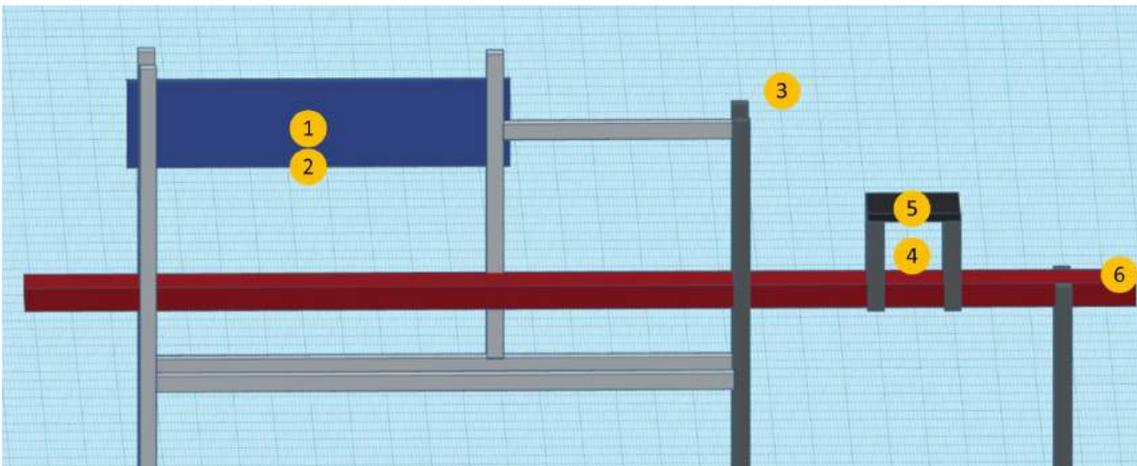


Figura 2 - Posicionamento dos atuadores

Guias

As guias são tubos de alumínio cujo papel é garantir o alinhamento das garrafas no sistema. Esse alinhamento é necessário para que o bico injetor possa ser posicionado corretamente dentro da garrafa e porque ela precisa estar alinhada com a portinhola do *buffer* de tampas. A fixação e o posicionamento dessas guias é possível através de uma peça, mostrada na figura 3, que permite a regulação das guias através do aperto de um parafuso.

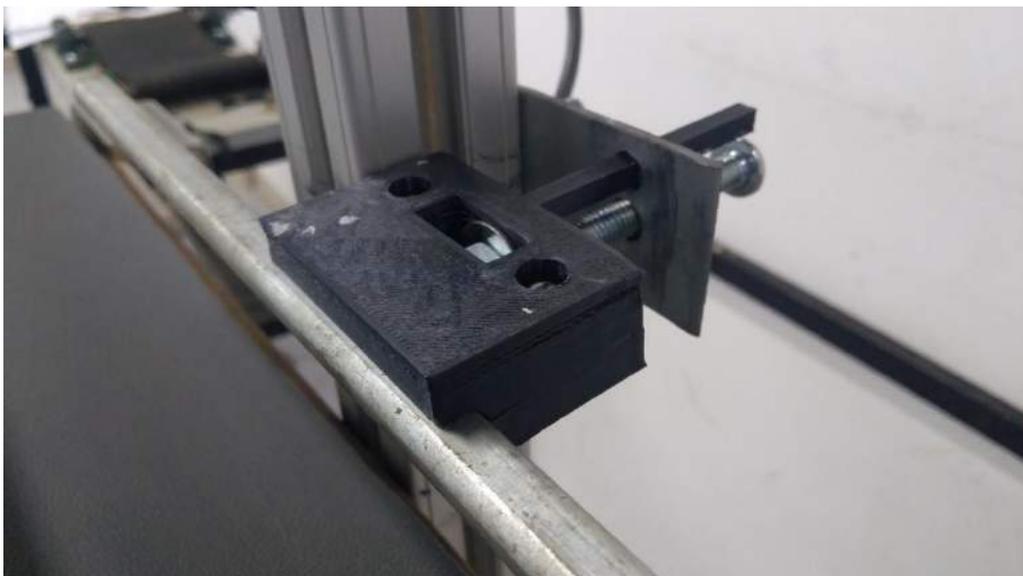


Figura 3 - Fixação e posicionamento das guias

Buffer de tampas

As garrafas adquirem as tampas ao passar por uma portinhola que dá acesso ao buffer de tampas. Esse buffer consiste em um sistema mecânico onde uma mola segura as tampas em uma certa posição e quando uma garrafa passa pelo sistema ela consegue levar uma tampa consigo.

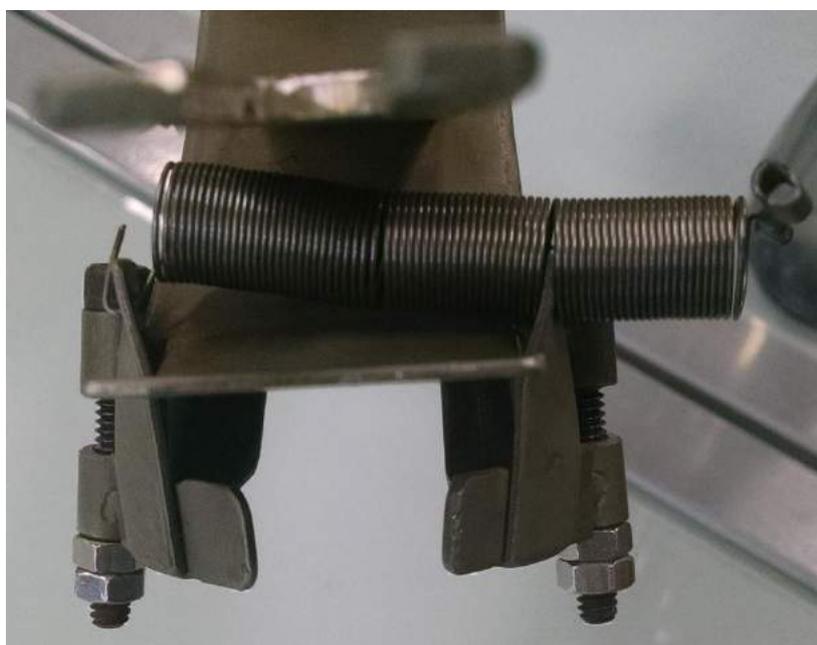


Figura 4 - Portinhola do *buffer* de tampas

Bico Injetor

O bico injetor é o principal componente da máquina envasadora. Ele é composto de um pistão de simples ação, acoplado a uma válvula que permite a passagem de água quando acionada. Para garantir que o bico desça alinhado, ele também está preso a um trilho.



Figura 5 - Bico Injetor

Controle de qualidade

O controle de qualidade é feito a partir dos 2 sensores (SIG e ST2) que identificam o nível do líquido e se a garrafa possui tampa. Caso um dos dois sensores acuse falha a garrafa pode ser direcionada para um destino diferente das que estão devidamente cheias e tampadas.



Figura 6 - Controle de qualidade

Quadro elétrico

O sistema possui 2 quadros elétricos representados nas figuras 7 e 8.

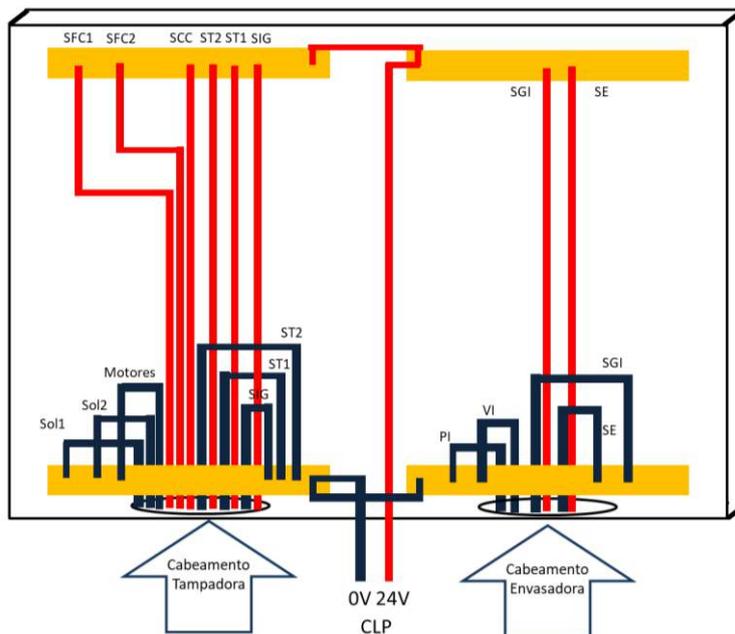


Figura 7 - Quadro elétrico (barramento)

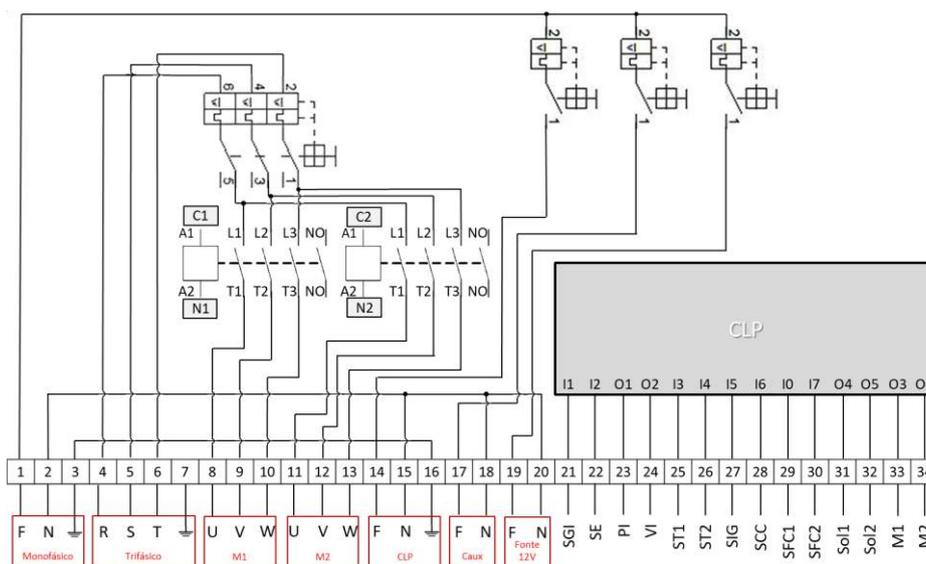


Figura 8 - Quadro elétrico (lógico)

O quadro elétrico de barramento é utilizado para distribuir as tensões de 24V e GND para os componentes (sensores e atuadores) que necessitam delas para seu funcionamento. Já o quadro elétrico lógico é onde os sinais de controle (sensores e atuadores) são organizados para sua conexão ao CLP.

CLP

O CLP utilizado é o eZAP900 da HI tecnologia acoplado a um painel didático de treinamento denominado ZTK900 ilustrado na figura 9. A utilização do painel didático é dispensável para o projeto, porém futuras aplicações podem utilizá-lo portanto os fios relacionados com os inputs e outputs ao serem substituídos pelos sinais de controle do sistema foram catalogados para uso futuro. O CLP também possui o módulo HXM500 que

possui mais inputs e outputs totalizando 12 Entradas Digitais, 12 Saídas Digitais, 8 Entradas Analógicas e 1 Saída Analógica.



Figura 9 - CLP eZAP900

Como utilizar:

SPDSW

Para realizar a programação do CLP é necessário utilizar o programa SPDSW (Sistema para Programação, Documentação e Supervisão em plataformas Windows), desenvolvido pela empresa fabricante HI tecnologia. O programa pode ser baixado através do link: https://www.hitecnologia.com.br/downloads/installspdsw_pack4.2.08.exe

Para isso será necessário um cadastrar no site. Uma vez baixado a instalação é simples.



Figura 10 - SPDSW

Conexão

A conexão deve ser feita utilizando o cabo ethernet (Crossover), disponível no LSHP (etiquetado Crossover). Com o cabo conectado no CLP e no computador com o SPDSW instalado é necessário fazer a configuração da conexão, que pode ser realizada através do menu Ferramentas->Comunicação->Configurar->Computador – setup de comunicação.

Lá é possível determinar o IP do CLP que deseja-se conectar (este IP está escrito na estrutura metálica do CLP) e a porta de conexão (utilizar 2016). Esse padrão de configuração é mostrado na figura 11.



Figura 11 - Configuração de comunicação

Se não for possível realizar a conexão, pode estar havendo conflito de IP. Uma forma de resolver esse problema é configurar a sua máquina para um IP fixo, isso vai variar dependendo da versão do seu windows, mas a configuração é fácil e pode ser encontrada em uma simples pesquisa no Google. Define-se as configurações de TCP/IPV4 conforme mostrado na figura .

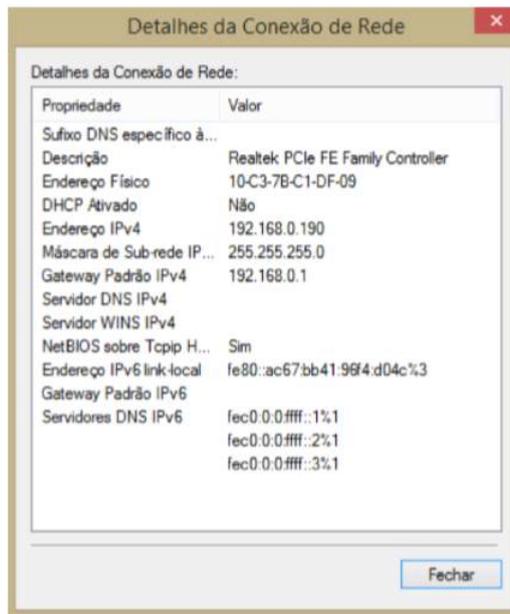


Figura 12 - Configurações TCP/IPV4

Com a comunicação configurada basta clicar em conectar.

Como criar o projeto

Para criar um novo projeto basta ir em Projeto->Novo e definir um local para ele ser salvo, um nome e uma descrição.

Após o projeto ser criado é necessário definir qual CLP estamos trabalhando. Para isso devemos ir em Programa->Controlador Programável. Lá é possível selecionar o eZAP900 e em seguida adicionar o módulo HXM500 que permite a utilização das outras portas do CLP. Com isso feito já é possível criar o código em *Ladder* e executá-lo no CLP.

Tabela I/O

Para a criação de qualquer novo projeto na bancada é necessário saber quais são as portas onde os sensores e atuadores estão conectados. A tabela abaixo descreve essa conexão.

Sensores		Atuadores	
SIG	I1	PI	O1
SE	I2	VI	O2
ST1	I3	M1	O3
ST2	I4	Sol1	O4
SIG	I5	Sol2	O5
SCC	I6	M2	O0
SFC1	I0		
SFC2	I7		

Figura 13 - Tabela Inputs/Outputs

Códigos Existentes

No momento da escrita desse manual existe um código para a bancada, utilizado no teste do sistema completo do TG ROCHA, C.A.A. (2018). Integração dos módulos envasador e

tampador de uma bancada didática. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TGn°022, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 66p.

- A garrafa é detectada pelo sensor do início do sistema (SGI) e então o motor da esteira (M2) é acionado. Quando a garrafa é detectada pelo sensor da envasadora (SE) inicia a rotina de envasamento, onde o motor (M2) para e o pistão desce, em seguida a válvula (VI) do bico injetor abre e se mantém aberta durante um tempo (T3). O retorno do pistão ocorre logo em seguida, assim como o acionamento do motor (M2) novamente. A garrafa então passa pelo posicionamento da tampa, e em seguida pelo controle de qualidade que se encontrar irregularidades remove a garrafa da linha (Sol2). Se não houver irregularidades a garrafa é tampada (Sol1) e em seguida o motor (M2) a leva para o buffer de saída.

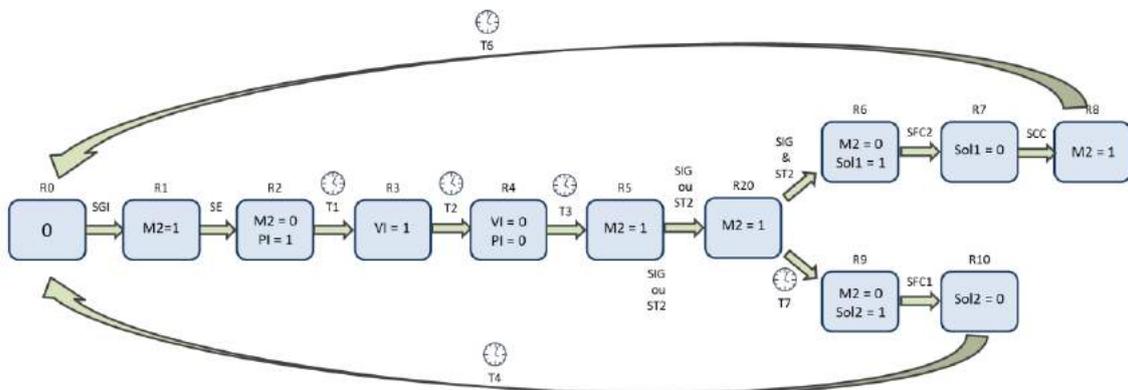


Figura 14 – Teste Completo

Esse código está disponível no drive do laboratório:

<https://drive.google.com/open?id=1niYNRNuySfUWYU36JwwnpYnRsSnx9AWE>

Manutenção:

Nível de líquido

Uma vez que o nível de líquido do reservatório (aproximadamente 8L) consegue encher no máximo 26 garrafas é necessário que o seu nível seja verificado antes de iniciar os testes com a bancada.

Ajuste da posição dos sensores

A posição dos sensores pode variar devido a trepidações da máquina ou transporte. Por isso, sempre que movida é necessário ajustar a posição dos sensores. Os sensores mais críticos de serem calibrados são os do controle de qualidade (SIG e ST2) e o do alinhamento com a envasadora (SE).

Para o ajuste de (SIG e ST2) basta identificar se na posição em que as garrafas passam é possível detectar a tampa e o nível de líquido desejado. O ajuste na angulação de ST2 e na proximidade de SIG é o suficiente para deixar a máquina funcional novamente.

Já para SE deve-se posicionar uma garrafa na esteira e então aproximá-la à direção do bico injetor, o sensor deve ativar no momento em que a garrafa está alinhada ao bico. Para esse ajuste basta afrouxar os parafusos de fixação do sensor, colocá-lo na posição desejada e então apertar os parafusos.

Ajuste das guias

As guias precisam permitir a tráfego das garrafas pela esteira, portanto se tiverem muito justas a garrafa pode travar. Outro problema pode ser o alinhamento, tanto com o bico injetor quanto com o *buffer* de tampas. As guias da envasadora podem ser ajustadas através do aperto e afrouxamento dos parafusos, e as guias da tampadora podem ser ajustadas através do aperto e afrouxamento das porcas borboleta.

Ajuste da portinhola

A portinhola do *buffer* de tampas é segurada por uma mola, essa mola precisa ter sua pressão calibrada. Se estiver muito apertada as garrafas tombam ao passar. Se estiver muito frouxa as tampas caem na esteira. Esse ajuste precisa ser feita sempre que um desses problemas estiver acontecendo.

Temporizadores

Os temporizadores raramente precisarão ser redefinidos. Os possíveis motivos para essa alteração podem ser a mudança do reservatório (Envasadora), a mudança da redução do motor da esteira (M2) ou uma grande mudança na pressão de operação dos pistões. Essa definição deve ser feita utilizando um cronômetro em um ensaio com pelo menos 10 medições.